Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Техническая физика»

В.П.Киреенко

Основы современного естествознания

Учебное пособие

для студентов экономических специальностей

Учебное электронное издание

М и н с к 2 0 1 0

УДК 168.521(075.8)

Автор:

В.П. Киреенко, кандидат физико-математических наук, доцент

Рецензенты:

И.А. Гончаренко, профессор кафедры естественных наук КИИ МЧС РБ, доктор физико-математических наук, доцент;

А.Л. Толстик, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии БГУ, доктор физико-математических наук, профессор

В учебном пособии рассмотрена история и методология естествознания, современные научные представления о природе на всех уровнях ее организации – от элементарных частиц до вселенной в целом. Подробно излагается эволюция научной картины мира, рассмотрены вопросы развития жизни и человека.

Учебное пособие написано в соответствии с типовой учебной программой для высших учебных заведений по дисциплине «Основы современного естествознания» и предназначено для студентов экономических специальностей.

Белорусский национальный технический университет
Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел (017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37
Регистрационный № БНТУ/ФИТР47-8.2010

© БНТУ, 2010
© Киреенко В.П., 2010
© Киреенко В.П., компьютерный дизайн, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 6

ГЛАВА 1. НАУКА, НАУЧНЫЙ МЕТОД. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК КОМПЛЕКС НАУК О ПРИРОДЕ..... 8

1.1. Наука. Функции науки 8

1.1.1. Наука как отрасль культуры 9

1.1.2.Наука как способ познания мира 10

1.1.3. Наука как социальный институт...... 15

1.2. Методы научного познания 16

1.2.1. Общенаучные методы познания 17

1.3. Естествознание и другие науки и формы познания мира. 20

ГЛАВА 2. ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ 23

2.1. Исторические этапы развития естествознания..... 23

2.2. Становление естествознания 26

2.3. Античная натурфилософия..... 29

2.4. Естествознания в эпоху Средневековья 36

2.5. Развитие естествознания на Востоке 40

2.6. Научные революции в истории естествознания 44

2.6.1. Первая научная революция. Гелиоцентрическая система мира. 45

2.6.2. Вторая научная революция. Создание классической механики и экспериментального естествознания. Механическая картина мира 49

2.6.3. Третья научная революция. Диалектизация естествознания 56

2.6.4. Очищение естествознания от натурфилософских представлений 60

2.6.5. Основные представления классического периода развития естествознания 63

2.6.6. Исследования в области электромагнитного поля и начало крушения механистической картины мира 70

2.6.7. Четвертая научная революция. Окончательное крушение механистической картины мира 72

2.6.8. Кризис в математике. Теоремы о неполноте знаний Геделя. Проблема познаваемости мира...... 78

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ...80
3.1. Корпускулярно-волновой дуализм 80
3.2. Гипотеза де Бройля. Волновые свойства вещества..... 81
3.3. Принцип неопределенности Гейзенберга 82
3.4. Принцип дополнительности Бора 86
3.5. Концепция целостности в квантовой физике. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена..... 87

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ И ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ А.ЭЙНШТЕЙНА .. 89
4.1. Кризис ньютоновской механики. 89
4.2. Преобразования Лоренца. 91
4.3. Специальная теория относительности А. Эйнштейна 94
4. 4. Элементы общей теории относительности 100
4. 5. Экспериментальное подтверждение СТО и ОТО 102

ГЛАВА 5. АТОМНАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА МИКРОМИРА. 106
5.1. Основные представления о структуре вещества. 106
5.2. Многоэлектронный атом. Принцип Паули. Квантово-механическое обоснование Периодического закона Д.И. Менделеева 108
5.3. Ядерные реакции. Связь энергии и массы. Дефект масс 109
5.4. Радиоактивность..... 112
5.5. Элементарные частицы 114
5.6. Стандартная модель. Вещество и поле..... 116
5.7. Модель вакуума П. Дирака. Рождение вещества 123
5.8. Теория струн (теория единого поля) 125

ГЛАВА 6 ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ 128
6.1. Развитие представлений о Вселенной. 128
6.2. Вселенная. Основные этапы ее эволюции 129
6.3. Темная материя и темная энергия..... 132
6.4. Звезды 135
6.5. Происхождение Солнечной системы и Земли 137
6.6 Происхождение Луны 139
6.7 Земля 140
6.8. Целесообразность во Вселенной (принципы построения Вселенной)..... 143

6.8.1.Принцип единства Вселенной 143
6.8.2.Принципы симметрии и законы сохранения 145
6.8.3. Вариационный принцип. Принцип оптимальности 146
6.8.4. Алгоритм оптимальности. Рождение закона природы 148
6.8.5. Антропный принцип 149

ГЛАВА 7. СИСТЕМА СОВРЕМЕННОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ...153
7.1 Химия как наука..... 153
7.2. Химический элемент. Строение атома. Периодический закон Д.И.Менделеева..... 154
7.3. Химическое соединение, химическая связь..... 158
7.4. Химическая реакция, ее скорость, кинетика и катализ, биокатализаторы 160
7.5. Взаимосвязь химического строения и структуры неорганических и органических соединений. Изомерия и ее виды 164
7.6. Нанотехнологии 166

ГЛАВА 8. ЭНТРОПИЯ, КИБЕРНЕТИКА И СИНЕРГЕТИКА 173
8.1. Энтропия и вероятность..... 173
8.2. Кибернетика, основные понятия кибернетики. Информация.. 177
8.3. Синергетика. Рождение порядка из хаоса..... 180
8.4. Синергетические координаты для описания эволюции. Спираль развития. 186
8.5. Термодинамика живых систем..... 189
8.6. Управление и регулирование в живых системах 191

ГЛАВА 9. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ 195
9.1. Физико-химические предпосылки для зарождения жизни 195
9.2. Эволюционная химия. Общая теория химической и предбиологической эволюции 196
9.3. Теории возникновения жизни 200
9.4. Гипотеза Опарина–Холдейна о происхождении жизни. 203
9.4.1. Основные проблемы гипотезы Опарина–Холдейна о происхождении жизни 208
9.5. Специфика живого 210
9.6. Концепция эволюции в биологии 212

9.6.1. Эволюционная теория Дарвина – Уоллеса 212
9.6.2. Современная (синтетическая) теория эволюции 213
9.6.3. Глобальный эволюционизм 219
9.7. Характерные черты эволюционного процесса 221
9.8. Структура живых существ. Деление клетки 224
9.9. Генетика, генная инженерия, клонирование. 228
9.10. Движение вещества и энергии в природе. Энергетическая функция жизни 235

ГЛАВА 10. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА. АНТРОПОСОЦИОГЕНЕЗ 239
10.1. Достижения палеонтропологии..... 239
10.2. Достижения эволюционной психологии..... 244
10.3. Различные гипотезы возникновения человека. 250
10.4. Человек: мозг, сознание. Искусственный интеллект 254
10.5 Человек и биосфера. Концепция В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере 260
10.6. Антропогенный фактор и глобальные экологические проблемы..... 263

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ..... 272

ГЛОССАРИЙ. 275

ЛИТЕРАТУРА 283

ВВЕДЕНИЕ

Нынешняя эпоха развития человечества – эпоха современной техногенной цивилизации – имеет ряд специфических черт и особенностей. Прежде всего это касается науки, так как она определяет успехи и достижения в познании мира и во всех иных сферах человеческой деятельности.

Достижения природоведческих наук лежат в основе модернизации материального производства, обеспечивают решение важнейших задач жизни человечества: питания и здравоохранения, охраны окружающей среды и возобновляемых ресурсов. Уже в первой половине XX в. циклы свершения научных открытий и преобразования суммы технологий стали соизмеримы со средней продолжительностью жизни человека. В настоящее время на глазах одного поколения людей происходит смена нескольких поколений техники, как на производстве, так и в быту. Большинство представителей социальных слоев используют научно-технические достижения, практически не имея представления о научных основаниях, на которых они основываются и согласно которым функционируют.

Такая ситуация порождает ряд существенных проблем. В частности, непонимание принципов взаимодействия природных и техногенных систем приводит к серьезным экологическим последствиям, так как масштабы современной человеческой деятельности вышли на уровень, сопоставимый с масштабами геологических процессов и даже превосходящий их. Следует также учесть, что недостаточная естественнонаучная грамотность специалистов и руководителей, ответственных за принятие решений, является, как показала практика ряда стран, причиной поддержки псевдонаучных идей и проектов, что чревато существенными экономическими рисками.

В связи с этим особую актуальность приобретает изучение дисциплины «Основы современного естествознания», особенно у студентов гуманитарных и экономических специальностей.

Цель преподавания дисциплины – формирование у студентов целостного представления о единой физической картине мира, основанного на современных достижениях естественнонаучных дисциплин; знакомство с основополагающими концепциями различных естественных наук (физики, химии, биологии и др.) и с современными научными методами познания природы.

Задачи изучения дисциплины:

- приобретение знания и умения использовать понятия и законы естественных наук для углубленного понимания и анализа процессов и явлений,

происходящих в неживой и живой природе, в сфере материального производства;

- оказание помощи студентам гуманитарных специальностей в рассмотрение ключевых проблем естествознания, в уяснении сущности фундаментальных законов природы, составляющих основу различных естественных наук (физики, химии, биологии и др.);

- осознание студентами социальной и гражданской ответственности за экологические последствия принимаемых решений и производимых действий;

- осознание студентами необходимости самообразования и повышения квалификации в области естественнонаучного знания.

ГЛАВА 1. НАУКА, НАУЧНЫЙ МЕТОД. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК КОМПЛЕКС НАУК О ПРИРОДЕ

Термин «естествознание» происходит от соединения слов «естество», то есть природа, и «знание». Таким образом, дословное толкование термина «естествознание» – знание о природе.

Естествознание в современном понимании – наука, представляющая собой комплекс наук о природе, взятых в их взаимосвязи. При этом под природой понимается все сущее, весь мир в многообразии его форм. Естествознание является основой для формирования научной картины мира. *Под научной картиной мира* понимают целостную систему представлений о мире, его общих свойствах и закономерностях, возникающую в результате обобщения основных естественнонаучных теорий.

1.1. Наука. Функции науки

Наука – это особый рациональный способ познания мира, основанный на эмпирической проверке или математическом доказательстве.

Науку рассматривают как сферу исследовательской деятельности, направленную на производство новых знаний о природе, обществе и человеке, включающую в себя все условия этого производства: ученых с их знаниями и способностями, научные учреждения и специальное оборудование, методы научно-исследовательской работы, систему научной информации.

Виды наук:

- естественные – о природе;
- гуманитарные – об обществе и человеке;
- технические – об искусственных объектах.

Наука является производительной силой – это одна из важнейших составляющих производительных сил и фактор их развития на пути использования научных знаний при разработке новых технологий, предметов труда и продуктов предметно-практической деятельности. Технологии на основе науки, которые пришли на смену традиционным и природным технологиям, обеспечивают производство свыше 90% общественного продукта.

Наука является формой общественного сознания – это отражение реальности в рационально упорядоченных и систематизированных формах знания такой, какой она существует независимо от познающего и действующего человек.

Выделяют три основные функции, три составляющие науки: *наука – как отрасль культуры, наука – как способ познания мира, наука – как социальный институт*.

1.1.1.Наука как отрасль культуры

Культура — специфический способ организации и развития человеческой жизнедеятельности, представленный в продуктах материального и духовного труда, в системе социальных норм и учреждений, в духовных ценностях, в совокупности отношений людей к природе, между собой и к самим себе.

Науку как составляющую общечеловеческой культуры от других отраслей культуры отличает целый ряд признаков. В отличие от техники целью науки является познание мира, а не использование полученных знаний о мире для его преобразования. От искусства наука отличается рациональностью. От философии науку отличает то, что ее выводы требуют эмпирической проверки. В отличие от идеологии научные истины общезначимы и не зависят от интересов определенных слоев общества. От религии наука отличается тем, что опирается не на веру, а на чувственную реальность. Наука решает частные проблемы и дает относительные ответы на частные вопросы, которые подтверждаются опытом. При этом в науке никогда не имеется достаточных оснований для уверенности в том, что достигнута истина.

Как сфера человеческой деятельности наука имеет особые черты:

Универсальность — сообщает знания, истинные для тех условий, при которых они получены.

Обезличенность — конечные результаты научного познания не зависят от национальности ученого, от места его проживания или индивидуальных особенностей.

Систематичность — наука имеет определенную взаимосвязанную структуру, а не является бессвязным набором частей.

Фрагментарность — наука делится на отдельные дисциплины, поскольку изучает не бытие в целом, а различные фрагменты реальности и ее параметры.

Общезначимость — научные знания могут быть использованы всеми людьми. Наука оперирует единым языком терминов и понятий.

Незавершенность — процесс научного познания бесконечен, так как научное знание не может достичь абсолютной истины.

Преемственность — новые знания определенным образом соотносятся со старыми знаниями.

Критичность — всякое знание относительно, любые результаты могут быть поставлены под сомнение и пересмотрены.

Достоверность — любые научные выводы основаны на результатах, прошедших разностороннюю проверку.

Внеморальность — научные истины нейтральны в морально-этическом плане. Нравственные оценки могут относиться либо к деятельности по получению знания, либо к деятельности по его использованию.

Рациональность — разработка теорий, выходящих за рамки эмпирического уровня, на основе законов логики.

Чувственность — научные результаты признаются достоверными только после того, как они эмпирически проверены с использованием чувственного восприятия.

Кроме того, для науки характерны свои методы исследований, использование приборов и оборудования, особый язык. Таким образом, специфика науки как отрасли культуры заключается в следующем:

- ♦ наука познает реальность посредством изучения отдельных ее частей;
- ♦ результаты науки требуют эмпирической проверки.

1.1.2.Наука как способ познания мира

Научное и обыденное познание

Наиболее развитой формой познания в настоящее время является наука. Она познает объективные законы изучаемых явлений. Благодаря этому наука обладает предсказательной функцией, позволяет предвидеть ход событий. Формула науки: знать, чтобы предвидеть; предвидеть, чтобы действовать со знанием дела. Наряду с наукой существует *вненаучное познание,* занимающее важное место в жизни человека. На практике вненаучные формы познания часто бывают незаменимы. Среди них наиболее распространено *обыденное познание.*

Под *обыденным познанием* понимают неспециализированную познавательную деятельность человека в процессе его жизнедеятельности. Результатом обыденного познания является жизненно-практическое знание. При этом жизненно-практическое знание является ключевым во взаимопонимании людей и образует основу любого другого знания, в том числе и научного. Помимо обыденного, к вненаучному относят многочисленные специализированные виды практического познания и знания — например, практическое животноводство, растениеводство, швейное дело и т. д.

Результатом обыденного познания, так же как и научного, может быть объективное знание о мире. При этом научное и обыденное познание имеют ряд важных отличий:

1. *Характер объекта познания.* Обыденный опыт имеет дело с целым объектом и всем комплексом его внешних связей. В науке объект познают посредством изучения его частей и нахождения связей между ними, при этом на теоретическом уровне имеют дело не с самими объектами, а с их идеализированными моделями.

2. *Системность и обоснованность* — признак, отличающий научное знание от обыденного. Научные знания выстраиваются в систему посредством логического выведения одних утверждений из других.

3. *Проверка достоверности полученных знаний.* Достоверность обыденного знания может быть установлена только опытом или в процессе производства. Наука использует специфическое средство проверки знаний — эксперимент.

4. *Использование специальной аппаратуры.* В отличие от обыденного познания наука нуждается в специальных орудиях и средствах исследования — научной аппаратуре (инструментах, приборах, оборудовании).

5. *Используемый язык.* В процессе обыденного познания пользуются обычным, разговорным языком. В науке помимо разговорного используется особо разработанный язык специфических терминов, символов, схем, формул.

6. *Необходимость особой подготовки.* В отличие от обыденного познания занятия наукой требуют особой подготовки — теоретической, практической, методической.

Структура (формы) научного познания

Научное познание иначе называют научным исследованием. Наука — не только результат научного исследования, но и само исследование. Она имеет определенную структуру. Выделяют два уровня научного исследования, научных знаний — эмпирический и теоретический.

Эмпирическое исследование (от греч. *empeiria* — опыт) — это опытное познание. Эмпирический уровень научного познания характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов.

Теоретическое исследование (от греч. *theoria* — рассматриваю, исследую) представляет собой систему логических высказываний, включающих в себя математические формулы, схемы, графики и др., образованные для установления законов природных, технических и социальных явлений.

Основными формами научного познания являются *факты, проблемы, гипотезы* и *теории.*

Установление фактов является необходимым условием успешности естественнонаучных исследований. Для построения теории факты должны быть не только достоверно установлены, систематизированы и обобщены, но и рассмотрены во взаимосвязи.

На основе фактов могут быть сделаны *эмпирические обобщения.* На основе эмпирических обобщений формулируется *гипотеза* (от гр. *hypothesis* — основание, предположение) — научное предположение. *Гипотеза* — это предположительное знание, которое носит вероятностный характер и требует проверки. Если в ходе проверки содержание гипотезы не согласуется с эмпирическими данными, то оно отвергается. Если же гипотеза подтверждается, то можно говорить о ней с той или иной степенью вероятности. В результате проверки и доказательства одни гипотезы становятся *теориями,* другие уточняются и конкретизируются, третьи отбрасывается, если их проверка дает отрицательный результат. Основным критерием истинности гипотезы является *практика* в разных формах.

Гипотеза должна быть либо подтверждена, либо опровергнута. Для этого она должна обладать свойствами *фальсифицируемости и верифицируемости*.

Фальсификация – процедура, устанавливающая ложность теории (гипотезы) в результате экспериментальной или теоретической проверки. Требование фальсифицируемости гипотез означает, что предметом науки может быть только принципиально опровергаемое знание. Неопровержимое знание (например, истины религии) к науке отношения не имеет. При этом сами по себе результаты эксперимента опровергнуть гипотезу не могут. Для этого нужна альтернативная гипотеза или теория, обеспечивающая дальнейшее развитие знаний. В противном случае отказа от первой гипотезы не происходит.

Верификация – процесс установления истинности гипотезы или теории в результате их эмпирической проверки. Возможна также косвенная верифицируемость, основанная на логических выводах из прямо верифицированных фактов.

Научная теория — обобщенная система знаний, дающая целостное отображение закономерных и существенных связей в определенной области объективной реальности. Основная задача теории заключается в том, чтобы описать, систематизировать и объяснить все множество эмпирических фак-

тов. Теория является высшей формой организации научного знания, дающей целостное представление о существенных связях и отношениях в какой-либо области реальности. Разработка теории сопровождается, как правило, введением понятий, фиксирующих непосредственно ненаблюдаемые стороны объективной реальности. Поэтому проверка истинности теории не может быть непосредственно осуществлена прямым наблюдением и экспериментом.

Главными элементами научной теории являются *принципы и законы*. Принципы представляют общие и важные подтверждения теории. В теории принципы играют роль первичных предпосылок, образующих ее основу. В свою очередь, содержание каждого принципа раскрывается с помощью законов. Они конкретизируют принципы, раскрывают механизм их действия, логику взаимосвязи, вытекающих из них следствий. Трудность заключается в том, что в непосредственном наблюдении зафиксировать сущностные характеристики исследуемого объекта сложно. Поэтому прямо перейти с эмпирического уровня познания на теоретический нельзя. Теория не строится путем непосредственного обобщения опыта, поэтому следующим шагом становится *формулирование проблемы*. Она определяется как форма знания, содержанием которой является осознанный вопрос, для ответа на который имеющихся знаний недостаточно. Поиск, формулирование и решение проблем — основные черты научной деятельности. В свою очередь, наличие проблемы при осмыслении необъяснимых фактов влечет за собой предварительный вывод, требующий экспериментального, теоретического и логического подтверждения.

В случае, если теория в целом не получает убедительного эмпирического подтверждения, она может быть дополнена новыми гипотезами. Подтвержденная на практике теория считается истинной до тех пор, пока не будет предложена новая теория, лучше объясняющая известные эмпирические факты, а также новые эмпирические факты, которые стали известны уже после принятия первоначальной теории и оказались противоречащими ей. Основной смысл, суть той или иной теории, выражается в *концепции.*

Концепция (от лат. *conceptio* — понимание, система) — это определенный способ понимания, трактовки какого-либо предмета, процесса, явления либо ведущий замысел, конструктивный принцип научной деятельности. Можно сказать, что *концепция* – это совокупность основных идей, определенная трактовка, основная точка зрения на какое-либо явление или совокупность явлений.

Мировоззрение – это система взглядов человека, определяющая его отношение к миру. Если наука изучает природу или человека, то внимание мировоззрения обращено на их связь и отношение в общем виде. Древнейшей формой мировоззрения является *миф*. Следующая форма – *теология*, основывающаяся на догмах (бесспорные, не требующие доказательств положения). Со временем догмы подверглись критике со стороны крепнущих естественнонаучных знаний, что потребовало создать логическую систему доказательств, и это отразилось на религии. Последняя форма – *научное мировоззрение*.

Господствующие в определенный исторический период научные картина мира и методология называются *парадигмой*. *Парадигма далеко не всегда является истиной, она – лишь догма, отражение научных представлений на определенном этапе истории.* Принятая в данное время парадигма очерчивает круг проблем, имеющих смысл и решение, а так же допустимых методов их решения. То, что вне этого круга, не заслуживает рассмотрения и объявляется *«ненаучным»*. На каждом историческом этапе существует так называемая «нормальная» наука, действующая в рамках парадигмы и «ненаука», которая противоречит современной парадигме.

Смена парадигм в науке происходит регулярно, и это достаточно болезненный процесс. В наблюдаемых явлениях или теоретических построениях парадигмы возникают аномалии, их число растет, их отклонения от предсказаний принятой за основу теории увеличиваются по мере накопления новых фактов. Парадигма терпит крах, наступает *кризис в науке*. На развалинах старой теории растут новые гипотезы, и одна из них доказывает свою жизнеспособность, успешно объясняя и старые, и новые данные в совокупности. Она то и становится началом новой парадигмы. Так происходит *научная революция*. Во все времена, борьба с носителями радикальных идей, объявляемых ненаучными (коперникианство, теория относительности, кибернетика, генетика) не прекращается в рамках самой научной среды. Это связано с тем, что появление и признание новых идей подрывает утвердившиеся общепризнанные авторитеты (а значит, общественное и материальное положение определенного круга лиц) и разрушает существующий порядок вещей. С другой стороны, необходим и определенный консерватизм, который не даст проникнуть в науку фиктивным, недостоверным новшествам. С позиций разграничения научного и «ненаучного», не отвечающего господствующей парадигме, предлагая новую научную теорию, следует учесть ряд факторов:

- позаботиться о том, чтобы теория экспериментально подтверждалась;

- быть готовым к яростной неприязни научного сообщества.

Ученые шутят: всякая идея проходит три стадии: 1 – Этого не может быть, потому, что не может быть никогда! 2 – В этом что-то есть! 3 – Ну это же так очевидно!

В 1960-х годах широко развернулась дискуссия о делении людей на «физиков» и «лириков», т.е. фактически мировая культура разделялась на два направления – гуманитарное и естественнонаучное. Пропасть между этими направлениями разрасталась. Для естественнонаучной культуры характерен *научно-рациональный способ познания*, объектом этого познания является природа. Для гуманитарно-художественной культуры характерен *художественно-образный способом познания* (духовный мир, который не доступен обычному восприятию), объект познания – человек и общество.

К настоящему времени стало ясно, что дуализм, разобщенность культур приводит к неполноценному восприятию мира. Человек – это часть природы. Значит, целостное представление о единой картине мира может сложиться только при синтезе знаний и культур, когда знания, полученные из разных областей науки друг друга дополняют. Взаимно дополняя и обогащая друг друга, они позволили выработать универсальные подходы для решения любых проблем. Каждая наука старается подвести свое существование к культуре. Культура – наследие человечества. Связываясь с культурой, естествознание даст возможность науке на вечное существование науки, как части культуры. Культура же многим обязана науке (создание оригинальной архитектуры с использованием достижений науки, поиск, исследование и восстановление культурных памятников). Связь культуры и науки не однобока, это – деятельный симбиоз.

1.1.3. Наука как социальный институт

В 17-18 вв. в Европе были созданы первые научные общества, академии, начали издаваться научные журналы. Наука сложилась как социальный институт.

Основные характеристики науки как социального института:

- наука включает в свой состав людей (ученых), которых образуют научные коллективы, организации и которых выполняют общую функцию производства нового знания;

- деятельность людей науки отделена от деятельности других организаций общества и развивается и функционирует по своим специфическим законам;

- наука производит продукт – научное знание, представляющее ценность для всего общества в целом;

Внимание государства к науке в истории общества росло по мере того, как возрастали ее социальные функции и значение. Развиваясь, наука превратилась в непосредственную производительную силу, в важнейший компонент научно-технического прогресса.

О масштабах научной сферы жизни современного общества свидетельствует численность ученых в мире. Если в начале 19 века количество ученых насчитывало около 1 000 чел., к началу 20 века – уже порядка 100 000 чел., то к началу 21 века – свыше 5 млн. человек. Удвоение научной информации происходит каждые 10-15 лет.

Современная наука включает более 15 000 дисциплин.

В развитых странах на науку сегодня затрачивается 2-3 % валового национального продукта. (Швеция – 4, 27 % ВВП, Финляндия 4%, в среднем в Западной Европе 3%, Россия - 0,3% 2008г.). Без науки невозможны ни достаточная обороноспособность страны, ни ее производственное могущество.

К сожалению, в последние десятилетия ввиду низких материальных вложений наша наука находится весьма в плачевном состоянии. Согласно статистическим данным, заработная плата исследователей в фундаментальной науке в развитых странах в десятки раз (30-40) выше, как и годовые расходы на фундаментальную науку.

1.2. Методы научного познания

Научное знание представляет собой систему, имеющую несколько уровней познания, различающихся по целому ряду параметров. Как уже указывалось, различают два уровня научного познания *эмпирический и теоретический уровни познания.* Каждый из них выполняет определенные функции и располагает специфическими методами исследования.

Процесс познания окружающего мира представляет собой решение разного рода задач, возникающих в ходе практической деятельности человека. Эти проблемы решаются путем использования особых приемов — методов.

Методы науки — совокупность приемов и операций практического и теоретического познания действительности. Выделяют *всеобщие, общенаучные и частнонаучные методы научного познания.*

Всеобщие методы познания используются в любой области исследования и позволяют выявлять связи и признаки исследуемых объектов. В истории науки к таким методам относят **метафизический и диалектический методы.**

Общенаучные методы - совокупность методов, используемых во всех сферах научного исследования для решения определенного класса проблем (качественный, количественный, структурно-системный, кибернетический, информационный, синергетический).

Частнонаучные методы (*конкретно-научные*) это методы, применяющиеся в той или иной научной дисциплине, либо за пределами той отрасли, где они возникли. Таков метод кольцевания птиц, применяемый в зоологии. А методы физики, использованные в других отраслях естествознания, привели к созданию астрофизики, геофизики, кристаллофизики и др. Нередко применяется комплекс взаимосвязанных частных методов к изучению одного предмета. Например, молекулярная биология одновременно пользуется методами физики, математики, химии, кибернетики.

1.2.1. Общенаучные методы познания

Среди общенаучных методов познания выделяют *наблюдение, измерение, эксперимент, абстрагирование и идеализация, анализ, синтез, сравнение, классификацию, аналогию, моделирование.* Некоторые методы чаще используются на эмпирическом уровне познания (наблюдение, измерение, эксперимент), другие на теоретическом (абстрагирование и идеализация). Большая часть методов является универсальными**,** которые используются на всех уровнях научного познания. Рассмотрим их подробнее.

Наблюдение представляет собой целенаправленный процесс восприятия предметов действительности, чувственное отражение объектов и явлений, в ходе которого человек получает первичную информацию об окружающем мире. Наблюдение предполагает наличие определенного плана исследования, предположение, подвергаемое анализу и проверке. Результаты наблюдения фиксируются в описании, отмечающем те признаки и свойства изучаемого объекта, которые являются предметом изучения. Описание должно быть максимально полным, точным и объективным. На их основе создаются эмпирические обобщения, систематизация и классификация.

Измерение — это определение количественных значений (характеристик) изучаемых сторон или свойств объекта с помощью специальных технических устройств. Большую роль в исследовании играют единицы измерения и метрология.

Эксперимент — целенаправленное и строго контролируемое воздействие исследователя на интересующий объект или явление для изучения его различных сторон, связей и отношений. Специфика эксперимента состоит также в том, что он позволяет увидеть объект или процесс в чистом виде. Это

происходит за счет максимального исключения воздействия посторонних факторов. Экспериментатор отделяет существенные факты от несущественных и тем самым значительно упрощает ситуацию. Основная задача эксперимента заключается в проверке гипотез и выводов теорий, имеющих фундаментальное и прикладное значение. В экспериментальной работе при активном воздействии на исследуемый объект искусственно выделяются те или иные его свойства, которые и являются предметом изучения в естественных либо специально созданных условиях.

В любом естественнонаучном эксперименте выделяют такие этапы:

- *подготовительный этап;*
- *этап сбора экспериментальных данных;*
- *этап обработки результатов.*

Подготовительный этап представляет собой теоретическое обоснование эксперимента, его планирование, изготовление образца исследуемого объекта, выбор условий и технических средств исследований. Результаты, полученные на хорошо подготовленной экспериментальной базе, как правило, легче поддаются сложной математической обработке. Анализ результатов эксперимента позволяет оцепить те или иные признаки исследуемого объекта, сопоставить полученные результаты с гипотезой, что очень важно при определении правильности и степени достоверности окончательных результатов исследования.

Для повышения достоверности полученных результатов необходима:

- *многократная повторность измерений;*
- *совершенствование технических средств и приборов;*
- *строгий учет факторов, влияющих на исследуемый объект;*
- *четкое планирование эксперимента..*

Абстрагирование — мысленное отвлечение от всех свойств, связей и отношений изучаемого объекта, которые считают несущественными. Таковы модели точки, прямой линии, окружности, плоскости. Результат процесса абстрагирования называется абстракцией. Реальные объекты в каких-то задачах могут быть заменены этими абстракциями (Землю при движении вокруг Солнца можно считать материальной точкой, но нельзя ее так рассматривать при движении по поверхности Земли).

Идеализация представляет операцию мысленного выделения какого-то одного важного для данной теории свойства или отношения, мысленного конструирования объекта, наделенного этим свойством (отношением). В результате идеальный объект обладает только этим свойством (отношением).

Так образуются такие понятия, как «атом», «множество», «абсолютно черное тело», «идеальный газ», «сплошная среда». Полученные таким образом идеальные объекты в действительности не существуют, так как в природе не может быть предметов и явлений, имеющих только одно свойство или качество. При применении теории необходимо вновь сопоставить полученные и использованные идеальные и абстрактные модели с реальностью. Поэтому важны выбор абстракций в соответствии с их адекватностью данной теории и последующее исключение их.

Универсальные методы исследований

Анализ — метод научного познания, в основе которого лежит процедура мысленного или реального разделения объекта на составляющие его части и их отдельное изучение. Невозможно познать сущность объекта, только выделяя в нем элементы, из которых он состоит. Когда путем анализа частности исследуемого объекта изучены, он дополняется синтезом.

Синтез — метод научного познания, в основе которого лежит объединение выделенных анализом элементов. Синтез выступает как метод представления целого в форме единственных знаний, полученных с помощью анализа. Он показывает место и роль каждого элемента в системе, их связь с другими составными частями. Анализ фиксирует в основном то специфическое, что отличает части друг от друга, синтез — обобщает аналитически выделенные и изученные особенности объекта.

При количественном сопоставлении исследуемых свойств, параметров объектов или явлений говорят о методе сравнения. *Сравнение* — метод научного познания, позволяющий установить сходство и различие изучаемых объектов. Сравнение имеет значение, когда сравниваются действительно однородные и близкие но своей сущности объекты. Метод сравнения выделяет отличия исследуемых объектов и составляет основу любых измерений.

Классификация — метод научного познания, который объединяет в один класс объекты, максимально сходные друг с другом в существенных признаках. Классификация позволяет свести накопленный многообразный материал к сравнительно небольшому числу классов, типов и форм и выявить исходные единицы анализа, обнаружить устойчивые признаки и отношения.

Аналогия — метод познания, при котором происходит перенос знания, полученного при рассмотрении какого-либо объекта, на другой, менее изученный, но схожий с первым по каким-то существенным свойствам. Таким образом, в основе метода аналогии лежит метод сравнения.

Метод аналогии тесно связан с методом *моделирования,* который представляет собой изучение каких-либо объектов с помощью моделей с дальнейшим переносом полученных данных на оригинал. В основе этого метода лежит существенное сходство объекта-оригинала и его модели. В современных исследованиях используют различные виды моделирования: предметное, мысленное, символическое, компьютерное. *Предметное* моделирование представляет собой использование моделей, воспроизводящих определенные характеристики объекта. *Мысленное* моделирование представляет собой использование различных мысленных представлений в форме воображаемых моделей. *Символическое* моделирование использует в качестве моделей чертежи, схемы, формулы. Видом символического моделирования является математическое моделирование, производимое средствами математики и логики. Оно предполагает формирование систем уравнений, которые описывают исследуемое природное явление, и их решение при различных условиях. *Компьютерное* моделирование получило широкое распространение в последнее время.

Разнообразие методов научного познания создает трудности в их применении и понимании их роли. Эти проблемы решаются особой областью знания — методологией. Основной задачей методологии является изучение происхождения, сущности, эффективности, развития методов познания.

1.3. Естествознание и другие науки и формы познания мира

Естественные и гуманитарные науки

Наука занимается изучением объективно существующих (т.е. существующих независимо от чьего-либо сознания) явлений природы. Все научные дисциплины условно разделены на две основные группы: естественнонаучные (занимаются изучением объектов и явлений, не являющиеся продуктом деятельности человека или человечества) и гуманитарные (изучают явления и объекты, возникшие как результат деятельности человека).

Любая наука ставит перед собой целью раскрытие механизмов явлений, законов, по которым строится реальность. Это позволяет прогнозировать результаты протекания процессов, использовать их в своих целях. Объектами изучения гуманитарных наук (история, социология, экономика, правоведение и т.д.) является человек и отношения между людьми. Поэтому изучаемые ими законы несут на себе отпечаток субъективности, что часто вызывает массу споров об их справедливости. Предметом изучения естественных наук (физика, астрономия, космология, космогония, химия, биология, география и

т.п.) является природа. Формулировки законов природы не допускают субъективности, хотя, как выясняется, полностью избежать этого не удается.

Естествознание и религия

Все естественные науки, так или иначе, зародились в недрах монастырей, где монахи стремились познать величие творения Божьего – Вселенную. Изначально наука и религия были неразделимы и представляли собой единый метод познания мира. Практически все первые ученые (Коперник, Галилей, Ньютон) были глубоко верующими людьми. По мере совершенствования научного метода познания все более четко оформляется расхождение между научным и религиозным миропониманием.

В мышлении человека можно выделить две составляющие: *рассудок* и *интуицию*. *Наука абсолютизировала рассудочный, то есть формально-логический метод познания мира*, позволяющий успешно вскрывать детали и механизмы явлений, однако упускающий из вида целостность и органичность мира. Поэтому наука тяготеет к тому, чтобы представить мир как саморазвивающийся механизм, в котором господствуют «слепые» законы природы. *Религия последовательно развивала интуитивно-созерцательный метод познания*, позволяющий почувствовать целесообразность мироустройства, наличие в нем разумной составляющей, однако плохо отражающий детали явлений. Противопоставление двух методов познания достигло состояния антагонизма в XIX - XX веках. В настоящее время в рамках системного подхода наметилась тенденция к формированию новой концепции миропонимания (новой научной парадигмы), позволяющей совместить в себе достижения обоих методов познания.

Естествознание и философия

Естествознание выделилось из философии сначала как натурфилософия, которая впоследствии породила целую гроздь конкретных естественнонаучных дисциплин. *Современная философия пытается сформулировать наиболее общие законы природы, лежащие в основе мироздания.* Естественные науки рассматривают более узкий и более конкретный круг вопросов.

Современная научно-техническая революция породила проблему, напоминающую легенду о Вавилонской башне: огромное количество узких научных направлений создало множество специальных языков, на которых способно разговаривать только незначительное количество представителей данной научной дисциплины. Взаимное непонимание представителей различных наук грозит тем, что мы однажды запутаемся в собственном информационном хаосе. *Цель философии состоит именно в том, чтобы на основе дос-*

тижений отдельных наук построить обобщенную картину мира. В этом смысле дисциплина «Основы современного естествознания» несет в себе философский оттенок. Однако он более конкретен, более приближен к языку естествознания, чем философия, которая разговаривает на более абстрактном языке.

Место математики среди естественных наук

Без математики сегодня не обходится практически ни одна естественная наука. Сама математика не является естественной наукой в полном смысле этого понятия, поскольку не занимается изучением каких-либо объектов или явлений реального мира. В основе математики лежат *аксиомы*, придуманные человеком. Для математика не имеет решающего значения вопрос, справедливы ли эти аксиомы? Так, в настоящее время благополучно сосуществует несколько геометрий, основанных на несовместных друг с другом системах аксиом. Для математики важна лишь *логическая строгость выводов*, делаемых на основе аксиом и предшествующих теорем. В этом главное отличие математики от естествознания, для которого важно, соответствует ли теоретическое построение реальности. При этом в качестве критерия истинности естественнонаучных знаний выступает *эксперимент*, в ходе которого осуществляется проверка теоретических выводов.

В ходе изучения свойств реальных объектов часто оказывается так, что они приближенно соответствуют аксиоматике того или иного раздела математики. Это позволяет использовать математический аппарат в качестве инструмента для анализа свойств реальных объектов. Формальный характер математических зависимостей позволяет перенести их на объекты самой различной природы. Так, например, одними и теми же по форме дифференциальными уравнениями описываются переходные процессы, как в технических, так и в экологических и даже в социальных системах. Таким образом, *математика оказывается одним из общих языков, на котором могут разговаривать представители разных ветвей естествознания*.

Опыт развития современного естествознания показывает, что на определенном этапе развития естественнонаучных дисциплин неизбежно происходит их математизация, результатом которой является создание логически стройных формализованных теорий и дальнейшее ускоренное развитие дисциплины.

ГЛАВА 2. ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

2.1. Исторические этапы развития естествознания

Процесс познания человеком природы начался еще в глубокой древности, но интенсивно стал развиваться в античный период. Важную роль в дальнейшем становлении естествознания как науки сыграли основанные на наблюдениях великие догадки *древних философов*.

В средневековье процесс познания природы находился в полной зависимости от богословия. В этот период развивались астрология, алхимия, магия и другие виды оккультного знания. Тем не менее, постепенно накапливались новые факты и оттачивалась логика теоретического мышления. Например, возникновению и развитию научной химии, несомненно, способствовали работы средневековых алхимиков.

Становление естествознания в современном его понимании, по мнению историков науки, прошло три стадии и в конце XX в. вступило в четвертую стадию.

Первая стадия (естествознание древнего мира) научного естествознания — ***натурфилософия***, зародившаяся в позднем средневековье, относится к эпохе Возрождения (XV-XVI вв.). Этот период характеризуется получением знаний путем *наблюдения*, а не эксперимента, *преобладанием догадок*, а не опытно воспроизводимых выводов. Деления на дисциплины не существовало, создаваемые концепции носили мировоззренческий характер. Роль решающего критерия истинности эксперименту не отводилась. Верные наблюдения и гениальные догадки сосуществовали с умозрительными и часто ошибочными построениями.

При этом натурфилософия несет в себе глубокую конструктивную идею необходимости союза естествознания и философии, что прослеживается во всей последующей истории естествознания.

Таким образом, несмотря на неразвитость естествознания, стадию натурфилософии отличает важная методологическая основа — синтез философских и естественнонаучных идей. Именно благодаря философскому подходу к осмыслению естественнонаучных знаний создаются научные картины мира, которые вырабатываются наукой каждой исторической эпохи.

Вторая стадия (классический период) развития естествознания — ***аналитическое естествознание*** (XVII — конец XIX в.) — связана с формированием и систематическим развитием экспериментально-теоретических исследований. Натурфилософское познание природы превратилось в современное естествознание, в систематическое научное познание па базе экспери-

ментов и математического изложения полученных результатов. На стадии аналитического естествознания была получена основная масса достижений в изучении природы. Среди них — открытие законов классической механики, закона всемирного тяготения, периодического закона, разработка теории химического строения органических соединений, теории эволюции живых организмов.

Возникли и начали интенсивное развитие естественные науки: физика, химия, биология, география, геология. Накопление знаний требовало более детального изучения объектов, что вело к дифференциации соответствующих наук. Так, химия разделилась на органическую и неорганическую, затем появились физическая и аналитическая химия. В биологии были выделены ботаника, зоология, анатомия, физиология. При этом внимание ученых было обращено главным образом на исследование объектов природы в сравнении с исследованиями процессов. Так, в химии изучали главным образом элементный состав и строение молекул веществ, и только к концу XIX в. ведущее место стало занимать учение о химических реакциях. *В этот период преобладал подход к рассмотрению природы как неизменной во времени, то есть вне эволюции, а ее разных сфер — вне связи друг с другом*. Несмотря на то, что естествознание постепенно проникалось идеями эволюционного развития, данный подход просуществовал в науке вплоть до середины XIX в.

Таким образом, стадию аналитического естествознания характеризуют следующие особенности:

♦ тенденция к возрастающей дифференциации естественных наук;

♦ преобладание эмпирических (то есть полученных посредством эксперимента) знаний над теоретическими;

♦ преимущественное исследование объектов природы в сравнении с исследованиями процессов;

♦ подход к рассмотрению природы как неизменной во времени, а ее разных сфер — вне связи друг с другом.

Третья стадия — ***синтетическое естествознание*** (конец XIX — конец XX в.). На стадии синтетического естествознания возрастает роль теоретических знаний, интенсивно исследуются как природные объекты, так и процессы. Эволюционный подход к познанию природы становится методологической основой синтетического естествознания. Этот период развития науки характеризуется ясным пониманием целостности природы и неразрывной взаимосвязи отдельных ее частей. Например, любой живой организм можно рассматривать как механическую систему и как систему термодина-

мическую. Одновременно жизнь рассматривается как множество непрерывно протекающих химических реакций. При этом важно понимать, что данные подходы имеют относительный характер. Живой организм — единое целое, и потому подход к его изучению должен быть комплексным. Одним из результатов комплексного подхода к изучению природы как единого целого стало возникновение экологии — науки о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей средой.

Необходимость комплексного изучения природных объектов и явлений, с одной стороны, и одновременно растущая дифференциация наук — с другой, привели к необходимости создания синтетических дисциплин. Так на стыке смежных наук — биологии, химии, физики — появились физическая химия, биохимия, физико-химическая биология. Таким образом, главной отличительной особенностью синтетического естествознания является ориентация на создание синтетических научных дисциплин.

Также этот период характеризуется лавинообразным накоплением нового фактического материала. Резкое удорожание науки, особенно экспериментальной. Как следствие – возрастание роли теоретических исследований. Роль эксперимента как критерия истинности знания сохраняется, но признается, что само понятие истинности не имеет абсолютного характера: утверждения, истинные при определенных условиях, при выходе за границы, в рамках которых проводился эксперимент, могут оказаться приближенными и даже ложными. Современное естествознание утратило присущую классическим знаниям простоту и наглядность. Это произошло потому, *что наука углубилась в области, где обычный “житейский” опыт и знания об объектах и происходящих с ними явлениях отсутствуют*.

В конце XX столетия естествознание вступило в **четвертую стадию** своего развития, которую называют ***интегральным естествознанием***. Интегральное естествознание характеризуется не столько продолжающимися процессами синтеза двух-трех смежных наук, сколько масштабным объединением разных дисциплин и направлений научных исследований. Примером таких новых интегральных научных направлений является кибернетика.

Кибернетика — это наука об общих принципах управления в машинах, живых организмах, обществе. Это интегральная наука, возникшая на стыке ряда специальных дисциплин — теории автоматов, техники связи, математической логики, теории информации и др.

Другим примером масштабной научной интеграции является синергетика, претендующая на роль общей теории развития. Синергетика — новое на-

правление междисциплинарных научных исследований процессов возникновения порядка из беспорядка (самоорганизации) в открытых системах физической, химической, биологической и другой природы. Существенную роль в процессе научной интеграции выполняют такие общенаучные методы исследования, как математизация естествознания, разработка принципов системных исследований, использование новейших информационных технологий.

Таким образом, современный этап в развитии естествознания отличают ясное понимание целостности природы, эволюционный подход к ее изучению и к осмыслению результатов исследований, интенсивно идущие процессы интеграции разных научных направлений. Естествознание, вероятно, будет выступать как единая и многогранная наука о природе.

2.2. Становление естествознания

Не будет ошибочным утверждать, что естествознание зародилось фактически одновременно со становлением на планете Земля вида Homo sapiens – Человека Разумного. Потребность познания – одна из основополагающих, фундаментальных потребностей человека, имеющая как чисто практический, так и внутренний духовный стимул.

Наука, а точнее – донаучное или протонаучное повседневное стихийно-эмпирическое знание возникло практически одновременно с другим не менее важным культурным явлением – искусством. Фактически, наука и искусство – это два вида осознания, анализа и отражения окружающего нас мира: интеллектуальный и чувственный. Повседневное сознание включало массу информации об окружающей среде. Важно было многое: свойства минерального сырья для изготовления орудий и краски, особенности поведения и анатомия животных, полезные свойства сотен растений, климатические и иные природные ритмы, ориентация в пространстве. Простейшие географические схемы-карты, вырезанные на пластинах из бивня мамонта, появились так же еще в верхнем палеолите.

Ряд палеолитических предметов, при ближайшем рассмотрении, обнаруживает у наших далеких предков не только элементарные математические знания, но и зачатки астрономических знаний – счет лунных фаз, примечательные моменты движения небесных тел. Изучение звездного неба было необходимо и для облегчения ориентирования на местности. Календарь, составлявшийся по небесным явлениям, так же был средством решения чисто практических повседневных задач, связанных с определением времени миграций стад животных и самих людей, решения бытовых проблем, проблем воспроизводства рода. Таким образом, математическое и астрономическое

знание зарождались в единстве. Оба направления протонауки находили свое отражение в первобытном искусстве.

Протонаучные знания в палеолите не только накапливались, но уже и классифицировались. Свидетельствуют об этом многочисленные наблюдения за так называемыми «примитивными» обществами. Так, ведущие примитивное хозяйство чукчи, согласно данным этнографа В.Г. Богораза, имели десятки особых наименований для оленей различного возраста, окраса, качества шерсти – намного больше, чем существует для этой цели слов в языках «цивилизованных» обществ. Только цветов оленьей шкуры чукчи различают 26, возрастных наименований для оленя у них 10. К. Леви-Строс сообщает, что индейцам хопи известно 350 видов растений, индейцам наваха – 500, а у филиппинских племен субанун и хануну, соответственно 1000 и 2000. Такая же сложная классификация растений применяется африканским племенем догонов – 22 семейства, входящие в три больших группы – деревья, кусты и травы. Терминология, применяющаяся «примитивными» обществами для классификации и номенклатура не уступают по сложности принятой Карлом Линнеем, каждый новый термин, зачастую, утверждался на совете племени.

Высшим уровнем обобщения и систематизации накопленной информации в первобытном сознания стало создание *мифологической картины мира*. Миф – не просто обобщение, а обобщение мира в наглядных чувственно-конкретных, эмоциональных образах. Природа в мифах очеловечивалась, люди переносили собственные черты на весь окружающий мир и он начинал выступать в виде своеобразной «родовой общины» с некими кровнородственными связями. Реки, ветры, звезды, Солнце, Луна, огонь, растения, люди, звери и т. д. – все они были одушевлены, ссорились, мирились, вступали в брак, рожали детей, охотились. В отличие от научно обоснованной картины мира, миф ставил целью не выявление и объяснение действительности, а установление видимости идеального равновесия между родом и природой. С другой стороны древним мифологическим сюжетам свойственно сохранение осколков самых первых научных познаний. Таким образом, для мифологической системы знаний характерны:

- антропоцентризм;
- нечувствительность к логическим противоречиям;
- умозаключения по аналогии;
- отсутствие противостояния случайного и повторяющегося.

Постепенно, с накоплением нового опыта и новых практических знаний и освоением таких принципиально новых видов деятельности, как земледе-

лие и скотоводство, начался переход от присваивающего хозяйства к производящему. Этот переход английский археолог Гордон Чайльд назвал неолитической революцией. Именно этот революционный переход в хозяйстве был важным шагом к возникновению техногенной цивилизации, а одновременно – превращения доисторической протонауки в науку. В это время было освоено и широкое производство изделий из керамики.

Важнейшим изобретением древних цивилизаций была письменность – первый принципиально новый способ передачи информации после возникновения речи. Жречество Двуречья и Египта, друиды Европы, волхвы индоевропейских племен обладали уже весьма обширными астрономическими и математическими знаниями. Об этом свидетельствуют Зиккурат (ступенчатая пирамида, являвшаяся одновременно храмом и обсерваторией) Вавилона, Великие Пирамиды и храм Амона Ра, Стоунхендж и другие мегалитические комплексы в Британии, городище-обсерватория Аркаим на Южном Урале, а так же многочисленные письменные источники. Не в меньшей степени были знакомы с астрономией и цивилизации майя и ацтеков, создавшие на основе многолетних наблюдений не только совершенную календарную систему, но и предсказавшие на сотни лет вперед ряд других астрономических явлений. С древней астрономией и мифологией индейских племен связаны знаменитые ступенчатые пирамиды-храмы и гигантские рисунки в пустыне Наска.

Жрецы Двуречья (халдеи) поведали Александру Македонскому, что к моменту их встречи непрерывно вели астрономические наблюдения в течении 1903 лет, отметив за этот период 832 лунных и 373 солнечных затмения. А для отдельных выводов, по мнению современных археоастрономов, жрецам Вавилона были необходимы данные за последние 30000 лет! Древневавилонская математика уже была способна оперировать не с числом конкретных объектов, а с абстрактными числами.

Многочисленные рассуждения, гипотезы, связаны с проблемой Атлантиды. Цивилизация атлантов, освещенная в трудах Солона и Платона, могла быть источником многих древних научных знаний. Наиболее вероятным следует признать атлантами создателей высокой минойской цивилизации, возникшей около 8000 лет назад и погибшей при катастрофическом извержении вулкана Санторин. Вполне возможно, что мезолитическое искусство Испании, и часть древнеегипетских и античных знаний происходят именно от атлантов-минойцев.

2.3. Античная натурфилософия

Одним из выдающихся достижений античной цивилизации стала натурфилософия (философия природы, целостное учение об окружающем мире) – первая историческая форма научного знания.

Фалес (624-546 до н.э.) – древнегреческий философ, математик, астроном, физик, путешественник и купец, один из семи мудрецов Греции. Сформулировал понятие субстанции или стихии, как основы материального мира. Считал первородной стихией воду, из которой получаются все остальные. Первым начал исследовать электрические явления (он обнаружил, что камень янтарь – «электрон» по-гречески – в результате трения приобретает свойства притягивать легкие тела, а так же изучал свойства магнита). Его мировоззрение сформировались в результате знакомства со знаниями жрецов Египта. Именно благодаря этим знаниям он смог предсказать солнечное затмение 28 мая 585 г. до н.э., умел измерять расстояния до недоступных предметов. Основал в Милете философскую школу.

Гераклит (554-483 до н.э.), философ из Эфеса, в отличие от предшественников, основой всего сущего считал стихию огня. Логическое обоснование такой трактовки следующее: природа изменчива так же, как изменчив и непостоянен огонь. Гераклит утверждал, что мир существует извечно, не будучи созданным богами или людьми. Его основу составляет умирающий (становящийся водой и землей) и возрождающийся (в виде покидающего воду огненного смерча) огонь. Таким образом, огонь объединяет Вселенную и вечно перетекает из одной формы в другую. Развитие извечно существующего мира, согласно Гераклиту, является результатом непрерывной борьбы противоположных начал. «Противоречивость сближает, разнообразие порождает прекраснейшую гармонию, и все через распрю создается» – писал он 2,5 тысячи лет назад. От века, по Гераклиту, весь мир пронизан и Логосом (мировым смыслом, мировым разумом). Таким образом, Гераклит обогатил античное научное знание следующими идеями:

- единство и вечность Вселенной;
- закономерность явлений;
- вечное движение;
- единство жизни природы и жизни духа.

Древнейшая, известная нам, научная школа, еще являвшая собой смесь математики, астрономии, философии, магии и мифологии была основана в конце VI в. до н.э. мудрецом *Пифагором* в Кротоне (Италия). Пифагорейский

союз просуществовал более 150 лет и дал огромный толчок не только науке, но и политической жизни.

Пифагор (около 540-500 до н.э.) – математик и геометр, философ, целитель. Доподлинно известно, что родился и вырос он на острове Самос, много путешествовал, учился у жрецов Египта, Вавилона и Индии. «Все есть число» – утверждал Пифагор, считая, что мир можно познать с помощью «божественной» математической логики. И не только познать, а даже овладеть тайнами реинкарнации – переселения душ. Несмотря на мистическую оболочку, на счету у Пифагора доказательства положений египетской и вавилонской математики (включая знаменитую теорему), теория пропорций, теория музыкальной гармонии, теория чисел. Важным было заключение, что за качественным разнообразием вещей стоит их количественное единство. В области астрономии пифагорейцы научились различать на небе 5 планет, первыми высказали идеи шарообразности Земли и центрального положения Солнца в нашей планетной системе.

Анаксагор (500-428 до н.э.) родившийся в городе Клазомены в Малой Азии и ставший не только ученым, но и видным государственным деятелем в Афинах. Представлял движущей силой Вселенной ум – некую тончайшую материальную субстанцию. Каждая из частиц материи, по мнению Анаксагора, могла делиться до бесконечности. Это был первый шаг к знанию о структурной организованности мира и атомистическим представлениям, развитых в виде атомистического материализма Левкиппом и Демокритом. За безбожие в 433 г. до н.э. был изгнан из Афин и основал свою школу в Ласпах.

Левкипп (около 500-440 до н.э.) – ученик Зенона Элейского, весьма загадочная для историков личность, автор утраченных впоследствии сочинений «Великий Диакосмос» и «Об уме», выдвинувший идею атомного строения материи. Некоторые считают, что труды писались им в соавторстве с учеником – Демокритом из Абдер во Фракии.

Эмпедокл (493-433 до н.э.) – философ из города Агригента (Сицилия) – развил учение Гераклита о единстве и борьбе противоположностей. Все многообразие мира он считал порождением взаимодействия через любовь и вражду четырех стихий: огня, эфира (воздуха), воды и земли. Важной следует считать и догадку Эмпедокла об эволюции живых существ, хотя его «теория естественного отбора», в отличие от предложенной через 2300 лет Ч. Дарвином, была весьма наивной. Он полагал, что отдельно возникшие органы случайно соединяются и выживают существа наиболее гармонично сложившие-

ся. Эмпедокл так же интересовался медициной, был активным политиком. Погиб бросившись в кратер вулкана Этна.

Демокрит (460-370 гг. до н.э.), написавший труд «Малый Диакосмос» (как и другие его работы, не дошедший до наших дней и известный лишь в пересказах) и развивший атомистические идеи – ученик Левкиппа. Левкипп и Демокрит считали, что в основе материального мира лежат мельчайшие неделимые, подвижные, различные по форме (но строго геометрически совершенные) частицы – атомы. Благодаря их разнообразию и сложным сочетаниям достигается все многообразие мира. Вторым первоначалом мира считалась пустота. В народе Демокрит получил прозвище «смеющегося философа», поскольку его забавляла людская глупость. Продолжателями атомистических идей Демокрита и Левкиппа стали греческий философ Эпикур и римлянин Лукреций.

Гиппократ (460-356 до н.э.) – ученый-врач из города Коса, где у гробницы Асклепия располагалась его школа (впрочем, он странствовал по всей Греции, обучая медицине). Он первым выделил медицину из натурфилософии в качестве самостоятельной науки, считая жизнь процессом взаимодействия четырех жидкостей тела – крови, слизи, и черной и белой желчи. «Лечить надо не болезнь, а больного» – говорил первый медик, имея в виду, что все назначения должны быть индивидуальны для каждого человека. Учениками Гиппократа были великие античные врачи Герофил и Праксагор, основавший Александрийскую медицинскую школу. Помимо научных основ медицины Гиппократ сформулировал и ее этические основы, получившие название Клятвы Гиппократа, приносимой поныне молодыми медиками.

Платон (428-348 до н.э.) – выдающийся древнегреческий ученый, считавший, что все компоненты Вселенной упорядочил Бог. Материя была для Платона лишь проекцией мира идей, все чувственные предметы – порождениями определенных идей, их тенями. Что же касается материальных тел, в том числе и живых, то по Платону они сочетают в себе в разных пропорциях четыре компонента: огонь, воду, землю и воздух. Все учение Платона изложено в диалогах, главные из которых «Федр» (здесь дается учение о бесплотных идеях и их материальных отражениях), «Теэтет» (изложение теории познания) и «Тимей» (натурфилософия Платона). Большое значение Платон придавал математике, лишь с помощью которой, как он считал, можно было приблизиться к пониманию идеального нематериального мира. Не случайно над воротами его Академии было написано «Несведущим в геометрии вход воспрещен». Академия, созданная Платоном в оливковом саду на окраине

Афин просуществовала затем почти тысячелетие. Среди учеников Платона наибольшую славу приобрел Аристотель.

Аристотель (384-322 до н.э.) – величайший древнегреческий ученый, философ, известный так же, как наставник будущего полководца и императора Александра Македонского (с 343 г.). Родился он в Стагире, жил в Афинах, где после обучения в Академии Платона создал собственную школу – Ликей (Лицей). Его ум позволял ему даже не соглашаться с учителем по многим вопросом, произнося «Платон мне друг, но истина дороже!» В первую очередь это касалось невозможности, по мнению Аристотеля, отрыва идеи от реальной вещи. Мир един – утверждал он. Любая вещь состоит из материи (пассивное начало) и формы (активное начало). Форма форм – Бог, движущее начало мира. Неопределенная хаотичная субстанция – первоматерия – приобретает свойства благодаря простейшим формам-антагонистам – теплому, сухому, холодному и влажному. Парное сочетание этих форм дает четыре стихии-первоэлемента – огонь (Т+С), воздух (Т+В), воду (Х+В) и землю (Х+С). В «надлунном» космическом мире, по Аристотелю, властвует пятая, неизменная и непревращаемая стихия – эфир (ибо «природа не терпит пустоты», что континуально противоречило атомистической модели, которую мы рассмотрим ниже). Заложил Аристотель и начала механики, а так же придумал первую в истории систематику животных, исследуя их анатомию и морфологию.

В эту эпоху наблюдались и исследовались простейшие проявления электричества и магнетизма. Итог накопленных знаний подвел Аристотель (384-322 г.г. до н.э.). Из числа дошедших до нас работ наибольший интерес представляют "Первая философия", "Метафизика", "Физика". В этих трудах содержится учение об основных принципах бытия, возможности и осуществлении, форме и материи, действующей причине и цели.

Аристотель признавал значение опыта, но не придавал ему решающего значения, считая, что критерием правильности является умозрительное заключение. В основе механики Аристотеля лежало утверждение, что *скорость тела пропорциональна действующей на него силе*. Как известно из школьного курса физики, *согласно второму закону Ньютона ускорение, приобретаемое телом пропорционально сумме действующих на это тело сил*. Поэтому, механика Аристотеля и механика Ньютона в корне отличались друг от друга. В оправдание Аристотеля отметим, что, если не ставить специальных экспериментов, а только наблюдать за движущимися телами, то видно, как они останавливаются, если к ним не прикладывать дополнительной силы.

Теофраст (372-287 до н.э.) – ученик Аристотеля. Главной его заслугой была систематизация в 18 томах всей античной философии от Фалеса до Платона. Кроме того, он и сам создал ряд трудов по биологии, минералогии, физике, психологии, философии. Наиболее значительны его ботанические работы, в которых он классифицировал и систематизировал известный ему растительный мир по морфологическим, географическим и медицинским свойствам. Теофраст вместе с Аристотелем могут считаться одними из первых ученых-ботаников.

Эпикур (около 341-271 до н.э.) – автор трактата «О природе», в 306 г. до н.э. основал в Афинах не уступавшую Академии Платона философскую школу «Сад Эпикура», где обучал своей системе философии. В качестве учеников допускались женщины и даже рабы. Философию Эпикур подразделял на три направления – физику, изучавшую природу, канонику, занимавшуюся законами познания, и этику, связанную с поведением, взаимоотношениями людей и поиском смысла жизни и счастья. Последний, согласно воззрениям Эпикура, заключался в отсутствие страданий, здоровье тела и безмятежном состоянии духа. Философ называл это «Теорией разумного наслаждения». Боги, по Эпикуру, существовали, но не вмешивались в дела людей, ввиду чего их не нужно было ни бояться, ни умилостивлять. Знание законов природы, считал Эпикур, освобождает от суеверий, страха смерти и всякого рода религий.

Вернемся из Древнего Рима в конец IV в. до н.э., к концу эпохи Александра Македонского, создавшего за двенадцать лет невиданную по масштабам империю, ознаменовавшую начало эпохи эллинизма. Развивались торговля, экономика, культура и наука. В дельте Нила был заложен первый в истории мегаполис – город Александрия (к 1 в. до н.э. его население достигло миллиона человек) с храмом муз – Музеем, включавшим обсерваторию, зоологический и ботанический сады, помещения для работы ученых всего мира и библиотеку в 700 000 папирусных свитков. Музей Александрии был прообразом современных академических научных учреждений и академгородков. Александрия прославлена именами множества выдающихся ученых.

Евклид (около 300 до н.э.) – стоял у истоков Александрийской математической школы. Тринадцатитомный труд «Начала» излагал все математические достижения, включая теорию чисел, геометрию на плоскости, стереометрию. «Начала» лежат даже в основе современного школьного курса геометрии. Правившему тогда в Александрии царю Птолемею I, посетовавшему

на сложность книг ученого, Евклид с достоинством сказал: «Нет царского пути в геометрию!»

Эратосфен (276-194 до н.э.) – родившийся в Кирене александрийский ученый-энциклопедист, проявил себя в математике, географии, истории, филологии, музыке, философии и астрономии. Первым измерил длину меридиана.

Архимед (287-212 до н.э.) – этот великий ученый получил образование в Александрии, но родился и жил в Сиракузах, будучи советником царя Гиерона II. Вычислил значение числа π (отношение длины окружности к диаметру), открыл, что сфера занимает 2/3 объема цилиндра того же диаметра, открыл несколько фундаментальных законов геометрии, механики, изобрел архимедов винт, архимедово колесо (для подъема воды), катапульту. Его знание законов рычага позволило ему говорить: «Дайте мне точку опоры и я переверну Землю!» - иначе говоря, большие массы можно было двигать малой силой. Знаменитый выкрик Архимеда «Эврика!» (Нашел!) связано с открытием способа измерения объема сложных тел, сделанным в ванной (Гиерон поставил Архимеду задачу определить, из чистого ли золота сделана его новая корона). Был убит невежественным римским солдатом во время взятия Сиракуз. Архимед чертил на песке, последними его словами было: «Не трогай мои чертежи!»

Первые модели мироздания предлагались древними греками (Фалес, Пифагор, Филолай, Евдокс). Первоначальные представления греков о хрустальных сферах были весьма упрощенным объяснением небесных явлений. Около 370 г. до н. э. *Евдокс* попытался придумать такую модель, которая описывала бы действительное движение планет. Он рассматривал сферы как геометрические конструкции, а не как реальные небесные тела. Он считал, что существует 27 концентрических сфер, плавно вращающихся одна в другой. Солнце, Луна и планеты имели по несколько сфер, вращающихся с постоянной скоростью вокруг различных осей. Однако с течением времени Евдокс убедился в несовершенстве своей системы, что подтверждали более точные наблюдения планет. Очевидный выход из положения — увеличение числа сфер — был использован его последователями.

Клавдий Птолемей (83-161 н.э.) – александрийский географ, математик, музыкант и астроном. Известны его труды «География» и «Альмагест», обосновывавшие сложную *геоцентрическую* систему мира. Несмотря на ошибочность, теория Птолемея позволяла весьма точно вычислять движения Солнца, Луны и планет относительно звезд на много лет вперед и предсказы-

вать наступление солнечных и лунных затмений. Используя наблюдения своих предшественников, а также свои собственные, Птолемей построил теорию движения Солнца, Луны, планет и предположил, что все светила движутся вокруг Земли, которая является центром мироздания и имеет шарообразную форму.

Для объяснения сложного петлеобразного движения планет Птолемей ввел комбинацию двух равномерных круговых движений: движение самой планеты по малой окружности (эпицикл) и обращение центра этой окружности вокруг Земли (деферент). При комбинации двух круговых движений получалась эпициклоида, по которой двигалась планета.

По мере накопления наблюдений о движениях планет теория Птолемея все больше усложнялась (вводились дополнительные круги с различными радиусами, наклонами, скоростями и т. п.), что вскоре сделало ее слишком громоздкой и неправдоподобной. Геоцентрические системы Евдокса и Птолемея не позволяли измерить расстояние до планет.

Тит Лукреций Кар (96-55 до н.э.) – римский поэт и философ, написал поэму «О природе вещей», в которой он пропагандировал и развивал идеи Демокрита и Эпикура. Это многогранное, талантливое и высокохудожественное произведение, дало пищу для ума не только философам и естествоиспытателям, но также археологам и историкам. Так, например, Лукреций выделил несколько эпох становления человечества, впоследствии названных каменным, бронзовым и железным веками. Красочно описаны в поэме и разнообразные природные явления и их причины. Основные же естественнонаучные положения его произведения таковы:

- в мире нет ничего, кроме пустоты и извечной движущейся материи, состоящей из неделимых, различных по форме атомов;
- Вселенная бесконечна и состоит из бесконечного множества возникающих, развивающихся и гибнущих миров;
- жизнь существует как на Земле, так и в других мирах;
- «из ничего не творится ничто по божественной воле»;
- живые существа не сотворены, а возникли естественным путем, через стадии уродливых превращений вплоть до жизнестойкой формы.

В первых веках новой эры античная наука стала постепенно приходить в упадок, не будучи востребованной утратившей передовые позиции, дряхлеющей рабовладельческой системой. Сменялись вехи истории. Начиналась эпоха Средневековья.

2.4. Естествознания в эпоху Средневековья

В этот период знание рассматривалось всего лишь как побочный продукт духовно-религиозной деятельности. Во многих житиях святых мы можем встретить мнение о том, что даже совершенно неученый человек способен получить премудрость и знание напрямую от Бога. Коли так – наука теряла смысл, все стала определять вера. Ориентация на выявления ее объективных закономерностей отсутствовала. Но, поскольку производство нового знания – историческая необходимость, то и в крайне консервативном средневековом обществе наука продолжала развиваться.

Новым словом в истории образования стали университеты. В каждом из них было четыре факультета: подготовительный или философский (факультет свободных искусств, где обучали основам грамматике, риторике, диалектике, математике, астрономии и музыке), медицинский, юридический и высший, но непопулярный – теологический. Первые университеты появились в Болонье и Оксфорде (XII в.), Париже (1200 г.), Кембридже (1209 г.), Неаполе (1224 г.), Тулузе (1229 г.), Праге (1349 г.), Вене (1365 г.), Гейдельберге (1385 г.).

В средневековой науке можно выделить три традиции познания:

- схоластическую традицию, опирающуюся на простейшую логику, предание и умозрение, и ставившую основным вопросом соответствие реального бытия понятиям разума. В основу традиции легли принципы античного платонизма, истолкованные в духе христианства. Главные ее достижения лежат в областях теологии и космологии, в которых предмет познания реально не представлен и разум остается единственным средством анализа предмета на основе умозаключений; несомненной заслугой схоластов было то, что в их трактатах предвосхищались идеи математической логики.

- герметическую традицию (от имени легендарной «полубожественной» личности из Египта первых веков н.э. Гермеса Трисмегиста – то есть Трижды Величайшего, заложившего основы герметизма), опирающуюся на ритуал, магию, рецептурно - манипуляторное и предметно-преобразовательное начала, сверхъестественные силы. Ритуалы сопровождали почти все действия не только в ремесленно-мануфактурном производстве (отсюда, кстати, берут начало «вольные каменщики» - масоны) и других отраслях хозяйства, но и в политике, юриспруденции, познании мира. Самые яркие воплощения герметизма – средневековые алхимия, астрология, медицина.

- опытно-эмпирическую традицию, в которой критерием истинности и точкой отсчета был личный опыт. Эта традиция развивалась под влиянием

античных естественнонаучных идей Аристотеля. Представители этой традиции видели в научном знании средство расширения практического могущества, улучшения реальной жизни людей.

Фома Аквинский (1225 г.-1274 г.) – монах-доминиканец из Италии, создатель томизма – философской основы католицизма. Фомой Аквинским были сформулированы пять логических доказательств существования Бога. Он рассматривал мир, как иерархическую систему, на нижней ступени которой находится природа, материальный мир, а на высшей – Божественный дух, творящий все сущее. В своих сочинениях «Сумма теологии», «Сумма против язычества» Фома Аквинат утверждал, что природа завершается в благодати, разум в вере, познание – в сверхъестественном откровении. Считал вредной любую науку, которая не направлена на познание Бога. Он сочетал в своем творчестве и исследованиях схоластическое и герметическое направление, будучи философом-схоластом (и даже систематизатором схоластики) и алхимиком. Несмотря на это, в 1323 году был канонизирован, как святой католической церкви.

Алхимия – одно из наиболее известных направлений герметизма. Она преследовала, как основные цели, поиски философского камня и иных способов «превращения» неблагородных металлов в золото или серебро, эликсира бессмертия, алкагеста (универсального растворителя). Алхимики в процессе проводимых ими исследований попутно решали многие практически важные задачи: ими были получены сведения о многих процессах и открыты различные методы производства продуктов, пользовавшихся большим спросом. Именно алхимики заложили фундамент для создания химии.

Джабир ибн Хайям (721 г.-815 г.) – прославившийся в Европе под именем Гебер наиболее известен среди раннесредневековых арабских алхимиков. Он, в частности, описал нашатырь, способ перегонки уксуса для получения уксусной кислоты, технологию получения свинцовых белил. Но главной его целью была все та же трансмутация металлов. Для превращения одного металла в другой необходимо иметь некое вещество – эликсир или философский камень, обладающий целым набором чудесных свойств: исцелять от всех болезней, давать бессмертие, превращать неблагородные металлы в серебро и золото.

Последний этап развития алхимии – западноевропейский. Во время эпохи крестовых походов европейцы заимствовали у арабов многие научно-практические знания, включая алхимию. Самым важным достижением европейской алхимии было открытие серной и азотной минеральных кислот, с

помощью которых удалось осуществить многие новые реакции, растворить вещества, считавшиеся нерастворимыми (даже золото в «царской водке»). Европейские химики ввели в качестве третьей части металлов (наряду с серой и ртутью) соль, считая, что соли придают ртути свойство затвердевать и противостоять огню. В связи с этим изучено было огромное количество солей. Особой заслугой западноевропейских алхимиков следует назвать изучение продуктов брожения: вина и уксуса. В результате именно в Западной Европе научились получать чистый спирт путем перегонки крепких вин и водки.

Нострадамус (1503 г.-1566 г.) – Мишель Нотрдам. Легендарный врач, астролог и лейб-медик при дворе французского короля Карла IX. Всемирную известность получили его стихотворные произведения «Центруии» (Столетия) и «Знамения», в которых в характерной для герметизма иносказательной форме была предсказана история Европы и человеческой цивилизации в целом. Точность предсказаний и дешифровка стихотворных катренов Нострадамуса по сей день вызывает бурные дискуссии не только среди магов и астрологов, но и среди ряда академических ученых.

Гроссетест Роберт (1175 г.-1253 г.) – профессор Оксфордского университета, а затем епископ Линкольнский. Он одним из первых в средневековой науке Англии уделил должное внимание естествознанию. Наряду с богословскими сочинениями и комментариями к трудам Аристотеля, Гроссетест написал ряд трактатов по математике, оптике, астрономии, о природе звуковых колебаний и морских приливов и отливов. Важны и интересны его методологические разработки. По его мнению, изучение явлений должно начинаться с опыта, затем в результате его анализа происходит обобщение, приводящее к созданию некоего общего положения – гипотезы. Ее следствия, полученные методом дедукции, вновь подвергаются опытной проверке уже на новом уровне.

Бэкон Роджер (1214 г.-1294 г.) – магистр Оксфордского университета, ученик и близкий друг Роберта Гроссетеста, философ и естествоиспытатель. Прослыл одним из самых смелых и передовых умов средневековья. Из трех источников познания (авторитет, разум и опыт) Бэкон отвергал авторитет, считая его недостаточным без доводов разума. Разум же в свою очередь, может отличить истинное от ложного лишь базируясь на опыте. Таким образом, опыт – основа науки. Следуя этому постулату, Роджер Бэкон стремился к практическому применению знаний. Он предвидел создание в будущем быстроходного судна без гребцов (с мощным двигателем), самодвижущейся по-

возки, летательных машин. Изучая законы оптики, Бэкон предсказал изобретение очков, телескопа и микроскопа. Первым из европейцев Бэкон составил рецепт пороха. Такое опережение эпохи не прошло даром: клерикалы обвинили ученого в черной магии, выслали из Оксфорда в Париж лишив права преподавать, а затем заключили на 14 лет в тюрьму, откуда он вышел нищим дряхлым стариком.

Пока европейская христианская наука переживала длительный период упадка (вплоть до XII-XIII вв.), на Востоке, наоборот, наблюдался прогресс науки. Со второй половины VIII в. научное лидерство явно переместилось из Европы на Ближний Восток. В IX веке, наряду с главным трудом Птолемея («Альмагест»), на арабский язык были переведены «Начала» Евклида и сочинения Аристотеля. Таким образом, древнегреческая научная мысль получила известность в мусульманском мире, способствуя развитию астрономии и математики. Средневековой арабской науке принадлежат и наибольшие успехи в химии. Опираясь на материалы александрийских алхимиков I века и некоторых персидских школ, арабские химики достигли значительного прогресса в своей области. В их работах алхимия постепенно превращалась в химию. А уже отсюда (благодаря, главным образом, испанским маврам) в позднее средневековье возникла европейская химия.

В XI веке страны Европы пришли в соприкосновение с богатствами арабской цивилизации, а переводы арабских текстов стимулировали восприятие знаний Востока европейскими народами.

XIII век характерен для европейской науки началом эксперимента и дальнейшей разработкой статики Архимеда. Здесь наиболее существенный прогресс был достигнут группой ученых Парижского университета во главе с *Иорданом Неморарием* (вторая половина XIII в.). Они развили античное учение о равновесии простых механических устройств, решив задачу, с которой античная механика справиться не могла, — задачу о равновесии тела на наклонной плоскости.

В XIV веке в полемике с античными учеными рождаются новые идеи, начинают использоваться математические методы, т. е. идет прогресс подготовки будущего точного естествознания. Лидерство переходит к группе ученых Оксфордского университета, среди которых наиболее значительная фигура — *Томас Брадвардин* (1290 г. - 1349 г.). Ему принадлежит трактат «О пропорциях» (1328 г.), который в истории науки оценивается как первая попытка написать «Математические начала натуральной философии» (именно

так почти триста шестьдесят лет спустя назовет свой знаменитый труд Исаак Ньютон).

Научные знания эпохи средневековья ограничивались в основном познанием отдельных явлений и легко укладывались в умозрительные натурфилософские схемы мироздания, выдвинутые еще в период античности (главным образом в учении Аристотеля). В таких условиях наука еще не могла подняться до раскрытия объективных законов природы. Естествознание — в его нынешнем понимании — еще не сформировалось. Оно находилось в стадии своеобразной «преднауки».

2.5. Развитие естествознания на Востоке

Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни (Бируни) (973 г. – 1050 г.) – среднеазиатский ученый-энциклопедист из Хорезма. Бируни первым среди ученых Востока заговорил о гелиоцентрической системе мира, известен трудами по минералогии, географии, истории Индии, физике, медицине.

Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни (Бируни) производил точные определения плотностей металлов и других веществ с помощью изготовленного им "конического прибора". По измерениям Бируни плотность золота, переведенная на современные единицы измерения, равна 19,5, ртути -13,56. При сравнении с современными данными результаты Бируни оказываются весьма точными. К сожалению, они стали известны в Европе очень поздно.

Замечательны практические указания, приведенные Бируни о воде, применяемой при определениях плотности. Он указывает на необходимость пользоваться водой из одного и того же источника, в одних и тех же условиях "в связи с воздействием на ее свойства четырех времен года и зависимостью ее от состояния воздуха". Таким образом, Бируни знал, что плотность воды зависит от содержания в ней примесей и от температуры.

Бируни производил также точные астрономические и географические измерения. Он определил угол наклона эклиптики к экватору и установил его вековые изменения. Для 1020 г. его измерения дали значение 23°34'0" Современные вычисления дают для 1020 г. значение 23°34'45". Во время путешествия в Индию Бируни разработал метод определения радиуса Земли По его измерениям, радиус Земли оказался равным 1081,66 фарсаха, т. е. около 6490 км.

Бируни наблюдал и описал изменение цвета Луны при лунных затмениях, явление солнечной короны при полных затмениях Солнца. Он высказал мысль о движении Земли вокруг Солнца и считал геоцентрическую теорию

весьма уязвимой. Им было написано обширное сочинение об Индии и переведены на санскритский язык "Начала" Евклида и "Альмагест" Птолемея.

Крупным физиком был современник Бируни египтянин *Ибн аль-Хайсам* (965 г. - 1039 г.) известный в Европе под именем *Алхазена*. Его основные исследования относятся к оптике. Алхазен развивает научное наследие древних, производя собственные эксперименты и конструируя для них приборы. Он разработал теорию зрения, описал анатомическое строение глаза и высказал предположение, что приемником изображения является хрусталик. Точка зрения Алхазена господствовала до XVII в., когда было выяснено, что изображение появляется на сетчатке.

Отметим, что Алхазен был первым ученым, знавшим действие камер-обскуры, которую он использовал как астрономический прибор для получения изображения Солнца и Луны. Алхазен рассматривал действие, плоских, сферических, цилиндрических и конических зеркал. Он поставил задачу определения положения отражающей точки цилиндрического зеркала по данным положениям источника света и глаза. Математически задача Алхазена формулируется так: по данным двум внешним точкам и окружности, расположенным в одной плоскости определить такую точку окружности, чтобы прямые, соединяющие ее с заданными точками, образовывали равные углы с радиусом, проведенным к искомой точке.

Задача сводится к уравнению четвертой степени. Алхазен решил ее геометрически. В дальнейшем задачу Алхазена решали такие крупные ученые XVII в., как Гюйгенс и учитель Ньютона Барроу.

Алхазен занимался исследованием преломления света. Он разработал метод измерения углов преломления и показал экспериментально, что угол преломления не пропорционален углу падения. Хотя Алхазен не нашел точной формулировки закона преломления, он существенно дополнил результаты Птолемея, показав, что падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным из точки падения луча. Алхазену было известно увеличивающее действие плоско-выпуклой линзы, понятие угла зрения, его зависимость от расстояния до предмета. По продолжительности сумерек он определил высоту атмосферы, считая ее однородной.

В этих предположениях результат получается неточным (до Алхазену, высота атмосферы 52 000 шагов), но сам принцип определения является большим достижением средневековой оптики.

Научные изыскания Абу Абдалла Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми

Широкая торговля давала богатый материал для математических задач, дальние путешествия стимулировали развитие астрономических и географических знаний, развитие ремесла способствовало развитию экспериментального искусства. Поэтому новая математика, удобная для решения вычислительных задач, берет начало на Востоке. Хорезмиец Абу Абдалла Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми (780 г. – 850 г.), работавший в эпоху просвещенного халифа аль-Мамуна, был автором арифметики и трактата по алгебре. Из арифметического трактата Европа познакомилась с индийской позиционной системой чисел и употреблением нуля, арабскими цифрами, арифметическими действиями с целыми числами и дробями. Алгебраический трактат Хорезми дал имя новому разделу математики — алгебре ("Аль-Джабар") В трактате Хорезми решаются линейные и квадратные уравнения.

Последующие за Хорезми ученые развили новые идеи, заимствовав их, в свою очередь, у индийских математиков, и в XII в. в Европе уже появляются переводы трактатов Хорезми и других восточных авторов. К началу научной революции Коперника — Галилея новая нумерация, алгебра и тригонометрия были не только освоены, но и развиты европейскими учеными.

Труды Аристотеля и Птолемея пришли на кафедры средневековых университетов также в арабских переводах.

Однако задолго до арабов достижения античной науки стали известными в странах Закавказья. Армения и Грузия еще в IV в. установили тесные экономические и культурные связи с Византией. Христианство проникло в эти страны задолго до крещения Руси. Уже в 301 г. христианство стало в Армении государственной религией, идеологической опорой раннего феодализма. В V — VII вв. на армянский язык были переведены труды Аристотеля, Платона и христианских богословов.

Знаменитый армянский ученый начала VII в. Анания Ширакаци путешествовал в Византию, изучал математику и философию и, вернувшись на родину, основал школу, в которой преподавал математику, астрономию, географию Им был составлен армянский учебник арифметики, выпущен трактат по космографии. Этот трактат свидетельствует о глубоком знании Ширакаци трудов греческого ученого Аристотеля. В своем сочинении Ширакаци рассматривает и чисто астрономические вопросы: пытается оценить расстояние до Солнца и Луны, составляет календарь, свидетельствующий об основательном знании им движений Солнца и Луны и трудов древних ученых по этому вопросу.

Еще в начале нашей эры *арабы* заимствовали из Индии и развили десятичную позиционную систему счисления. Арабские ученые совершенствовали вычисления уравнений, вычисляли корни, суммировали арифметические прогрессии. Необычайное развитие получили физика и астрономия. Широко применялось на практике понятие удельного веса, который измерялся исключительно точно. Обсуждалась проблема существования пустоты в природе, характер и механизм передачи движения, кинематика применялась при анализе и описании движения небесных тел. Вершиной наблюдательной астрономии стали исследования великого Улугбека. Большинство ученых арабского Востока были универсалами-энциклопедистами, поэтому в предлагаемом очень кратком обзоре трудно распределить рассказы об их достижениях «по отраслям знаний».

Аль-Хорезми Мухаммед бен Муса (787 г. - 850 г.) – среднеазиатский ученый, написал математический трактат «Китаб аль-джебр валь-мукабала» (Книга о восстановлении и противопоставлении), именно из него об алгебре узнали уже в XI веке европейские ученые. Кроме математики прославил свое имя трудами по географии и астрономии.

Аль-Фараби Абу Наср ибн Мухаммед (870 г. - 950 г.) – один из крупнейших философов и ученых-энциклопедистов арабского Востока, последователь Аристотеля и Платона, жил в Багдаде, Алеппо, Дамаске. Разработал учение о несотворенности мира и вечности материи. При этом он отрицал бессмертие индивидуальной души. Отстаивал познаваемость мира. В сфере его интересов были религия, космогония, общественное устройство, и даже музыка, которой он посвятил отдельную книгу.

Абу Али ибн Сина (Авиценна, 980 г. - 1037 г.) – великий медик, ученый, философ, музыкант, политик. Был врачом и везирем (первым министром) при разных правителях в Средней Азии и Иране. В своих трактатах «Книга исцеления» и «Книга указаний и наставлений» изложил свои философские, естественнонаучные и музыкальные воззрения. Кроме прочего, сформулировал в своих трудах физическую теорию импетуса на триста лет раньше француза Жана Буридана. Настоящей медицинской энциклопедией стал «Ал-Канун фит-тиб» («Канон врачебной науки») в пяти частях, собравший воедино врачебные знания античности, индийских и среднеазиатских ученых, и использовавшийся сотни лет медиками Европы и Азии. Многие положения «Канона» до сих пор не утратили своего практического значения.

Омар Хайям (1048 г. – 1132 г. или 1123 г.) – уже в 25 лет создал наиболее значительное произведение в области алгебры – «Трактат о доказательст-

вах», посвященный в основном решению кубических уравнений. Как и другие арабские ученые (например, геометр и астроном Насреддин ат-Туси), он вел математические изыскания не только в области, алгебры, но и в области геометрии. Хайям был не единственно математиком, но и выдающимся физиком, минералогом, философом, астрономом, астрологом, метеорологом, врачом и, наконец, великим поэтом, создавшим бессмертные «Рубайи».

Ибн Рушд (1126 г.-1198 г.) – философ, судья и придворный врач, живший в Андалусии и Марокко. Интерпретировал труды Аристотеля в духе материализма и пантеизма (божественности природы), считал мир вечным, но расположенном в конечном пространстве. Методологически он отделял философский (научный) путь познания, от теологического, говоря, что природа независима от Аллаха, не влияющего на частности мирового процесса. Этим он опровергал популярного мусульманского теолога, философа и мистика Мухаммеда аль-Газали (1058-1111). Научный (логико-доказательный) путь и религиозный (чувственно-эмоциональный) объединяла «Теория двух истин».

Улугбек Мирза Мухаммед ибн Шахрух ибн Тимур (1411 г. – 1449 г.) – любимый внук создателя империи, завоевателя и жестокого властителя Тимура (Тамерлана). Создал «Новые астрономические таблицы» с основными положениями астрономии и каталогом 1018 звезд, планетными таблицами. Результатами наблюдений и вычислений Улугбека в течение столетий пользовались европейские ученые. Астрономическая обсерватория Улугбека в Самарканде – один из выдающихся культурных памятников мира.

В истории науки этого периода известны такие имена арабских ученых, как Мухаммед аль-Баттани (850 г. - 929 г.), астроном, составивший новые астрономические таблицы, Ибн-Юнас (950 г. - 1009 г.), достигший заметных успехов в тригонометрии и сделавший немало ценных наблюдений лунных и солнечных затмений, Ибн аль-Хайсам (965 г. - 1020 г.), получивший известность своими работами в области оптики, Ибн-Рушд (1126 г. - 1198 г.), виднейший философ и естествоиспытатель своего времени, считавший Аристотеля своим учителем.

2.6. Научные революции в истории естествознания

Развитие естествознания не является лишь монотонным процессом количественного накопления знаний об окружающем природном мире (как это могло показаться из предшествующего изложения). И если процесс простого приращения знаний (а иногда и вымыслов) был присущ для натурфилософии античности, для науки средневековья, то с XVI века характер научного прогресса существенно меняется. В развитии науки появляются переломные

этапы, кризисы, выход на качественно новый уровень знаний, радикально меняющий прежнее видение мира.

Эти переломные этапы в генезисе научного знания получили наименование *научных революций*. Причем революция в науке — это, как правило, не кратковременное событие, ибо коренные изменения в научных знаниях требуют определенного времени. Поэтому в любой научной революции можно хронологически выделить некоторый более или менее длительный исторический период, в течение которого она происходит. Периоды революций в науке, отмечал всемирно известный физик Луи де Бройль, «всегда характеризуют решающие этапы в прогрессивном развитии наших знаний».

Научная революция приводит к формированию совершенно нового видения мира, вызывает появление принципиально новых представлений о его структуре и функционировании, а также влечет за собой новые способы, методы его познания. При этом научная революция может происходить первоначально в одной из фундаментальных наук (или даже формировать эту науку), превращая ее затем на определенный исторический период в лидера науки. Последнее означает, что происходит своеобразная экспансия ее новых представлений, принципов, методов, возникших в ходе революции, на другие области знания и на миропонимание в целом.

Длительный процесс становления современного естествознания начался с первых двух научных революций, происходивших в XVI-XVII вв. и создавших принципиально новое (по сравнению с античностью и средневековьем) понимание мира.

2.6.1.Первая научная революция. Гелиоцентрическая система мира

Первая научная революция произошла в период XV-XVI веков, ознаменовавший переход от средневековья к Новому времени и получивший название эпохи Возрождения. Последняя характеризовалась возрождением культурных ценностей античности (отсюда и название эпохи), расцветом искусства, утверждением идей гуманизма. Вместе с тем эпоха Возрождения отличалась существенным прогрессом науки и радикальным изменением миропонимания, которое явилось следствием появления **гелиоцентрического** учения великого польского астронома *Николая Коперника* (1473-1543).

Правильное понимание наблюдаемых небесных явлений у людей складывалось веками. Первые модели мироздания предлагались древними греками (Фалес, Пифагор, Филолай, Евдокс). Первоначальные представления греков о хрустальных сферах были весьма упрощенным объяснением небесных явлений. Около 370 г. до н. э. *Евдокс* попытался придумать такую модель,

которая описывала бы действительное движение планет. Он рассматривал сферы (рис. 2.1) как геометрические конструкции, а не как реальные небесные тела. Он считал, что существует 27 концентрических сфер, плавно вращающихся одна в другой. Солнце, Луна и планеты имели по несколько сфер, вращающихся с постоянной скоростью вокруг различных осей. Однако с течением времени Евдокс убедился в несовершенстве своей системы, что подтверждали более точные наблюдения планет. Очевидный выход из положения — увеличение числа сфер — был использован его последователями.

Во II в. н. э. *Клавдий Птолемей* разработал **геоцентрическую** систему мира (рис. 2.2), позволявшую вычислять положения планет относительно звезд на много лет вперед и предсказывать наступление солнечных и лунных затмений. Используя наблюдения своих предшественников, а также свои собственные, Птолемей построил теорию движения Солнца, Луны, планет и предположил, что все светила движутся вокруг Земли, которая является центром мироздания и имеет шарообразную форму.

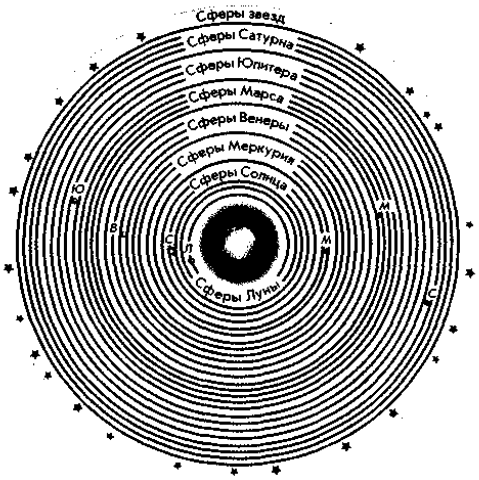

Рис. 2.1. Сферы Евдокса

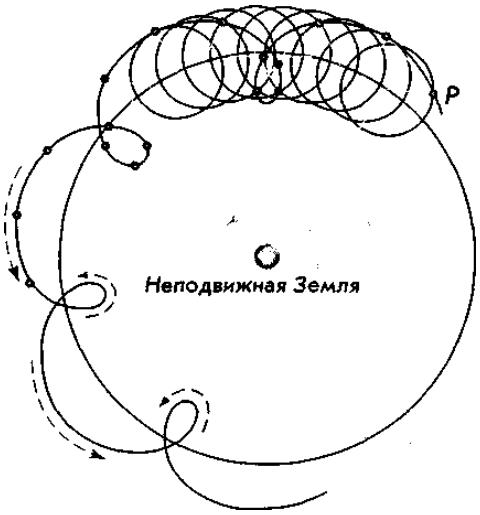

Рис. 2.2. Траектория планеты согласно теории Птолемея

Для объяснения сложного петлеобразного движения планет Птолемей ввел комбинацию двух равномерных круговых движений: движение самой планеты по малой окружности (эпицикл) и обращение центра этой окружности вокруг Земли (деферент). При комбинации двух круговых движений получалась эпициклоида, по которой двигалась планета *(P)* (см. рис. 2.2).

По мере накопления наблюдений о движениях планет теория Птолемея все больше усложнялась (вводились дополнительные круги с различными радиусами, наклонами, скоростями и т. п.), что вскоре сделало ее слишком

громоздкой и неправдоподобной. Геоцентрические системы Евдокса и Птолемея не позволяли измерить расстояние до планет.

В XVI в. польский ученый Николай Коперник, отбросив догматическое представление о неподвижности Земли, поставил ее в число рядовых планет. В своем труде «Об обращениях небесных сфер» Коперник утверждал, что Земля не является центром мироздания и что «Солнце, как бы восседая на Царском престоле, управляет вращающимся около него семейством светил». Это был конец старой аристотелевской геоцентрической системы мира. На основе большого числа астрономических наблюдений и расчетов Коперник создал новую, *гелиоцентрическую* систему мира, что явилось первой в истории человечества научной революцией. Гелиоцентрическая система Коперника очень просто объясняла петлеобразное движение планет, что связано с движением самих наблюдателей вместе с Землей.

Возникло принципиально новое миропонимание, которое исходило из того, что Земля — одна из планет, движущихся вокруг Солнца по круговым орбитам. Совершая обращение вокруг Солнца, Земля одновременно вращается и вокруг собственной оси, чем и объясняется смена дня и ночи, видимое нами движение звездного неба. Но гелиоцентрическая система мира, предложенная Коперником, не сводилась только к перестановке предполагаемого центра Вселенной. Включив Землю в число небесных тел, которым свойственно круговое движение, Коперник высказал очень важную мысль о движении как естественном свойстве небесных и земных объектов, подчиненном некоторым общим закономерностям единой механики. Тем самым было разрушено догматизированное представление Аристотеля о неподвижном «перводвигателе», якобы приводящем в движение Вселенную.

Коперник показал ограниченность чувственного познания, неспособного отличать то, что нам представляется, от того, что в действительности имеет место (визуально нам кажется, что Солнце «ходит» вокруг Земли). Таким образом, он продемонстрировал слабость принципа объяснения окружающего мира на основе непосредственной видимости и доказал необходимость для науки критического разума.

Учение Коперника подрывало опиравшуюся на идеи Аристотеля религиозную картину мира. Последняя исходила из признания центрального положения Земли, что давало основание объявлять находящегося на ней человека центром и высшей целью мироздания. Кроме того, религиозное учение о природе противопоставляло земную материю, объявляемую тленной, преходящей — небесной, которая считалась вечной и неизменной. Однако в свете

идей Коперника трудно было представить, почему, будучи «рядовой» планетой, Земля должна принципиально отличаться от других планет.

Католическая церковь не могла согласиться с этими выводами, затрагивающими основы ее мировоззрения. Защитники учения Коперника были объявлены еретиками и подвергнуты гонениям. Сам Коперник избежал преследования со Стороны католической церкви ввиду своей смерти, случившейся в том же году, в котором был опубликован его главный труд «Об обращениях небесных сфер». В 1616 году этот труд был занесен в папский «Индекс» запрещенных книг, откуда был вычеркнут лишь в 1835 году.

При этом уже в 1582 году на основе системы Коперника был введен новый григорианский календарь, а основные особенности перемещения планет по небосклону (петли, прямое и попятное движение) легко находили свое объяснение. Наконец, именно Коперник впервые в истории познания доказал, что сущность явления можно понять лишь после его тщательного изучения, а не в результате схоластического размышления (справедливости ради следует вспомнить, что Коперник был еще и прекрасным врачом, некоторые выписанные им рецепты сохранились до сих пор).

Однако сам великий астроном оставался в плену некоторых предубеждений. Например, Коперник так и не смог отказаться от представления, что планеты движутся равномерно по круговым орбитам. Существенным недостатком взглядов Коперника было то, что он разделял господствовавшее до него убеждение в конечности мироздания. И хотя он утверждал, что видимое небо неизмеримо велико по сравнению с Землей, он все же полагал, что Вселенная где-то заканчивается твердой сферой, на которой закреплены неподвижные звезды. Нелепость такого взгляда на Вселенную, противоречащего картине мира, основы которой были заложены самим Коперником, обнаружилась в расчетах, проведенных датским астрономом *Тихо Браге* (1546-1601). В 1577 году он сумел рассчитать орбиту кометы, проходившую вблизи планеты Венера. Согласно его расчетам получалось, что эта комета должна была натолкнуться на твердую поверхность сферы, ограничивающей Вселенную, если бы таковая существовала.

Тихо Браге (1546-1601) в 26 лет тоже стал свидетелем уникального явления – вспышки Новой звезды в созвездии Кассиопеи. Это побудило его всерьез заняться астрономией. В Праге у него в 1600 году появился новый молодой ученик и помощник – испытавший в детстве нищету и нужду безгранично преданный науке немец *Иоганн Кеплер*, уже издавший математическую трактовку совершенного геометрического строения небесных сфер.

Одним из активных сторонников учения Коперника, поплатившихся жизнью за свои убеждения, был знаменитый итальянский мыслитель *Джордано Бруно* (1548-1600). Коперник уничтожил восприятие Земли, как центра мироздания. Бруно проделал то же самое с Солнцем. Он пошел дальше Коперника, отрицая наличие центра Вселенной вообще и отстаивая тезис о бесконечности Вселенной. Бруно говорил о существовании во Вселенной множества тел, подобных Солнцу, и окружающих его планетах. Причем многие из бесчисленного количества миров, считал он, обитаемы и, по сравнению с Землей, «если не больше и не лучше, то во всяком случае не меньше и не хуже». Не подлежала сомнению для Бруно и изменяемость небесных тел, вопреки церковному мнению о постоянстве совершенных небес. Это доказывало и появление комет, и взрыв сверхновой звезды в 1572 году.

В 1592 году он был арестован и в течение восьми лет находился в тюрьме, подвергаясь допросам со стороны инквизиции. 17 февраля 1600 г., как нераскаявшийся еретик, он был сожжен на костре на Площади цветов в Риме. Однако эта бесчеловечная акция не могла остановить прогресса познания человеком мира. На научном небосводе уже взошла звезда Галилея.

2.6.2. Вторая научная революция. Создание классической механики и экспериментального естествознания. Механическая картина мира

Трагическая гибель Джордано Бруно произошла на рубеже двух эпох: эпохи Возрождения и эпохи Нового времени. Последняя охватывает три столетия — XVII, XVIII, XIX века. В этом трехсотлетнем периоде особую роль сыграл XVII век, ознаменовавшийся рождением современной науки, у истоков которой стояли такие выдающиеся ученые, как Галилей, Кеплер, Ньютон.

В учении *Галилео Галилея* (1564-1642) были заложены основы нового механического естествознания. Как свидетельствуют А. Эйнштейн и Л. Инфельд, *«самая фундаментальная проблема, остававшаяся в течение тысячи лет неразрешенной из-за сложности, — это проблема движения»*.

До Галилея общепринятым в науке считалось понимание движения, выработанное Аристотелем и сводившееся к следующим принципам:

- тело движется только при наличии внешнего на него воздействия, и если это воздействие прекращается, тело останавливается;

- скорость тела пропорциональна приложенной силе.

Галилей показал, что этот принцип Аристотеля (хотя и согласуется с нашим повседневным опытом) является ошибочным. Вместо него Галилей сформулировал совершенно иной принцип, получивший впоследствии на-

именование принципа инерции: тело либо находится в состоянии покоя, либо движется, не изменяя направления и скорости своего движения, если на него не производится какого-либо внешнего воздействия.

Большое значение для становления механики как науки имело исследование Галилеем свободного падения тел. Главным критерием истинности Галилей считал опыт (классическим примером стали его опыты по свободному падению тел, проводившиеся на знаменитой Пизанской башне). Благодаря своим исследованиям ему удалось сформулировать:

- понятие ускорения (скорости изменения скорости), как результата действия силы на тело, разграничить равномерное, неравномерное и ускоренное движения;
- принцип инерции и понятие инерциальных систем (т.е. движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга);
- принцип относительности (на ускорения тел, явившиеся следствием их силового взаимодействия, относительное движение систем отсчета никакого влияния не оказывает, и никакими механическими опытами невозможно установить, какая из систем движется);
- закон независимости действия сил (принцип суперпозиции).

Он установил, что скорость свободного падения тел не зависит от их массы (как думал Аристотель), а пройденный падающим телом путь пропорционален квадрату времени падения. Галилей открыл, что траектория брошенного тела, движущегося под воздействием начального толчка и земного притяжения, является параболой. Галилею принадлежит экспериментальное обнаружение весомости воздуха, открытие законов колебания маятника, немалый вклад в разработку учения о сопротивлении материалов.

Галилей выработал условия дальнейшего прогресса естествознания, начавшегося в эпоху Нового времени. Он понимал, что слепая вера в авторитет Аристотеля сильно тормозит развитие науки. Истинное знание, считал Галилей, достижимо исключительно на пути изучения природы при помощи наблюдения, опыта (эксперимента) и вооруженного математическим знанием разума, — а не путем изучения и сличения текстов в рукописях античных мыслителей.

Росту научного авторитета Галилея способствовали его астрономические исследования, обосновывавшие и утверждавшие гелиоцентрическую систему Коперника. Используя построенные им телескопы (вначале это был скромный оптический прибор с трехкратным увеличением, а впоследствии был создан телескоп и с 32-кратным увеличением), Галилей сделал целый ряд ин-

тересных наблюдений и открытий. Он установил, что Солнце вращается вокруг своей оси, а на его поверхности имеются пятна. У самой большой планеты Солнечной системы — Юпитера — Галилей обнаружил 4 спутника (из 13 известных в настоящее время). Наблюдения за Луной показали, что ее поверхность гористого строения и что этот спутник Земли имеет *либрацию,* т.е. видимые периодические колебания маятникового характера вокруг центра. Галилей убедился, что кажущийся туманностью Млечный Путь состоит из множества отдельных звезд.

Но самым главным в деятельности Галилея как ученого-астронома было отстаивание справедливости учения Н. Коперника, которое подвергалось нападкам не только со стороны церковных кругов, но и со стороны некоторых ученых, высказывавших сомнения в правильности этого учения. Галилей сумел показать несостоятельность всех, этих сомнений и дал блестящее естественнонаучное обоснование правильности идей Н. Коперника.

Как уже отмечалось выше, католической церковью в 1616 году было принято решение о запрещении книги Коперника «Об обращениях небесных сфер», а его учение объявлено еретическим. Галилей в этом решении упомянут не был, но ему все же пришлось предстать перед судом инквизиции. После длительных допросов он был вынужден отречься от учения Коперника и принести публичное покаяние.

Однако остановить движение, прервать преемственность научной мысли было уже невозможно. С астрономическими наблюдениями Галилея, описанными им в сочинении «Звездный вестник», ознакомился и дал им высокую оценку один из крупнейших математиков и астрономов конца XVI — первой трети XVII в. *Иоган Кеплер* (1571-1630). Эта оценка астрономических исследований Галилея содержалась в работе Кеплера «Рассуждение о Звездном вестнике».

Кеплер занимался поисками законов небесной механики и составлением звездных таблиц. На основе обобщения данных астрономических наблюдений он доказал на основе фактов, что планеты движутся по ***эллипсам и неравномерно*** и открыл три закона движения планет относительно Солнца:

- Первый закон Кеплера: планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце;

- Второй закон Кеплера. Изучая движение Марса в пространстве, Кеплер установил, что за равные промежутки времени Марс проходит равные площади секторов орбиты. Современная формулировка этой зависимости, распространенная на все планеты и носящая название второго закона Кепле-

ра, заключается в следующем: *радиус-вектор планет* (линия, соединяющая центр Солнца и центр планеты) *за равные промежутки времени описывает равные площади.* Второй закон Кеплера, или закон площадей, проиллюстрирован на рис. 2.3. При движении планеты *(P)* вокруг Солнца *(S)* ее радиус-вектор за равные промежутки времени описывает равные по площади фигуры — P_1SP_2 и P_3SP_4. Таким образом, скорость движения планеты по орбите меняется.

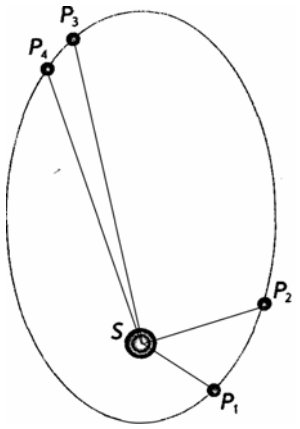

Рис. 2.3. Иллюстрация второго закона Кеплера

- **Третий закон Кеплера**: *квадраты периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит* (или отношение r^3/T^2 одинаково для всех планет):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \qquad (2.1)$$

Помимо сказанного, Кеплеру принадлежит немало заслуг в астрономии и математике. Он разработал теорию солнечных и лунных затмений, предложил способы их предсказания, уточнил величину расстояния между Землей и Солнцем, составил так называемые Рудольфовы таблицы — по имени австрийского императора Рудольфа II, при дворе которого Кеплер занимал место астронома, сменив на этой должности умершего Тихо Браге. С помощью этих таблиц можно было с высокой степенью точности определять в любой момент времени положение планет. Кеплеру принадлежит также решение ряда важных для практики стереометрических задач.

Поскольку Кеплер был сторонником гелиоцентрической космологии Коперника и не скрывал этого, Ватикан относился к его сочинениям отрицательно, включив некоторые из них в список запрещенных книг.

Конечно, главной заслугой Кеплера было открытие законов движения планет. Но он не объяснил причины их движения. И это неудивительно, ибо не существовало еще понятий силы и взаимодействия. В то время из разделов механики была разработана лишь статика — учение о равновесии (которая разрабатывалась еще в античности, в первую очередь, Архимедом), а в работах Галилея были сделаны первые шаги в разработке динамики. Но в полной мере динамика — учение о силах и их взаимодействии — была создана лишь позднее Исааком Ньютоном.

Вторая научная революция завершалась творчеством одного из величайших ученых в истории человечества, каковым был *Исаак Ньютон* (1643-1727). Его научное наследие чрезвычайно разнообразно. В него входит и создание (параллельно с Лейбницем, но независимо от него) дифференциального и интегрального исчисления, и важные астрономические наблюдения, которые Ньютон проводил с помощью собственноручно построенных зеркальных телескопов (он так же, как и Галилей, именно телескопу обязан первым признанием своих научных заслуг), и большой вклад в развитие оптики (он, в частности, поставил опыты в области дисперсии света и дал объяснение этому явлению). Но самым главным научным достижением Ньютона было продолжение и завершение дела Галилея по созданию классической механики. Благодаря их трудам XVII век считается началом длительной эпохи торжества механики, господства механистических представлений о мире.

Ньютон сформулировал три основных закона движения, которые легли в основу механики как науки:

1) *первый закон Ньютона* утверждает, что инерциальные системы отсчета существуют, то есть в некоторых системах отсчета действительно невозможно никакими опытами однозначно определить движется ли данная система прямолинейно и равномерно или покоится;

2) *второй закон Ньютона* утверждает, что в инерциальных системах ускорение тела пропорционально приложенной силе, являющейся количественной мерой взаимодействия (коэффициент пропорциональности между силой и ускорением называют массой тела): $F = ma$;

3) *третий закон* утверждает, что при взаимодействии оба объекта испытывают действия одинаковых и противоположно направленных сил.

Данная система законов движения была дополнена открытым Ньютоном *законом всемирного тяготения*, согласно которому все тела, независимо от их свойств и от свойств среды, в которой они находятся, испытывают взаимное притяжение, прямо пропорциональное их массам и обратно пропорциональ-

ное квадрату расстояния между ними $F = G \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$. Этот закон указал причину, обусловливающую движение космических тел по законам Кеплера, правильно предсказала и объяснила особенности их движения в более сложных случаях, позволил в одних терминах описать многие явления космического и земного масштабов.

Пожалуй, ни одно из всех ранее, сделанных научных открытий не оказало такого громадного влияния на дальнейшее развитие естествознания, как открытие закона всемирного тяготения. Огромное впечатление на ученых производил масштаб обобщения, впервые достигнутый естествознанием. Это был поистине универсальный закон природы, которому подчинялось все — малое и большое, земное и небесное. Этот закон явился основой создания небесной механики — науки, изучающей движение тел Солнечной системы.

Воображение ученых захватывала простота той картины мира, которая складывалась на основе ньютоновской классической механики. В этой картине, носящей абстрактный характер, отбрасывалось все «лишнее»: не имели значения размеры небесных тел, их внутреннее строение, идущие в них бурные процессы. Оставались только массы и расстояния между центрами этих масс, к тому же связанные несложной формулой.

В результате удалось научиться предсказывать солнечные затмения, понять природу морских приливов, объяснить экваториальное сжатие планет, рассчитывать орбиты комет.

В 1687 году вышел в свет главный труд Ньютона «Математические начала натуральной философии», заложивший основы современной теоретической физики. Оценивая это событие, видный физик XX века, бывший президент Академии наук СССР С.И.Вавилов писал: *«В истории естествознания не было события более крупного, чем появление «Начал» Ньютона. Причина была в том, что эта книга подводила итоги всему сделанному за предшествующие тысячелетия в учении о простейших формах движения материи»*.

Не менее высокую оценку дает «Началам» Ньютона такой крупный специалист по истории науки, как Джон Бернал. «По убедительности аргументации, подкрепленной физическими доказательствами, — пишет он, — книга не имеет себе равных во всей истории науки. В математическом отношении ее можно сравнить только с «Элементами» Евклида, а по глубине физического анализа и влиянию на идеи того времени — только с «Происхождением видов» Дарвина. Она сразу же стала библией новой науки»...

В своей знаменитой работе Ньютон предложил ученому миру научно-исследовательскую программу, которая вскоре стала ведущей не только в Англии, на родине великого ученого, но и в континентальной Европе. Свою научную программу Ньютон назвал «экспериментальной философией», подчеркивая решающее значение опыта, эксперимента в изучении природы.

Идеи Ньютона, опиравшиеся на математическую физику и эксперимент, определили направление развития естествознания на многие десятилетия вперед. Вместе с тем эти идеи предопределили механические взгляды на материальный мир, которые господствовали в естествознании не только в течение XVII и XVIII веков, но и почти весь XIX век. *В целом природа понималась как гигантская механическая система, функционирующая по законам классической механики. Считалось, что в силу неумолимой необходимости, действующей в природе, судьба даже отдельной материальной частицы заранее предрешена на все времена. Ученые-естествоиспытатели видели в классической механике прочную и окончательную основу естествознания.*

Другой стороной необъятного научного наследия Ньютона (достижения в области физики, химии, металлургии, математики, геометрии и т.д.) была оптика. После открытия сложного состава белого света, он приступил к исследованию законов преломления монохромных лучей, оказавшихся различными для каждого цвета. Это объяснило дефект линз – хроматическую аберрацию. Чтобы избежать этих искажений, Ньютон построил зеркальный телескоп собственной конструкции – рефлектор. Все крупнейшие телескопы современности несут в своей основе именно конструкцию Ньютона. В 1672 году ученый доложил Лондонскому королевскому обществу корпускулярную концепцию света (свет состоит из частичек-корпускул). Чуть позже, в 1676 году датчанин Оле Ремер (1644-1719), на основании наблюдения затмений спутника Юпитера установил, что скорость света конечна и равна 300000 км/сек.

Идеи Ньютона неосторожно и неоправданно упрощались его последователями. Так, утвердился принцип дальнодействия – мгновенной передачи действия тяготения через пустоту, хотя, сам Ньютон считал, что для этого необходим некий, пусть и нематериальный агент. Простые законы геометрической оптики с прямолинейными лучами, разработанные Ньютоном, так же требовали дополнительного объяснения. В большинстве случаев его можно было дать, считая свет потоком корпускул. Но в таком случае неясно: как частицы решают, кому отражаться, а кому преломляться, проходя в прозрачное тело? Кроме того, два пересекающихся потока-луча никак не воздейство-

вали друг на друга. Как объяснить разложение белого света в радугу, таинство, так и не объясненное Ньютоном? Может быть свет все-таки волна, распространяющаяся в очень разреженном и упругом эфире? Голландец Христиан Гюйгенс (1629-1695) предложил в 1690 году иную теорию света – волновую (свет есть волна, распространяющаяся в мировом эфире), на которую Ньютон так же обратил внимание, но в итоге посчитал несостоятельной.

С 1702 года до самой смерти сэр Исаак Ньютон возглавлял Лондонское королевское общество, а с 1705 был пожалован дворянским титулом указом британской королевы. Ньютон словно соединил своей скромной, без подвигов, путешествий и приключений, и вместе с тем великой биографией две эпохи – ренессанс и «золотой век просвещения».

2.6.3 Третья научная революция. Диалектизация естествознания

Начало процессу стихийной диалектизации естественных наук, составившему суть третьей революции в естествознании, положила работа немецкого ученого и философа *Иммануила Канта* (1724-1804) «Всеобщая естественная история и теория неба». В этом труде, опубликованном в 1755 году, была сделана попытка исторического объяснения происхождения Солнечной системы.

В гипотезе Канта утверждалось, что Солнце, планеты и их спутники возникли из некоторой первоначальной, бесформенной туманной массы, некогда равномерно заполнявшей мировое пространство. Кант пытался объяснить процесс возникновения Солнечной системы действием сил притяжения, которые присущи частицам материи, составлявшим эту огромную туманность. Под влиянием притяжения из этих частиц образовывались отдельные скопления, сгущения, становившиеся центрами притяжения. Из одного такого крупного центра притяжения образовалось Солнце, вокруг него расположились частицы в виде туманностей, которые начали двигаться по кругу. В круговых туманностях образовались зародыши планет, которые начали вращаться также вокруг своей оси. Солнце и планеты сначала разогрелись вследствие трения слагающих их частиц, затем начали остывать.

Кант сумел создать *развивающуюся* картину мира, которая не соответствовала философии Ньютона, враждебной эволюции. Идеи Канта о возникновении и развитии небесных тел были несомненным завоеванием науки середины XVIII века. Его космогоническая гипотеза пробила первую брешь в метафизическом взгляде на мир. Однако его работа оставался практически неизвестным до конца XVIII века.

Более сорока лет спустя французский математик и астроном *Пьер Симон Лаплас* (1749-1827), совершенно независимо от Канта и двигаясь своим путем, высказал идеи, развивавшие и дополнявшие кантовское космогоническое учение. Лаплас в 1796 году предположил, что первоначально вокруг Солнца существовала газовая масса, нечто вроде атмосферы. Эта «атмосфера» была так велика, что простиралась за орбиты всех планет. Вся эта масса вращалась вместе с Солнцем (о причине вращения Лаплас не говорил). Затем, вследствие охлаждения, в плоскости солнечного экватора образовались газовые кольца, которые распались на несколько сфероидальных частей — зародышей будущих планет, вращающихся по направлению своего обращения вокруг Солнца. При дальнейшем охлаждении внутри каждой такой части образовалось ядро, и планеты перешли из газообразного в жидкое состояние, а затем начали затвердевать с поверхности.

Имена создателей двух рассмотренных гипотез были объединены, а сами гипотезы довольно долго (почти столетие) просуществовали в науке в обобщенном виде — как космогоническая гипотеза Канта-Лапласа.

В XIX веке диалектическая идея развития распространилась на широкие области естествознания, в первую очередь на геологию и биологию.

В первой половине XIX века происходила острая борьба двух концепций — *катастрофизма* и *эволюционизма*, которые по-разному объясняли историю нашей планеты. Уровень развития науки этого периода делал уже невозможным сочетать библейское учение о кратковременности истории Земли с накопленными данными о смене геологических формаций и смене фаун, ископаемые остатки которых находились в земных слоях. Это несоответствие некоторые ученые пытались объяснить идеей о катастрофах, которые время от времени случались на нашей планете.

Именно такое объяснение было предложено французским естествоиспытателем *Жоржем Кювье* (1769-1832). Кювье утверждал, что каждый период в истории Земли завершался мировой катастрофой — поднятием и опусканием материков, наводнениями, разрывами слоев и т. д. В результате этих катастроф гибли животные и растения, и в новых условиях появились новые их виды. Поэтому, считал Кювье, современные геологические условия и представители живой природы совершенно не похожи на то, что было прежде. Причины катастроф и возникновение новых видов растительного и животного мира Кювье не объяснял.

Катастрофизму Кювье и его сторонников противостояло эволюционное учение, которое в области биологии отстаивал крупный французский естест-

воиспытатель *Жан Батист Ламарк* (1744-1829). Ламарк видел в изменяющихся условиях окружающей среды движущую силу эволюции органического мира. Согласно Ламарку, изменения в окружающей среде вели к изменениям в потребностях животных, следствием чего было изменение их жизнедеятельности. В течение одного поколения, считал он, в случае перемен в функционировании того или иного органа появляются наследственные изменения в этом органе. Таким образом, Ламарк полагал, что приобретенные под влиянием внешней среды изменения в живых организмах становятся наследственными и служат причиной образования новых видов. Но передача по наследству этих приобретенных изменений ни Ламарком, ни кем-либо из его последователей доказана не была. Поэтому взгляды Ламарка на эволюцию живой природы не получили должного обоснования.

Для утверждения этого учения исключительно важную роль сыграл трехтомный труд «Основы геологии» английского естествоиспытателя *Чарлза Лайеля* (1797-1875). В этом труде, опубликованном в 1830-1833 годах, Лайель нанес сокрушительный удар по теории катастроф. Проведя анализ большого фактического материала, он показал, что все изменения, которые произошли в течение геологической истории, происходили под влиянием тех же факторов, которые действуют и в настоящее время. А потому для объяснения этих изменений совершенно не нужно прибегать к представлениям о грандиозных катастрофах. Необходимо допустить лишь очень длительный срок существования Земли.

Главный труд Дарвина «Происхождение видов» был опубликован в 1859 году. В нем Дарвин, опираясь на огромный естественнонаучный материал из области палеонтологии, эмбриологии, сравнительной анатомии, географии животных и растений, изложил факты и причины биологической эволюции. Он показал, что вне саморазвития органический мир не существует и поэтому органическая эволюция не может прекратиться. *Развитие* — это условие существования вида, условие его приспособления к окружающей среде. Каждый вид, считал Дарвин, всегда находится на пути недостижимой гармонии с его жизненными условиями. Принципиально важной в учении Дарвина является теория естественного отбора. Согласно этой теории, виды, с их относительно целесообразной организацией возникли и возникают в результате отбора и накопления качеств, полезных для организмов в их борьбе за существование в данных условиях.

Наряду с фундаментальными работами, раскрывающими процесс эволюции, развития природы, появились новые естественнонаучные открытия, подтверждавшие наличие *всеобщих связей* в природе.

К числу этих открытий относится клеточная теория, созданная в 30-х годах XIX века ботаником *Маттиас Якоб Шлейден* (1804-1881) и биологом *Теодор Шванн* (1810-1882), распространивший это учение на животный мир. Открытием клеточного строения растений и животных была доказана связь, единство всего органического мира.

Еще более широкомасштабное единство, взаимосвязь в материальном мире были продемонстрированы благодаря открытию закона сохранения и превращения энергии, который охватывает все науки о природе.

К идее о превращении одной формы энергии в другую первоначально пришел немецкий врач *Юлиус Роберт Майер* (1814-1878) Он показал, что химическая, тепловая и механическая энергии могут превращаться друг в друга и являются равноценными. *Джеймсом Прескоттом Джоулем* (1818-1889), *Людвиг Август Кольдинг* (1815-1888), *Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц* (1821-1894) соткрыватели указанного закона.

Доказательство сохранения и превращения энергии утверждало идею единства, взаимосвязанности материального мира. Вся природа отныне предстала как непрерывный процесс превращения универсального движения материи из одной формы в другую.

Свой вклад в диалектизацию естествознания внесли и некоторые открытия в химии: получение в 1828 году немецким химиком *Фридрихом Вёлером* (1800-1882) искусственного органического вещества — мочевины и начало целому ряду синтезов органических соединений из исходных неорганических. Открытие периодического закона химических элементов в 1869 года *Дмитрием Ивановичем Менделеевым* (1834-1907) - свойства элементов изменяются в периодической зависимости от их атомных весов, т.е. качественные свойства элементов зависят от их количественных свойств, причем это отношение меняется периодически, скачками. В результате появилась также возможность предвидеть свойства ряда новых, еще не открытых элементов. Первым элементом из предсказанных Менделеевым был элемент галлий, открытый в 1875 году.

Из всего вышесказанного следует, что *основополагающие принципы диалектики — принцип развития и принцип всеобщей взаимосвязи* — получили во второй половине XVIII и особенно в XIX веках мощное естественнонаучное обоснование.

2.6.4 Очищение естествознания от натурфилософских представлений

Третья научная революция, наряду с диалектизацией естествознания, явившейся ее сутью, включала и начавшийся в конце XVIII века процесс очищения науки от натурфилософских понятий и представлений.

Первым из таких представлений, подвергшихся пересмотру явилась теория флогистона. Ученые второй половины XVII-XVIII вв. для объяснения процесса горения привлекали некоторую субстанцию, своеобразное «начало горючести» — флогистон (от греч. *флогистос* — воспламеняемый, горючий) легчайшая материальная субстанция земного происхождения, с помощью которой можно объяснить процессы горения, прокаливания обжига и т. п. Считалось, что хорошо горят те тела, которые содержат много флогистона, и наоборот, тела, содержащие мало флогистона, должны гореть плохо, флогистон как особо легкая субстанция обладает способностью «отнять у вещества часть его веса» путем передачи своей летучести частицам этого вещества, которые затем осаждаются.

Опровергнуть эту теорию удалось лишь к концу XVIII века благодаря исследованиям французского ученого *Антуан Лоран Лавуазье* (1743-1794). Его внимание привлекла проблема горения, восстановления и окисления металлов. Лавуазье впервые выдвинул идею об участии атмосферного воздуха в процессах горения и затем решительно опроверг натурфилософскую флогистонную теорию.

Значительно позднее флогистона из науки было изгнано другое натурфилософское понятие — теплород; последнее долгое время играло важную роль в теории теплоты. Теплород мыслился в виде особой, фантастической «тепловой жидкости», которая, перетекая от одного тела к другому, обеспечивает процесс теплопередачи. *Михаил Васильевич Ломоносов* (1711-1765) подверг критике концепцию теплорода и обосновал кинетическую гипотезу теплоты.

Гипотеза Ломоносова состояла в том, что теплота — это форма движения мельчайших материальных частиц (корпускул, или молекул). Их вращательное движение является причиной тепла. Основные положения развитой Ломоносовым кинетической гипотезы теплоты сводились к следующему: 1) молекулы (корпускулы) имеют шарообразную форму; 2) при более быстром вращении частиц теплота должна увеличиваться, а при более медленном — уменьшаться; 3) частицы горячих тел вращаются быстрее, более холодных — медленнее; 4) горячие тела должны охлаждаться при соприкосновении с холодным, так как это замедляет теплотворное движение частиц; 5) холодные

же тела должны нагреваться при соприкосновении с горячим вследствие ускорения движения частиц. Однако кинетическая гипотеза Ломоносова, созданная в середине XVIII века, не смогла в то время переломить сложившийся стереотип научного мышления. Натурфилософское учение о теплороде просуществовало еще почти целое столетие.

После открытия закона сохранения и превращения энергии, физики окончательно отказались от теплорода и вернулись к кинетической концепции теплоты.

Важным успехом классического естествознания, было создание объяснение известных из экспериментов законов идеального газа, что окончательно доказало, что все вещества состоят из *молекул*, находящихся в постоянном хаотичном движении и взаимодействующих друг с другом. Данные химии свидетельствовали о том, что сами молекулы не всегда являются элементарными «кирпичиками» мироздания. Одни вещества (сложные) можно было получить путем химического соединения других веществ, другие же (простые, или элементы) – нет. Значительным событием в химии, позволившим систематизировать многие эмпирические факты стало создание Менделеевым периодической таблицы элементов. Мельчайшие частицы элементов получили название *атомов*. Молекулы сложных веществ являются разного рода комбинациями (соединениями) атомов.

Важнейшим успехом термодинамики классического периода явилась формулировка так называемого второго начала термодинамики, согласно которому *тепло самопроизвольно может передаваться только от тел с большей температурой к телам с меньшей температурой и никогда наоборот*. Для характеристики направленности процессов теплопередачи была введена величина $S = dQ/T$, названная *энтропией* (дословно «способность к превращениям»). В конце прошлого века Больцман убедительно показал, что энтропия является мерой хаоса, мерой неопределенности, непредсказуемости состояния системы ($S = k\ lnW$, где k – постоянная Больцмана, W – статистический вес состояния системы). Таким образом, впервые в законы естествознания был внесен элемент вероятности, после чего математические методы теории вероятностей твердо обосновались в «точных» естественных науках.

С точки зрения *второго начала термодинамики*, который, как выяснилось, имеет статус всеобъемлющего закона, справедливого для всех явлений природы, *любой относительно изолированный процесс может протекать только в направлении нарастания энтропии*, то есть хаоса и неопределенности в состоянии системы (все старится и разрушается). Даже Вселенную в

целом, по мнению Больцмана, однажды ожидает «тепловая смерть», когда ее энтропия достигнет максимума.

Принцип роста энтропии входил в прямой конфликт с достижениями другой естественнонаучной дисциплины – биологии, где примерно в то же самое время был сформулирован принцип *биологической эволюции*, движущей силой которой, по мнению Дарвина, является *естественный отбор*. В процессе эволюции происходит формирование новых видов живых организмов, которые, подчиняясь требованиям окружающей среды, оказываются все более сложными и совершенными, по сравнению со своими предшественниками. Таким образом, естествознание впервые вышло на уровень формулировки фундаментальных законов, описывающих живой мир. И сразу же возникает парадокс несогласия с данными физики, где уже твердо обосновался принцип роста энтропии. Не случайно Больцман считал, что жизнь является следствием глобальной случайности, имеющей крайне малую вероятность возникновения. С точки зрения физики XIX века, возникнув однажды, любая упорядоченная система (например, живой организм или жизнь вообще) может только разрушаться, деградировать. В то же время мы воочию можем наблюдать, например, как формирует сам себя организм ребенка, упорядочивая рассеянные в окружающей среде элементы.

Работы ряда ученых XIX века в области электромагнетизма (о которых подробнее будет сказано в следующем разделе) привели к отказу от таких натурфилософских понятий, как электрическая, и магнитная жидкости. Работы Ампера и других исследователей привели к тому, что субстанциональное понимание электромагнитных явлений было заменено принципиально новым понятием электромагнитного поля.

Последним натурфилософским представлением, продержавшимся дольше всех других натурфилософских понятий, был мировой эфир.

Концепцию мирового эфира — гипотетической среды, заполняющей все мировое пространство, — признавали все физики XIX века. Этому в особенности способствовала победа, одержанная в середине XIX века волновой теорией света над корпускулярной. Причина этой победы заключалась в том, что волновая теория давала объяснение дифракции света, т. е. отклонению световых волн, происходящему при распространении света вблизи краев непрозрачных тел. При прохождении сквозь узкие отверстия, щели и т. п. Но принятие волновой теории приводило в то же время к мысли о существовании субстанции, в которой световые волны распространяются. В этом случае

все хорошо согласовывалось с механическими представлениями об окружающем мире, еще очень характерными для большей части XIX века.

Эту теорию опровергли неоднократные опыты *Альберт Абрахам Майкельсон* (1852-1931). В 80-х годах XIX века Майкельсон неоднократно повторял свои опыты, используя все более совершенную и точную аппаратуру. Результат был все тот же: обнаружить «светоносный эфир» не удавалось.

2.6.5 Основные представления классического периода развития естествознания

Принцип относительности Галилея

Галилей ввел понятие *инерции и инерциальной системы отсчета, в которой тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела (силы).* Напомним, что понятие системы отсчета включает в себя систему координат и часы. Инерциальных систем отсчета может быть бесконечное множество. Принцип относительности Галилея заключается в том, что все физические законы *не меняются* (инвариантны) в разных инерциальных системах отсчета. Одинаковость хода часов в разных инерциальных системах отсчета соответствует концепции дальнодействия, рассмотренной выше.

Принцип относительности утверждает, что если система движется равномерно и прямолинейно, то, не выходя за ее пределы, никакими приборами невозможно обнаружить факт ее движения или покоя, так как такое движение не влияет на ход процессов, протекающих в данной системе. Какое из тел, движущихся равномерно и прямолинейно, действительно движется, а какое покоится однозначно сказать невозможно. Только задавшись точкой, относительно которой мы будем измерять характеристики движения (например, скорость), можно внести в задачу элемент определенности. Таким образом, впервые появилась необходимость ввести в задачи механики понятие *системы отсчета*.

Важнейшим результатом принципа относительности явилось *правило сложения скоростей* (рис. 2.4) $v' = v_0 + v$, где v' - скорость движения тела относительно неподвижной системы отсчета, v_0 - скорость движения подвижной системы отсчета относительно неподвижной, v - скорость движения тела относительно подвижной системы отсчета. А также преобразование координат $x' = v't = (v_0 + v)\,t = v_0t + x$, $y' = y$, $z' = z$, где x', y', z' – координаты тела в неподвижной системе координат, x, y, z – координаты тела в системе координат, движущейся относительно неподвижной со скоростью v_0 в направлении оси x'.

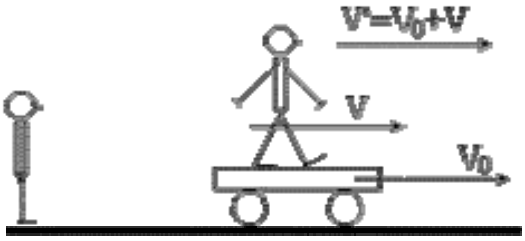

Рис. 2.4. Сложение скоростей

Введем понятие ***инвариантности (инварианта)***. Инвариантность означает независимость, неизменность относительно каких-либо физических условий. В математике под инвариантностью понимается неизменность величины относительно каких-либо преобразований. Рассмотрим, какие параметры не меняются при преобразованиях Галилея, т.е. являются инвариантами этих преобразований. Первый из этих параметров - время. *При переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой не меняется как само* ***время****, так* ***и длительность*** *какого-либо события. Помимо времени, неизменным остается* ***расстояние*** *между двумя точками, а также* ***ускорение****.*

Закон сохранения массы был сформулирован уже после Галилея и Ньютона. Но, для полноты картины, добавим, что в классической механике **масса** тела не зависит от выбора системы отсчета и также является инвариантом преобразований Галилея.

Все законы Ньютона инвариантны относительно преобразований Галилея, т.е. действительны во всех инерциальных системах. Это значит, что они справедливы и записываются одинаковым образом во всех инерциальных системах отсчета.

Ньютоновское представление о пространстве, времени и Вселенной

В основе современного научного миропонимания лежит признание фундаментальности *пространства* и *времени*. Эта традиция восходит к временам Галилея и Ньютона. Так Ньютон всю свою механику строил на законах, в которых в качестве физических величин фигурировали пространственные координаты x,y,z (или вектор $\boldsymbol{r}$) и время t. И пространство, и время Ньютон определял как особого рода вместилище материальных объектов, способное существовать даже при условии отсутствия этих объектов. И пространство, и время он наделял свойствами *бесконечной протяженности* и *бесконечной делимости* (именно Ньютон ввел понятие бесконечно малой величины и разработал дифференциальное исчисление). В качестве аксиомы принимался аб-

солютный характер пространства и времени, то есть считалось, что *их свойства не зависят от наличия или отсутствия в них материальных объектов*.

Для ньютоновского пространства справедлива геометрия Евклида, которая базируется на нескольких определениях идеальных геометрических объектов (точка, прямая, поверхность и т.п.) и аксиомах, постулирующих основные отношения между этими объектами. Все более сложные отношения можно сформулировать в качестве теорем или геометрических задач, которые проецируются на систему аксиом в целях выяснения противоречивости или непротиворечивости того или иного утверждения. Критерием истины (правильности решения геометрической задачи) является отсутствие противоречий с системой аксиом.

Аналогичный формально-логический подход был положен в основу всего метода познания, предложенного Ньютоном.

Ньютоновская концепция естествознания основывается на идее *бесконечной делимости пространства и времени*. Однако еще во времена античных философов были сформулированы задачи, не имеющие решения, если принять, что мир можно делить до бесконечности. Так одна из *апорий Зенона* говорит, что с точки зрения логики Ахиллес (самый быстрый бегун) никогда не догонит черепаху, так как для этого он должен сначала преодолеть половину расстояния до нее, но еще раньше - половину половины, еще раньше - половину четверти и т.п. В результате он должен преодолеть бесконечно большое количество малых расстояний. Логика говорит, что он даже не должен сдвинуться с места. Но опыт противоречит логике. Отсюда вывод: *расстояние нельзя делить до бесконечности*. То же самое можно сказать и про время.

Среди взаимодействий в то время выделяли взаимодействия двух типов:

1) *близкодействие* - непосредственный контакт или передача взаимодействия с помощью посредника, несущего в себе импульс mv, например, обмен, когда один человек бросает другому тяжелый предмет, оба ощущают отдачу; скорость изменения импульса и будет силой;

2) *дальнодействие* - передача взаимодействия через разделяющее тела пространство без материальных посредников.

Ньютон был противником концепции дальнодействия, однако наличие в природе таких явлений, как гравитация, электричество и магнетизм, не укладывалось в концепцию близкодействия. Поэтому об их природе Ньютон предпочитал не рассуждать, оставляя эту проблему на долю потомков.

На этапе развития классической механики подразумевалось, что взаимодействие тел происходит *мгновенно*. *Использовался принцип дальнодействия*. В этом случае, коль скоро взаимодействие передается мгновенно, в ***разных системах отсчета можно было вводить одинаковое время***. *Например, считалось, что всегда можно синхронизовать часы, находящиеся в любой точке пространства (например, на Земле и в центре Галактики)* и считать, что время в разных точках пространства ни от чего не зависит и одинаковое.

Применив закон тяготения, подтвержденный тогда лишь для Солнечной системы, ко всей Вселенной, Ньютон рассмотрел главную космологическую проблему: конечна или бесконечна вселенная. И пришел к выводу, что лишь в случае бесконечности вселенной материя может существовать в виде множества космических объектов – центров гравитации. В конечной же вселенной материальные тела рано или поздно слились бы в единое тело в центре мира. *Это было первой строгое физико-теоретическое обоснование бесконечности мира.*

Ньютон задумывался и над проблемой происхождения такой упорядоченной Вселенной. Он считал, что материя сама по себе косна, пассивна и не способна к движению. И потому, например, для него тайной являлось начало орбитального движения планет. Для раскрытия этой тайны оставалось прибегнуть лишь к некоей более могучей, чем тяготение, организующей силе. В ту эпоху в качестве такой силы мыслился, разумеется, лишь бог. Поэтому Ньютон допускал божественный “первый толчок”, благодаря которому планеты приобрели орбитальное движение, а не упали на Солнце. Обнаружив неизбежность возмущений в движениях планет и спутников (т.е. отклонений от кеплеровых законов), которые могли иметь вековой характер, нарастая со временем, Ньютон вынужден был сделать вывод о необходимости время от времени подправлять расшатывающийся механизм планетных движений. Подобную функцию опять-таки мог выполнять только бог.

Потребовалось всего полвека развития науки и общего мировоззрения под воздействием открытий самого Ньютона, чтобы появились мыслители, категорически отвергавшие идею божественного начального толчка и внесшие в естествознание идею естественной эволюции материи. Первым из таких мыслителей был И. Кант.

Вещество и масса, принцип эквивалентности

В физике под веществом подразумевают такой вид материи, который обладает массой покоя, т.е. в состоянии неподвижности (хотя бы и относительной) масса системы не равна нулю. В конечном счете, вещество слагает-

ся из атомов (или элементарных частиц). В следующих разделах мы узнаем, что существуют частицы, имеющие нулевую или мнимую массу покоя; такие частицы могут существовать только в движении.

Вещество всегда локализовано в ограниченной части пространства. Его положение можно задать с помощью ограниченного числам параметров, которые принято называть *степенями свободы*. В простейшем случае движения точки, ее положение в пространстве задается *3-мя* независимыми координатами (степенями свободы). Даже, когда вещество нельзя моделировать точкой (например, твердое тело), его положение все равно определяется конечным числом независимых координат – степеней свободы. Если вещество состоит из ***N*** атомов, то мы можем описать положение каждого атома в отдельности. Всего потребуется задать ***3N*** параметров. Реально атомы образуют связи; каждая связь превращает одну из независимых координат в зависимую, и число независимых параметров (координат) уменьшается.

Положение твердого тела, оказывается, можно задать всего лишь ***6*** параметрами: *тремя координатами - положение центра масс тела* и еще *тремя углами - его ориентацию* (разворот) относительно координатных осей.

Ранее упоминалось понятие массы, которое требует дополнительного обсуждения. Часто говорят, что масса характеризует количество материи. Это формулировка качественная. Она требует уточнения. Правильнее говорить, что масса – одна из основных характеристик материи, определяющая *ее инерционные и гравитационные свойства*. Остановимся на этом вопросе подробнее.

В теории Ньютона масса рассматривалась, как количество вещества. Понятие массы ввел в механику И. Ньютон, давая определение импульса. Массой он назвал коэффициент пропорциональности ***m***, постоянную для тела величину. Эквивалентное определение массы вытекает и из второго закона Ньютона. Здесь масса – это коэффициент пропорциональности между результирующей силой и вызываемым ею ускорением. Определенная таким образом масса характеризует *инертность* тела. Т.е. чем больше масса тела, тем меньшее ускорение оно приобретает под действием постоянной силы. Определенная таким образом масса называется *инертной*.

В теории гравитации И. Ньютона масса выступает как источник поля сил тяготения. Каждая масса создает вокруг себя пол сил тяготения (гравитационное поле). На любое тело, помещенное в это поле, действует сила, пропорциональная его собственной массе, массе источника и направленная к источ-

нику. Это значит, что гравитационные силы всегда являются силами притяжения. Закон всемирного тяготения формулируется в следующем виде:

$$F = G\frac{m_1 * m_2}{r^2}, \qquad (2.2)$$

где G – гравитационная постоянная;

m_1 и m_2 – массы тел;

r – расстояние между телами.

Из этой формулы можно получить связь между массой тела и его весом P в поле тяготения Земли, если считать, что m_1 – масса тела, $m_2 = M$ – масса Земли, а $r = Rз$ – радиус Земли.

$$F = G\frac{m_1 * M}{Rз^2} = g * m_1. \qquad (2.3)$$

Определенная таким образом масса называется гравитационной. В принципе, ниоткуда не следует, *что масса, создающая поле тяготения и масса, определяющая инерцию тела - одинаковы*. Однако, специальные опыты показали, что инерционная и гравитационная массы при выборе одинаковой системы единиц равны. *Этот фундаментальный закон природы называется принципом эквивалентности масс*. Экспериментально этот принцип был проверен в 1971 году с очень высокой точностью – 10^{-12}г.

В классической физике считалось, что масса тела не меняется ни в каких процессах. Это утверждение формулировалось в виде закона сохранения массы. Понятие массы приобрело более глубокий смысл в рамках релятивистской механики или теории относительности, рассматривающей движение тел с большими скоростями. *Релятивистская механика* показывает, что не существует по отдельности законов сохранения массы и энергии. Они слиты воедино. Это естественно, так как материя (количество которой характеризуется массой) невозможна без движения (количество которой характеризуется энергией).

Природа массы – важнейший, до сих пор не решенный вопрос физики. Принято считать, что массы элементарных частиц определяется полями, с ними связанными. Однако, до настоящего времени не создана количественная теория массы. Не существует теорий, объясняющих, почему массы элементарных частиц образуют не непрерывный, а дискретный, т.е. прерывный спектр значений, и тем более, позволяющих рассчитать эти значения.

Детерминизм классической механики

Под детерминизмом понимается философское учение об объективной закономерности, взаимосвязи и причинной обусловленности всех явлений материального и духовного мира. *Центральным ядром детерминизма является положение о причинности. Идея детерминизма состоит в том, что все явления и события в мире не произвольны, а подчиняются объективным закономерностям, независимо от наших знаний о природе явлений. Всякое следствие имеет свою причину.* Как и все остальное в физике, понятие детерминизма менялось по мере развития физики и всего естествознания.

В 19-м веке теория Ньютона окончательно оформилась и установилась. Существенный вклад в ее становление внес П.С. Лаплас (1749 - 1827). Он разработал принцип механического детерминизма, который сегодня носит его имя: детерминизм Лапласа. *Согласно классическому механистическому детерминизму* существует строго однозначная связь между физическими величинами, характеризующими состояние системы в какой-то момент времени (координаты и импульсы) и значениями этих величин в любой последующий или предыдущий моменты времени. Если говорить более простым языком, детерминизм по Лапласу означает, что *мы всегда однозначно можем описать поведение тела или любой сколь угодно сложной системы, если знаем начальные координаты и скорости тела, а также знаем законы движения и взаимодействия тел.* Примерами практического воплощения этого принципа еще во времена Лапласа были астрономические таблицы, очень точно описывавшие движения небесных тел на многие годы вперед.

Отметим, что для успешного практического решения подобных задач законы взаимодействия тел нужно знать очень точно, либо нужно смириться с тем, что расчет будет адекватно описывать поведение системы лишь в ограниченном временном интервале. Связано это с тем, что неточности расчета имеют свойство накапливаться и искажать получающуюся картину, – чем дальше, тем больше. Кроме того, нужно иметь ввиду, что, для решения задачи о движении большого количества взаимодействующих тел, нужно задать очень большое количество начальных данных, законов взаимодействия и решать очень громоздкую систему дифференциальных уравнений. Не следует думать, что дело смогут спасти ЭВМ новых поколений; трудности, которые возникнут при решении такой задачи, носят принципиальный характер.

Этот принцип совершенно справедлив, если не выходить за рамки классической механики.

С позиций сегодняшних знаний о природе можно утверждать, что механистический детерминизм Лапласа не работает в микромере, где процессы взаимодействия частиц по своей природе являются вероятностными. При столкновении двух атомов один из них может возбудиться (перейти в возбужденное состояние), а может и остаться в основном, невозбужденном состоянии. В последнем случае атомы будут сталкиваться как идеально упругие шары, в первом случае как неупругие шары. Результаты столкновения в этих случаях будут сильно различаться, а решить, как будет происходить взаимодействие, до того как оно произойдет, в принципе невозможно.

В микромире могут одновременно протекать процессы, которые абсолютно несовместимы в макромире. Например, в опытах по дифракции электронов удавалось одну и туже частицу заставить пролетать одновременно сквозь два разнесенных друг от друга отверстия. Можно говорить лишь о вероятности прохождения данного конкретного электрона через выбранное отверстие. Для таких частиц оказывается неприменимым понятие траектории. Когда описывается квантовая микросистема, предсказывается ее поведение в рамках вероятностного описания, но не дается однозначного ответа, как конкретно она будет себя вести. При этом всегда остаются в силе причинно-следственные связи.

2.6.6. Исследования в области электромагнитного поля и начало крушения механистической картины мира

В предисловии к своему знаменитому труду «Математические начала натуральной философии» И. Ньютон высказал следующую установку на будущее: *Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы...*

Многие естествоиспытатели вслед за Ньютоном старались объяснить исходя из начал механики самые различные природные явления. В торжестве законов Ньютона, считавшихся всеобщими и универсальными, черпали веру в успех ученые, работавшие в астрономии, физике, химии.

Длительное время теории, объяснявшие закономерности соединения химических элементов, опирались на идею тяготения между атомами.

Как очередное подтверждение ньютоновского подхода к вопросу об устройстве мира, было первоначально воспринято физиками открытие, которое сделал французский военный инженер, *Шарль Огюст Кулон* (1736-1806). Оказалось, что положительный и отрицательный электрические заряды притягиваются друг к другу прямо пропорционально величине зарядов и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

Английский химик и физик *Майкл Фарадей* (1791-1867) ввел в науку понятие электромагнитного поля. Ему удалось показать опытным путем, что между магнетизмом и электричеством существует прямая динамическая связь. Тем самым он впервые объединил электричество и магнетизм, признал их одной и той же силой природы. В результате в естествознании начало утверждаться понимание того, что кроме вещества, в природе существует еще и поле.

Математическую разработку идей Фарадея предпринял выдающийся английский ученый *Джеймс Клерк Максвелл* (1831-1879). Введение Фарадеем понятия «электромагнитного» поля и математическое определение его законов, данное в уравнениях Максвелла, явились самыми крупными событиями в физике со времен Галилея и Ньютона.

Но потребовались новые результаты, чтобы теория Максвелла стала достоянием физики. Решающую роль в победе максвелловской теории сыграл немецкий физик *Генрих Рудольф Герц* (1857-1894). В 1886 году Герц продемонстрировал «беспроволочное распространение» электромагнитных волн. Он смог также доказать принципиальную тождественность полученных им электромагнитных переменных полей и световых волн.

Работы в области электромагнетизма положили начало крушению механистической картины мира. К числу противоречий, характерных для естествознания конца XIX века, можно отнести факт несимметрии уравнений Максвелла для электромагнитного поля по отношению к различным системам отсчета. Система уравнений, в справедливости которой никто не сомневался, давала разные решения для случаев, например, когда источник света двигается навстречу наблюдателю, и когда наблюдатель двигается навстречу источнику света, что противоречило принципу относительности Галилея, в справедливости которого также никто не сомневался. Для симметрии уравнений Максвелла было необходимо, чтобы в любой инерциальной системе отсчета скорость света имела одну и ту же величину, что противоречит правилу сложения скоростей Галилея.

Для выхода из создавшегося положения Лоренц чисто математически вывел такие преобразования координат, которые соответствовали бы симметрии уравнений Максвелла. Однако они существенно отличались от преобразований Галилея. Из них, в частности, следовало, что все тела в процессе движения деформируются (укорачиваются) вдоль линии движения. Это придавало симметрию системе уравнений Максвелла, но оставался вопрос о природе подобного укорочения. Попытки объяснить данный феномен с по-

мощью «эфирного ветра» потребовали экспериментальных подтверждений самого факта наличия эфира в пространстве Вселенной. Наличие эфира могло бы как-то обосновать постоянство скорости света, так как распространение волн в любой среде происходит с постоянной скоростью.

В 1881 г. Майкельсон провел опыт с использованием изобретенного им интерферометра, который доказал отсутствие эфирного ветра и эфира вообще. *Абсолютное ньютоновское пространство оказалось пустым*. В физике назрел кризис непонимания.

С тех пор механистические представления о мире были существенно поколеблены. *Ведь любые попытки распространить механические принципы на электрические и магнитные явления оказались несостоятельными. Поэтому естествознание вынуждено было в конце концов отказаться от признания особой, универсальной роли механики.*

2.6.7. Четвертая научная революция. Окончательное крушение механистической картины мира

Еще в конце XIX века большинство ученых склонялись к точке зрения, что физическая картина мира в основном построена и останется в дальнейшем незыблемой. Предстоит уточнять лишь детали. Говорят, «дьявол кроется в деталях». Одной из них была нестыковка теоретических и экспериментальных результатов при излучении «абсолютно черного тела», которое, будучи нагретым до определенной температуры, способно излучать и поглощать, но не отражать электромагнитные волны. Эксперимент показал, что для каждой температуры существует длина волны, на которой тело излучает максимум энергии. Расчет, сделанный независимо друг от друга англичанами Джоном Рейли (Рэлеем) и Джеймсом Джинсом, основанный на свойствах электромагнитных волн и термодинамике Больцмана, приводил к абсурду: при уменьшении значения длины волны излучаемая энергия должна была стать бесконечно большой. Вся энергия Вселенной должна была давно уйти в ультрафиолетовое излучение, но этого на деле не происходило. Парадокс назвали «ультрафиолетовой катастрофой». Не находил объяснения и фотоэффект (возникновение электротока в разомкнутой цепи при освещении одного ее электрода светом): его парадокс состоял в том, что интенсивный свет с большей длиной волны не приводил к эффекту, а слабый свет, но с меньшей длиной волны, к эффекту, напротив, приводил. Кроме того, профессор Петр Николаевич Лебедев обнаружил и измерил давление световых волн на объект.

Макс Планк (1858-1947) – немецкий физик, предложил в 1900 году решение проблемы излучения черного тела, не укладывавшееся в рамки пози-

тивистского здравого смысла. Он предположил, что **вещество не может излучать или поглощать энергию иначе, как конечными порциями (квантами), пропорциональными излучаемой (или поглощаемой) частоте.** Это означало, что волна имеет свойство частиц, корпускул! Энергия одной такой частицы определяется частотой (длиной) волны, и равна произведению частоты на новую мировую константу, названную постоянной Планка. $\boldsymbol{E = h\nu}$, где $\boldsymbol{\nu}$ — частота излучения, а $\boldsymbol{h}$ —постоянная Планка ($h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ Дж х сек). Выполнив расчеты, Планк получил распределение энергий волн, излучаемых черным телом, совпадающее с экспериментом.

Планк предположил, что энергию электромагнитных колебаний нельзя делить до бесконечности и выдвинул гипотезу, гласящую, что испускание и поглощение электромагнитного излучения может происходить только дискретно, конечными порциями — квантами. Это событие считается концом классического периода естествознания.

Альберт Эйнштейн (1879-1955) применил идею Планка к объяснению фотоэффекта, и все стало на место: для выбивания электронов из материала электрода, которое приводит к возникновению тока, нужны частицы с большой энергией, то есть свет с малой длиной волны. Поэтому интенсивный свет с большой длиной волны к эффекту не приводит. А световое давление – это бомбардировка частицами, причем его величина зависит от энергии частиц (длины волны) в соответствии с теорией Планка. Другое название электромагнитных квантов – фотоны.

В 1897 году, английский физик *Джозеф Джон Томсон* (1856-1940) открыл первую элементарную частицу — *электрон*. В последующих опытах по измерению заряда электрона и получению отношения этого заряда к массе было обнаружено совершенно необычное явление зависимости массы электрона от его скорости. Уяснив, что электроны являются составными частями атомов всех веществ, Дж. Томсон предложил в 1903 году первую (электромагнитную) модель атома. Согласно этой модели, отрицательно заряженные электроны располагаются определенным образом (как бы «плавают») внутри положительно заряженной сферы. Сохранение электронами определенного места в сфере есть результат равновесия между положительным равномерно распределенным ее зарядом и отрицательными зарядами электронов. Но модель «атома Томсона» просуществовала сравнительно недолго.

Эта модель описывала все наблюдаемые свойства… за исключением спектров излучения и поглощения. Если атомный газ подвергнуть воздействию, например, пропустить через него электрический разряд, то атомы ис-

пускают электромагнитное излучение. Его можно видеть в газоразрядных трубках. Оказалось, что испускаемый свет имеет линейчатый, а не сплошной, спектр, то есть – определенных длин волн (цветов). Если взять, к примеру, водород, в атоме которого имеется только один электрон, то согласно пудинговой модели возможно появление одной и только одной линии излучения. Электрон при колебаниях в окружающей его положительной жидкости, согласно теории Максвелла, мог испускать электромагнитную волну одной частоты. Эксперимент же обнаружил серию линий различных частот, причем даже в инфракрасной и ультрафиолетовой областях.

Англичанин *Эрнест Резерфорд* (1871-1937) поставил опыт, в котором положительно заряженные альфа-частицы пролетали сквозь вещество фольги, практически не отклоняясь (лишь некоторые отражалась назад), что совершенно противоречило капельной - пудинговой модели атома.

В 1911 году Эрнест Резерфорд предложил свою модель атома, которая получила название *планетарной*. Резерфорд резонно предположил, что атом есть динамическая система наподобие солнечной: в центре находится массивное положительно заряженное ядро (от него и отскакивают положительные частицы), а вокруг по орбитам движутся отрицательно заряженные электроны. Большая часть атома пуста – сквозь нее-то и летят альфа-частицы.

Но планетарная модель Резерфорда обнаружила серьезный недостаток: она оказалась несовместимой с электродинамикой Максвелла. Согласно законам электродинамики любое тело (частица), имеющее электрический заряд и движущееся с ускорением, обязательно должно излучать электромагнитную энергию. Но в этом случае электроны очень быстро потеряли бы свою кинетическую энергию и упали на ядро. С этой точки зрения оставалась непонятной необычайная устойчивость атомов. Кроме того, в соответствии с законами электродинамики, частота излучаемой электроном электромагнитной энергии должна быть равна частоте собственных колебаний электрона в атоме или числу оборотов электрона вокруг ядра в секунду. Но в этом случае спектр излучения электрона должен быть непрерывным, так как электрон, приближаясь к ядру, менял бы свою частоту.

Опыт же показывал другое: атомы дают электромагнитное излучение только определенных частот (именно поэтому атомные спектры называют линейчатыми, т. е. состоящими из вполне определенных линий). Такая определенность спектра, его ярко выраженная химическая индивидуальность очень трудно совмещается с универсальностью электрона, заряд и масса которого не зависят от природы атома.

Н. Бор, зная о модели Резерфорда и приняв ее в качестве исходной, разработал в 1913 году квантовую теорию строения атома. Нильс Бор сформулировал новый постулат, провозгласив, что законы микромира отличаются от законов макромира, и электрон в атоме может двигаться (т.е. иметь строго определенную энергию) и не излучать, но не по любой орбите, а лишь по такой, длина которой соответствует целому числу длин волн. Разным скоростям соответствуют разные радиусы орбит. Если электрон почему-то (например, под воздействием внешнего поля) перескакивает с орбиты на орбиту, то его энергия (и энергия атома в целом) меняется. Разность энергий излучается или поглощается в виде кванта с частотой, определяемой согласно Планку.

Каждой орбите соответствует своя энергия. Излучить энергию электрон может только в том случае, если ближе к ядру находится свободная допустимая орбита, на которую может перескочить электрон. На орбите с наименьшей возможной энергией электрон может находиться неограниченно долго. Но он может перескочить и на более высокую освободившуюся орбиту, если поглотит квант энергии (*фотон*). *Никогда на одной орбите не могут находиться два электрона с одинаковым набором квантовых чисел* (принцип Паули). Расчет и экспериментальные результаты (вспомним линии излучения и поглощения в спектрах) совершенно совпали.

Предложенная Бором модель атома, которая возникла в результате развития исследований радиоактивного излучения и квантовой теории, фактически явилась дополненным и исправленным вариантом планетарной модели Резерфорда. Поэтому в истории атомной физики говорят о квантовой модели атома Резерфорда—Бора.

В 1896 году французский физик *Антуан Анри Беккерель* (1852-1908) открыл явление самопроизвольного излучения урановой соли. Исследуя это явление, он наблюдал разряд наэлектризованных тел под действием указанного излучения и установил, что активность препаратов урана оставалась неизменной более года. Однако природа нового явления еще не была понята.

В его исследование включились французские физики, супруги *Пьер Кюри* (1859-1906) и *Мария Склодовская-Кюри* (1867-1934), которые открыли новые элементы, также обладающие свойством испускать «беккерелевы лучи» – полоний и радий. Это свойство супруги Кюри назвали *радиоактивностью*.

Явление радиоактивности указало на сложный состав атома, и все его частицы – протоны, нейтроны и другие, подчинялись неочевидным законам квантовой механики. Резерфорд и Содди дали трактовку радиоактивного распада как процесса превращения химических элементов из одних в другие.

Оказалось, что в результате радиоактивного распада некоторые элементы *самопроизвольно превращаются в другие*. Это было поистине научной сенсацией.

Впрочем, наука XX века принесла немало сенсационных открытий, многие из которых совершенно не укладывались в представление обыденного человеческого опыта. Ярким примером этого может служить теория относительности, созданная в начале нашего столетия мало кому известным тогда мыслителем *Альбертом Эйнштейном* (1879-1955).

В 1905 г. им была создана так называемая *специальная теория относительности*. В целом теория А. Эйнштейна основывалась на том, что — в отличие от механики И. Ньютона — пространство и время не абсолютны. Они органически связаны с материей и между собой. Когда А. Эйнштейна попросили выразить суть теории относительности в одной, по возможности понятной фразе, он ответил: «*Раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы, теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время*».

Хотя имя А. Эйнштейна по сей день в массовом сознании связывается с теорией относительности, эта теория была далеко не единственным его научным достижением. Опираясь на представление Планка о квантах, Эйнштейн еще в 1905 году сумел обосновать природу фотоэффекта. Каждый электрон выбивается из металла под действием отдельного светового кванта, или фотона, который при этом теряет свою энергию. Часть этой энергии уходит на разрыв связи электрона с металлом. Эйнштейн показал зависимость энергии электрона от частоты светового кванта и энергии связи электрона с металлом.

Казалось, что корпускулярная теория материи торжествует. Фотон, например, явно имеет корпускулярные свойства (русский физик П.Н. Лебедев даже доказал в 1899 году существование светового давления). Но вскоре выяснилось, что определить энергию фотона (частицы света, не обладающей массой покоя) можно было, только представляя его себе в виде волны с соответствующей длиной и частотой. Получалось, что фотон — это одновременно и волна и частица. Распространяется он как волна, излучается и поглощается — как частица.

В 1924 году французский ученый *Луи де Бройль* (1892-1987) выдвинул идею о волновых свойствах материи. Наиболее убедительное подтверждение существования волновых свойств материи было получено в результате от-

крытия (наблюдения) дифракции электронов. Быстрые электроны, проходя сквозь очень тонкие пластинки металла, вели себя подобно свету, проходящему мимо малых отверстий или узких щелей. Другими словами, распределение электронов, отражавшихся от пластинки и летевших лишь по некоторым избранным направлениям, было таким же, как если бы на пластинку падал пучок света с длиной волны, равной длине волны электрона, вычисленной по формуле де Бройля.

Экспериментально подтвержденная гипотеза де Бройля превратилась в принципиальную основу, пожалуй, наиболее широкой физической теории — *квантовой механики*. У объектов микромира, рассматриваемых с ее позиций, обнаружились такие свойства, которые совершенно не имеют аналогий в привычном нам мире. Прежде всего — это корпускулярно-волновая двойственность, или дуализм элементарных частиц (это и корпускулы и волны одновременно, а точнее — диалектическое единство свойств тех и других). Движение микрочастиц в пространстве и времени нельзя отождествлять с механическим движением макрообъекта. Например, положение элементарной частицы в пространстве в каждый момент времени не может быть определено с помощью системы координат, как для привычных нам тел окружающего мира. Движение микрочастиц подчиняется законам квантовой механики.

Об абсолютной непригодности законов классической механики в микромире свидетельствует, например, установленное видным немецким физиком *Вернером Гейзенбергом* (1901-1976) соотношение неопределенностей: если известно место положения частицы в пространстве, то остается неизвестным импульс (количество движения), и наоборот. Это одно из фундаментальных положений квантовой механики. С точки зрения классической механики и просто «здравого смысла» принцип неопределенности представляется абсурдным.

Все вышеизложенные революционные открытия в физике перевернули ранее существующие взгляды на мир. Исчезла убежденность в универсальности законов классической механики. Теперь уже вряд ли можно найти физика, который считал бы, что все проблемы его науки можно решить с помощью механических понятий и уравнений. Рождение и развитие атомной физики таким образом, окончательно сокрушило прежнюю механистическую картину мира.

2.6.8. Кризис в математике. Теоремы о неполноте знаний Геделя. Проблема познаваемости мира

Одновременно с физикой в 1900-1930 годах кризис охватил и такую абсолютно точную науку, как математика. Его в полной мере можно рассматривать как кризис всего формально-логического способа мышления, или даже кризис рассудка, ибо впервые была вскрыта его недостаточность. Обнаружилось, что формально-логический способ мышления при всех тех блестящих результатах, которые несет с собой его применение в частных и специальных проблемах, обнаруживает свою полную непригодность, как только его пытаются применить прямо или косвенно к отражению всеобщего, которое оказывается неизбежно противоречивым, и в силу этой противоречивости неизменно ускользает из сферы действия формально-логических законов. Это объясняло причину парадоксов, в которые погрузилось естествознание, опирающееся на точные методы.

О парадоксах формальной логики известно уже давно. Достаточно вспомнить *парадокс лжеца*, который заявляет: «все, сказанное мною, есть ложь». Если это высказывание истинно, то оно ложно, и в то же время, если оно ложно, то истинно. Таким образом оно противоречит «закону исключённого третьего» в двоичной логике.

Оказывается, что *для любой формально-логической системы, претендующей на точность и непротиворечивость, свойственна подобная парадоксальность, приводящая к отрицанию исходных положений (постулатов, аксиом) при попытках построения глобальных обобщений*. Впервые формально точно это было показано *Куртом Гёделем*, который в 1931 году на примере арифметики дал доказательство так называемых *«теорем о неполноте знаний»*.

Теорема 1: в любой достаточно сложной непротиворечивой теории существует истинное утверждение, которое средствами самой теории невозможно ни доказать, ни опровергнуть.

Теорема 2: непротиворечивость достаточно богатой теории не может быть доказана средствами этой теории. Однако вполне может оказаться, что непротиворечивость одной конкретной теории может быть установлена средствами другой, более мощной формальной теории. Но тогда встаёт вопрос о непротиворечивости этой второй теории, и т. д.

Теорема о неполноте знаний утверждает примерно следующее: при определенных условиях в любом теории (системе) существуют истинные, но

недоказуемые утверждения. Примером является выше указанный парадокс лжеца.

Если в качестве такой системы выступает наука, то все попытки придать ей непротиворечивость при сохранении точности и детальности обречены на неудачу. Развивая точную систему знаний до формулировки итогового обобщения, в пределе логических рассуждений мы рискуем прийти к выводам, в корне отрицающим исходные аксиомы. Другой пример: если предметом спора двух специалистов в какой-либо системе знаний является вопрос, касающийся какого-либо обобщения, каждый из них, следуя строго последовательно логике рассуждений, может прийти к выводам, которые будут противоречить друг другу. Выход в этом случае ищется в проведении дополнительных экспериментальных исследований. Именно природа, как некая метасистема по отношению к любой системе человеческих знаний доопределяет предмет спора, лишая его противоречивости. После этого, как правило, рождается новый «закон природы», который становится новой аксиомой, постулатом. После этого один из оппонентов должен признать, что он был не прав.

Все это рождает философскую *проблему принципиальной непознаваемости мира с помощью точных методов*. Научный метод хорошо вскрывает детали и механику явлений, порождая успех практического применения полученных результатов, например, в технике. Однако сама причина, суть, природа этой механики, остается за пределами рассмотрения. Поэтому современная физика, превратилась, по сути дела, в продолжение математики, совершенно утратив все надежды на понимание природы изучаемых явлений. Мы знаем, какими уравнениями описывается явление, но не понимаем, что оно из себя представляет. Красота уравнений полностью вытеснила из физики все попытки понять их суть.

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

3.1. Корпускулярно-волновой дуализм

Напомним, что на природу света в истории науки существовали две точки зрения. Одна из них, поддерживаемая авторитетом *Ньютона*, рассматривала свет *как поток упругих корпускул*. Вторая точка зрения, отстаиваемая *Декартом*, а впоследствии *Гюйгенсом*, рассматривала свет как *механическую волну*, распространяющуюся в упругой среде – эфире. До начала XIX века господство одерживала первая точка зрения. Однако с 1801 года ситуация резко изменилась в связи с установлением Т. Юнгом явления интерференции на двух щелях. Опыты Юнга были продолжены Френелем, который дал объяснение явлениям интерференции и дифракции исходя из представлений о волновой природе света. Таким образом, к середине XIX века не было никаких сомнений по поводу того, что свет является *волной*.

Отметим, что классическая физика исходит из коренного различия между понятиями частицы и волны. Считается, что частица обладает конечным числом степеней свободы, строгой траекторией движения, отсутствием интерференции и дифракции. Волна же обладает бесконечным числом степеней свободы, бестраекторностью, ибо каждая точка пространства, куда приходит возбуждение, сама становится источником вторичных волн.

Опираясь на представление Планка о квантах, Эйнштейн еще в 1905 году сумел обосновать природу фотоэффекта исходя из корпускулярных представлениях. Каждый электрон выбивается из металла под действием отдельного светового кванта, или фотона, который при этом теряет свою энергию. Часть этой энергии уходит на разрыв связи электрона с металлом. Эйнштейн показал зависимость энергии электрона от частоты светового кванта и энергии связи электрона с металлом.

Также существование светового давления (русский физик П.Н. Лебедев доказал в 1899 году существование светового давления) объяснялись корпускулярной теорией.

Казалось, что корпускулярная теория материи торжествует. Но вскоре выяснилось, что определить энергию фотона (частицы света, не обладающей массой покоя) можно было, только представляя его себе в виде волны с соответствующей длиной и частотой. Получалось, что фотон – это одновременно и волна и частица. Распространяется он как волна, излучается и поглощается – как частица.

Энергия, масса и импульс фотона: Фотон обладает энергией $E = h\nu$. Согласно теории относительности частица с энергией E обладает массой $m = E/c^2$. Фотон – частица, движущаяся со скоростью света $\boldsymbol{c}$. При движении фотона его масса, как видно из приведенных формул, конечна. Однако подстановка в формулы специальной теории относительности значения скорости движущегося объекта $V = C$ приведет к равенству нулю массы покоя фотона. То есть фотон существенно отличается от обычных известных к тому времени в физике частиц, так как не имеет массы покоя и может существовать только в движении. Из равенства вышеприведенных формул получим:

$$h\nu = mc^2. \tag{3.1}$$

Импульс фотона $P = mc$ и, учитывая, что $\lambda = \nu c = h/P$,

$$P = h\nu/c = h/\lambda, \tag{3.2}$$

где $\boldsymbol{\lambda}$ – длина волны.

3.2. Гипотеза де Бройля. Волновые свойства вещества

В 1924 году Луи де Бройль распространил идею о двойственной корпускулярно-волновой природе света на все материальные объекты, введя представление о волнах, названных волнами де Бройля. Все частицы, обладающие конечным импульсом P, обладают волновыми свойствами, и их движение сопровождается некоторым волновым процессом. Де Бройль исходя из общих принципов теории относительности получил закон, устанавливающий зависимость длины волны, связанной с движущейся частицей, от импульса частицы:

$$\lambda = h/P,$$

где h — постоянная Планка.

Вид зависимости полностью совпал с соотношением для фотона и связанной с ним световой волной. Однако возникает вопрос, если с какой-либо движущейся частицей, скажем, с движущимся электроном, связана волна, то должны проявляться эффекты, определяемые волновыми свойствами электрона, например, дифракция электронов? Было установлено, что электроны дифрагируют на кристаллах как волны, и длина этих волн полностью соответствует формуле де Бройля. Позже были проведены эксперименты; устанавливающие дифракцию других элементарных частиц и даже атомов. Итак,

сомнений в волново-корпускулярном дуализме частиц нет, но есть ли понимание этого явления?

Экспериментально подтвержденная гипотеза де Бройля превратилась в принципиальную основу *квантовой механики.* У объектов микромира, рассматриваемых с ее позиций, обнаружились такие свойства, которые совершенно не имеют аналогий в привычном нам мире. Прежде всего — это корпускулярно-волновая двойственность, или дуализм элементарных частиц (это и корпускулы и волны одновременно, а точнее — диалектическое единство свойств тех и других). Движение микрочастиц в пространстве и времени нельзя отождествлять с механическим движением макрообъекта. Например, положение элементарной частицы в пространстве в каждый момент времени не может быть определено с помощью системы координат, как для привычных нам тел окружающего мира. Движение микрочастиц подчиняется законам квантовой механики.

3.3. Принцип неопределенности Гейзенберга

Об абсолютной непригодности законов классической механики в микромире свидетельствует установленное видным немецким физиком *Вернером Гейзенбергом* (1901-1976) соотношение неопределенностей: если известно место положения частицы в пространстве, то остается неизвестным импульс (количество движения), и наоборот. Можно говорить лишь о **вероятности** того, где в данный момент времени находится частица, и это является неизбежным следствием введения в физическую теорию представлений о квантовых скачках. Это одно из фундаментальных положений квантовой механики. С точки зрения классической механики и просто «здравого смысла» принцип неопределенности представляется абсурдным.

Исходя из созданного им математического аппарата квантовой механики, Вернер Гейзенберг установил предельную точность, с которой можно одновременно определить координату и импульс микрочастицы, и получил следующее соотношение неопределенностей этих значений:

$$\Delta X \times \Delta P \geq h, \qquad (3.3)$$

где ΔX— неопределенность в значении координаты;

ΔP — неопределенность в значении импульса.

Произведение неопределенности в значении координаты и неопределенности в значении импульса не меньше, чем величина порядка по-

стоянной Планка *h*. Чем точнее определена одна величина, скажем, X ($\Delta X \to 0$), тем больше становится неопределенность другой: $\Delta P \to \infty$. Если же точно определен импульс частицы P ($\Delta P \to 0$), то неопределенность координаты стремится к бесконечности ($\Delta X \to \infty$).

Итак, соотношение неопределенности накладывает определенные ограничения на возможность описания движения частицы по некоторой траектории: понятие траектории для микрообъектов теряет смысл.

Соотношение неопределенности Гейзенберга ставило принципиальный запрет на возможность точного описания мира, что являлось краеугольным камнем механистической науки классического периода, выражавшимся в *философии Лапласовского детерминизма* (если мы знаем исходные данные, то можем абсолютно точно рассчитать будущее). Если в классической физике понятие случайности используется для описания поведения систем с большим количеством однотипных элементов и является лишь сознательной жертвой полноте описания во имя упрощения решения задачи, то в квантовой физике признается, что *в микромире точный прогноз поведения объектов, по-видимому, вообще невозможен*. Похоже на то, что сама природа не знает точного ответа на некоторые вопросы.

Кроме того, в квантовой механике принципиально отличается от классического закон сложения вероятностей взаимоисключающих друг друга (с классической точки зрения) событий (например, прохождение электрона через одну из щелей). В классической концепции вероятности всегда складываются, что и приводит к ожиданию обнаружить при открывании двух щелей картину, равную сумме изображений, получаемых от каждой из щелей в отдельности. В квантовой механике этот закон справедлив не всегда. Если же ситуация такова, что события принципиально неразличимы, суммарная вероятность вычисляется как квадрат модуля суммы комплексных функций, называемых амплитудами вероятностей. При этом вероятности не суммируются.

При движении в пустом пространстве амплитуда перехода частицы из одной точки в другую совпадает с выражением для плоской монохроматической волны. В случае больших масс, составляющих систему тел, ограничения на точность измерений стремятся к нулю, и законы квантовой механики переходят в законы классической физики. Поэтому если комната имеет две двери, то выходящий из одной двери человек, в принципе, «будет интерферировать» подобно электрону в опыте со щелями, из-за чего в пространстве возникнет несколько областей, где он сможет появиться. Однако из-за боль-

шой массы человека вероятности нахождения человека в других областях, кроме одной, будут стремиться к нулю. Поэтому мы и не наблюдаем своих двойников.

Фейман для понимания принципа неопределенности предложил следующий эксперимент:

Случай 1. Пусть имеется источник с пулями, перед которым установлен броневой щит с одним отверстием, пропускающим пули. На большом расстоянии от первого щита поставим второй, уже с двумя отверстиями. Достаточно далеко от второго щита будет установлен третий щит, в котором пули, прошедшие через отверстия, будут застревать — так, что их можно будет сосчитать. Сразу можно обратить внимание на то, что пули представляют собой дискретные порции энергии. Предположим, что вся энергия движения пули полностью переходит во внутреннюю энергию мишени. Ясно, что энергия мишени при попадании в нее пули увеличивается скачком на величину энергии одной пули, то есть дискретными порциями. Каждая пуля — одна нерасчленяемая и опознаваемая порция, поэтому если в качестве мишени использовать ящики с песком, расположенные вдоль поверхности последнего щита, то одна пуля может попасть только в один из ящиков. Если второе отверстие закрыть броневой завесой, то пули могут достичь мишени только через первое отверстие. При этом большая часть пролетевших пуль будет попадать в ящик с песком, находящимся прямо напротив этой щели. Число прошедших пуль за определенную единицу времени легко сосчитать. Скажем, это будет значение N_1. Теперь закроем первое отверстие, получим число пуль N_2, прошедших через второе отверстие. Если будут открыты оба отверстия, то окажется, что число прошедших через обе щели пуль N_{12} представляет собой простую сумму N_1 и N_2. Этот факт не является для нас поразительным, именно это мы и ожидали получить. Учитывая, что пули — это дискретные порции веществ, — частицы, а не волны, «отсутствие интерференции» в опыте находится в полном соответствии с нашим обыденным опытом.

Случай 2. Здесь через отверстия будут пропускаться волны, например, морские. Броневые щиты заменяют на дамбу с двумя проходами для воды. Оказывается в случае, если оба прохода будут открыты сразу, наблюдается *явление интерференции* — явление перераспределения гребней и впадин в пространстве за дамбой вследствие наложения волн, проходящих через первый проход и через второй проход, друг на друга. Интенсивность суммарной волны уже не будет равна сумме интенсивностей волн, проходящих через первый проход (при закрытом втором проход) и через второй проход (при закрытом первом проходе).

Положение максимумов интенсивностей, то есть гребни результирующей волны за дамбой, может быть достаточно легко рассчитано. Но что интересно: вовсе не обязательно, что они будут располагаться прямо напротив проходов.

Различие между корпускулами и волнами очевидно.

Случай 3. Теперь поэкспериментируем с электронами. Пусть у нас имеется источник с электронами, экран с двумя отверстиями и детектор, стоящий за экраном и способный регистрировать заряд, приносимый электроном. При попадании электронов в детектор происходит щелчок. Мы легко установим по щелчкам, что электроны попадают в детек-

тор дискретно, строго по одному, порциями. Следовательно, можно поступать так же, как и в случае с пулями: можно измерять вероятность появления электронов в каждой точке экрана. Экспериментально установлено, что если оба отверстия будут открыты, то мы получим кривую вероятности попадания, соответствующую кривой, полученной в опыте с интерференцией волн. Если поочередно закрывать то одно отверстие, то другое, а при этом снимать кривые вероятности попадания одной дискретной порции в детектор, то мы получим значения N_1 и N_2, но вероятность попадания при условии, когда открыты оба отверстия, уже не равна их сумме (рис. 3.1).

Электроны попадают в детектор дискретными порциями, как если бы это были частицы, но вероятности попадания этих частиц определяются по тем же законам, по которым определяется интенсивность волнения воды.

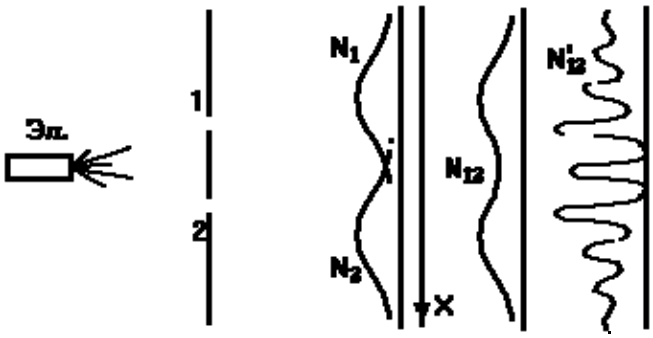

Рис. 3.1. Распределения электронов в эксперименте Феймана

Теперь обратим внимание на следующее важное обстоятельство: когда были открыты оба отверстия, вследствие чего была получена интерференционная картина, мы не следили за тем, через какое из двух отверстий в данный момент пролетает электрон.

Изменим экспериментальную ситуацию таким образом, чтобы можно было следить за этим. Поэтому за отверстиями помещают мощный источник света: электроны рассеивают свет, и по вспышке за отверстием 1 или 2 можно точно установить, через какое из них пролетел электрон. При такой постановке эксперимента мы получаем совершенно другой результат: интерференционная картина разрушается, и поведение электронов совпадает с поведением пуль в первом рассмотренном нами случае, так что $N_{12} = N_1 + N_2$. И какие бы усовершенствования в постановке экспериментов ни были бы предложены, каждый раз оказывается, что невозможно, с одной стороны, сказать, *через какое отверстие пролетает наш электрон, то есть точно определить его координату, а с другой стороны — не исказить картины распределения регистрируемых электронов, не нарушить характера интерференции.* По интерференционной картине всегда можно определить длину волны электронов, а затем по формуле де Бройля импульс электрона. Но в этом случае оказывается, что мы знаем импульс электрона, но не знаем его координату, так как не определяли, через какое отверстие прошел электрон. И наоборот, если мы знаем координату электрона, то ничего не можем сказать об импульсе вследствие разрушения интерференционной картины. В разных экспериментальных ситуациях электрон ведет себя поразному: в одних — как частица, а в других — как волна. Этот совершенно неожиданный,

с точки зрения классической физики, результат был выражен в принципе неопределенности Гейзенберга и принципе дополнительности Бора.

3.4. Принцип дополнительности Бора

Анализируя соотношения неопределенностей, Бор выдвигает принцип дополнительности, согласно которому точная локализация микрообъекта в пространстве и времени и точное применение к нему динамических законов сохранения исключают друг друга. Бор показал, что из-за соотношения неопределенностей корпускулярная и волновая модели описания поведения квантовых объектов *не входят в противоречие друг с другом*, потому что никогда не предстают одновременно. В одном и том же эксперименте не представляется возможным одновременно проводить измерения координат и параметров, определяющих динамическое состояние системы, например импульса.

Если в одной экспериментальной ситуации проявляются корпускулярные свойства микрообъекта, то волновые свойства оказываются незаметными. В другой экспериментальной ситуации, наоборот, проявляются волновые свойства и не проявляются корпускулярные. То есть в зависимости от постановки эксперимента микрообъект показывает либо свою корпускулярную природу, либо волновую, но не обе сразу. Эти две природы микрообъекта взаимно исключают друг друга, и в то же время должны быть рассмотрены как дополняющие друг друга.

Если вернуться к рассмотренному нами опыту с двумя отверстиями, то, согласно Бору, мы имеем две различные экспериментальные ситуации: одну — с одним открытым отверстием, когда точно известна координата электрона и поведение электрона соответствует поведению частицы; и вторую — с двумя открытыми отверстиями, в которой появляется интерференционная картина на экране, по которой мы определяем импульс и поведение электрона сопоставляем с волной.

Выделим суть принципа дополнительности Бора.

Вся информация о микрообъектах может быть получена с помощью только макроприборов, работающих в определенных диапазонах, позволяющих довести эту информацию, в конечном итоге, до органов чувств познающих субъектов. Макроприборы подчиняются законам классической физики и должны переводить информацию о явлениях в микромире на язык понятий классической физики. Следовательно, любое явление в микромире не может быть проанализировано как само по себе отдельно взятое, а обязательно должно включать в себя взаимодействие с классическим микроскопическим прибором. *С помощью конкретного макроскопического прибора мы можем*

исследовать либо корпускулярные свойства микрообъектов, либо волновые, но не и те, и другие одновременно. Обе стороны предмета должны рассматриваться как дополнительные по отношению друг к другу.

3.5. Концепция целостности в квантовой физике. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена

Точка зрения Н. Бора, В. Гейзенберга и их сторонников не могла быть воспринята безоговорочно многими физиками, оставшимися верными идеалу строго детерминированного, причинно-следственного описания движения физических объектов. Так, А. Эйнштейн не мог примириться с соотношением неопределенности и старался придумать эксперименты, в которых эти соотношения уже не имели бы места».

Дискуссия между Бором и Эйнштейном длилась около десяти лет и сыграла очень важную роль в формировании основ квантовой теории. Именно этот спор привел к более глубокому пониманию **концепции целостности.** Свое содержательное развитие эта концепция получила благодаря работе трех авторов — А. Эйнштейна, Б. Подольского и Н. Розена, опубликованной в 1935 году. В этой работе формулируется парадокс, названный парадоксом Эйнштейна – Подольского - Розена (ЭПР-парадокс).

Суть его в следующем. Согласно соотношению неопределённостей, мы не можем измерить одновременно координату частицы и её импульс. Причина этого состоит в том, что производя измерение одной величины, мы вносим принципиально неустранимые возмущения в её движение и искажаем значение другой величины. Исходя из этого, можно предложить способ, которым соотношение неопределённостей можно обойти.

Допустим, две одинаковые частицы А и В образовались в результате распада третьей частицы С. Эти частицы расходятся на столь большие расстояния друг от друга, что физическое взаимодействие между ними исключается. В этом случае, по закону сохранения импульса, их суммарный импульс должен быть равен исходному импульсу третьей частицы, то есть, импульсы двух частиц должны быть связаны. Это даёт нам возможность измерить импульс одной частицы и по закону сохранения импульса рассчитать импульс второй, не внося в её движение никаких возмущений. Поэтому, измерив координату второй частицы, мы сумеем получить для этой частицы значения двух неизмеримых одновременно величин, что по законам квантовой механики невозможно. Таким образом получается, что соотношение неопреде-

лённостей не является абсолютным, а законы квантовой механики являются неполными и должны быть в будущем уточнены.

Однако это не так. Законы квантовой механики останутся абсолютными, так как оказывается, что две провзаимодействовавшие частицы остаются каким-то образом связанными между собой. Тогда возмущение, вносимое измерением в состояние первой частицы, *мгновенно* возмущает и состояние второй, после чего искажается значение второй физической величины как у первой, так и у второй частицы. Связанные таким образом частицы называются в квантовой механике запутанными и описываются единой волновой функцией, *на каком бы расстоянии они ни находились*. Этот перенос состояния с одной частицы на другую, независимо от того, как далеко друг от друга они находятся, называют **квантовой телепортацией.**

Следует сказать, что в настоящее время ЭПР-парадокс надежно подкреплен экспериментами.

В квантовой *механике концепция целостности* отлична от механистической концепции целого и части, ибо объект вне целого и внутри целого не один и тот же; отдельный объект рассматривается лишь в отношении к чему-либо, свои свойства он проявляет лишь по отношению к конкретной целостности, чем и определяется статистическая природа его поведения.

Мир предстает перед нами как единая целостная единица, несводимая к механическому разложению его на составные части. Таким образом, в квантовой механике сформировано представление о целостном, неразложимом характере мира, о не сведении его к отдельным элементам. Этот результат, имеющий глубокое мировоззренческое значение, является едва ли не самой удивительной страницей в истории физики.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ И ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ А. ЭЙНШТЕЙНА

4.1. Кризис ньютоновской механики

Как уже упоминалось, развитие физики XIX века, казалось бы, не предвещало каких-либо резких поворотов, хотя по многим вопросам ученые не были столь уж единодушны. До конца не была понята природа теплового излучения (проблема излучения абсолютно черного тела и ультрафиолетовая катастрофа). В 1895 году этой проблемой стал заниматься М. Планк, и в 1900 году им была получена формула, в которой зависимость объёмной плотности излучения абсолютно чёрного тела от частоты излучения носила спектральный характер. Это означало, что энергия излучается порциями, или квантами. Излучение ограничено, так как излучается не волна (непрерывность), а порция, квант. Энергия одного кванта $E = h\upsilon$, (частота излучения, умноженная на постоянную Планка). Мысль о том, что энергия может испускаться и поглощаться лишь дискретными квантами энергии, была столь новой, что она выходила за традиционные рамки физики.

В 1905 году А. Эйнштейн с помощью гипотезы Планка решил проблемы фотоэффекта (выбивание из металла электронов под действием света) и удельной теплоёмкости твёрдых тел. Эйнштейн предположил, что свет состоит из световых квантов, корпускул, но на основе работ Максвелла и опытов Герца, свет может быть объяснён как распространение электромагнитных волн. Возникает корпускулярно-волновой дуализм. Результаты Эйнштейна были большим шагом вперёд на пути развития новой теории, они обнаружили планковскую постоянную действия в разных областях, не связанных с проблемой теплового излучения.

Но в целом положение дел казалось очень хорошим. Это настроение ученых-физиков на рубеже XIX-XX веков как нельзя лучше выразил Дж. Томсон, высказавший мнение о том, что здание физики практически построено, не хватает лишь нескольких деталей: на ясном небосклоне имеются только два облачка. Первое омрачающее общую умиротворяющую картину облачко Томсон связывал с отрицательным результатом опыта Майкельсона по измерению скорости эфира. Второе – неинвариантность уравнений Максвелла по отношению к преобразованиям Галилея. По прошествии века мы с уверенностью можем констатировать, что из этих, на первый взгляд, довольно-таки безобидных облачков не только выросла вся современная физика: первое облачко дало впоследствии жизнь теории относительности, а второе

облачко — квантовой механике, но и поставленные этими теориями проблемы еще далеки от завершения. Так что работы хватит и на следующие столетия.

Первым этапом в становлении специальной теории относительности стал опыт А.А.Майкельсона (1852-1931), проведенный в 1881 году. В опыте определялась скорость света в различных движущихся системах отсчета. Уже говорилось, что по теории Максвелла электромагнитные волны должны распространяться со скоростью в вакууме - $\boldsymbol{c}$. Встал вопрос, в какой инерциальной системе отсчета это происходит. Если таковой считать систему отсчета, связанную с неподвижными звездами, то скорость нашей планеты относительно них $\boldsymbol{v_з}$ = 30 км/с. Эта скорость достаточно большая и сравнимая со скоростью света $\boldsymbol{c}$.

Майкельсон экспериментально определял скорость света в разных системах отсчета, а именно, он измерял скорость света, идущего в двух противоположных относительно Земли направлениях. В соответствии с преобразованиями Галилея и положениями классической механики, скорости света в этих системах отсчета должны были бы отличатся на величину $2\boldsymbol{v_з}$. Результаты эксперимента Майкельсона однозначно показали, что скорость света не зависит от выбора системы отсчета и всегда равна с. Т.е. было установлено, что электромагнитные волны во всех инерциальных системах отсчета распространяются с одинаковой скоростью $3x10^8$ м/с. Эксперименты, подобные опыту Майкельсона повторялись неоднократно со все возрастающей точностью. На сегодняшний день можно утверждать, что скорость в различных системах отсчета одинакова с точностью порядка нескольких мм/с.

К концу прошлого века Д.К.Максвеллом (1831-1879) были сформулированы основные законы электричества и магнетизма в виде системы дифференциальных уравнений, которые описывали постоянные и переменные электрические и магнитные поля. Решения системы уравнений Максвелла описывали всю гамму поведений электромагнитных полей в пространстве и времени. Из системы уравнений Максвелла следовало, что переменные электрические и магнитные поля могут существовать только в форме единого электромагнитного поля, которое распространяются в пространстве после возникновения с постоянной скоростью, равной скорости света в вакууме - $\boldsymbol{c}$.

На вопрос о том, в какой среде распространяется это поле, теория Максвелла ответа не давала. *Ключевым моментом теории Максвелла являлось то, что уравнения Максвелла были не инвариантны относительно преобразований Галилея.* Это означало, что при переходе с помощью преобразований

Галилея из одной инерциальной системы отсчета в другую, уравнения меняли свой вид. Это обозначало, что преобразования Галилея нельзя было применять при описании электрических и магнитных явлений.

Строгое математическое доказательство не инвариантности уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея достаточно сложно. Поэтому, проиллюстрируем этот факт на простом и наглядном примере. Для этого потребуется вспомнить, какие силы действуют на движущиеся заряды в электрических и магнитных полях. Пусть два одноименных заряда летят с одинаковой скоростью в направлении оси (OX). В неподвижной системе отсчета заряды будут создавать электрические и магнитные поля, и, следовательно, будут находиться в полях друг друга. Электрическое поле воздействует на заряд силой Кулона, магнитное - силой Лоренца.

Если перейти к системе отсчета, движущейся вдоль оси (OX), вместе с зарядами, то в ней заряды окажутся неподвижными, и сила Лоренца не возникнет. Таким образом, силы взаимодействия зарядов в различных инерциальных системах отсчета окажутся разными. Следовательно, и поведение частиц, их движение во времени, будет разным в зависимости от того, в какой инерциальной системе координат мы рассматриваем это движение. Естественно, что это абсурд и отсюда сделаем вывод, что к движущимся зарядам, законы движения и взаимодействия которых описываются уравнениями Максвелла, нельзя применять принцип относительности Галилея.

Несмотря на то, что сам Максвелл признавал существование эфира, электромагнитная теория Максвелла не требует существования эфира как такового. Однако тот факт, что уравнения Максвелла не удовлетворяли принципу относительности, вновь вызвал к жизни концепцию эфира как некоторой среды такой, что уравнения Максвелла справедливы только в одной, связанной с этой средой системе отсчета.

4.2. Преобразования Лоренца

Проблему неподчинения уравнений Максвелла механическому принципу относительности можно было разрешить тремя основными способами.

1-ый способ – отказаться от уравнений Максвелла или внести в них необходимые поправки, лишь бы сделать их инвариантными относительно галилеевых преобразований. Однако уравнения Максвелла демонстрировали высочайшую степень совпадения теории с экспериментом, а все вносимые поправки оказывались неподтверждаемыми.

2-ой способ – отстаивалась А. Пуанкаре и Г. Герцем, считавшие принцип относительности обязательным для описания не только механических явлений, но и электромагнитных. В 1890 году Герц принимает гипотезу, о существовании эфира, полностью увлекающегося движущимися телами, и находит уравнения, инвариантные по отношению к галилеевым преобразованиям координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчета в другую. Эта теория оказалось несовместимым с результатом эксперимента Физо по распространению света в движущейся жидкости.

И, наконец, третья точка зрения, отстаиваемая Лоренцем. Известно, что Лоренц являлся сторонником атомной теории строения вещества, а после открытия в 1897 году Томсоном отрицательно заряженной частицы— *электрона,* он создал теорию, в которой уравнения Максвелла включают в себя идею о дискретной структуре электричества. При этом Лоренц использует гипотезу эфира, рассматривая электромагнитное поле как свойство эфира, противопоставляя его состоящему из электрически заряженных частиц веществу. Лоренцу удалось всю электродинамику покоящихся и движущихся тел свести к уравнениям Максвелла, дать на этой основе объяснение большому числу экспериментальных фактов. Но при этом он вводит абсолютно покоящуюся выделенную среди прочих систему отсчета, связанную с неподвижным эфиром, в которой только и выполняются уравнения Максвелла. Таким образом, точка зрения, отстаиваемая Лоренцем, говорила о несостоятельности самого принципа относительности. На место абсолютного пустого неподвижного ньютоновского пространства он ставит абсолютное тело отсчета — неподвижный эфир, то есть вводит привилегированную систему отсчета. Однако все имеющиеся опытные данные говорили в пользу принципа относительности, в том числе и опыт Майкельсона свидетельствовал в пользу эквивалентности всех инерциальных систем отсчета, кроме этого он устанавливал факт постоянства скорости света в любой системе отсчета.

А. Эйнштейн писал, что «специальная теория относительности обязана своим происхождением этой трудности, которая, ввиду ее фундаментального характера, казалась нетерпимой». Следует сказать, что Лоренц (и ряд других физиков) предпринимал многочисленные попытки, пытаясь согласовать отрицательный результат опыта Майкельсона с идеей абсолютной системы отсчета. В том числе была выдвинута гипотеза о сокращении линейных размеров тел в направлении их движения относительно эфира. При этом Лоренц и Фицджеральд считали, что тела действительно сокращают свои размеры в направлении движения. Это сокращение должно было полностью компенси-

ровать влияние относительного движения на скорость распространения света, почему и казалось, что скорость света остается постоянной во всех инерциальных системах отсчета. Они получили уравнения, которые называются уравнениями (преобразования) Лоренца, при условии, что относительная скорость систем отсчета $\boldsymbol{v}$ велика и сравнима со скоростью света $\boldsymbol{c}$ ($\boldsymbol{v} \leq \boldsymbol{c}$):

Очевидно, что преобразования Лоренца содержат немыслимые, с точки зрения обыденных представлений, парадоксы: кроме вышеупомянутого сокращения линейных размеров тел, движущихся вместе с системой отсчета *K'* относительно неподвижной системы *K:*

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \Delta x = l = l'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\,. \tag{4.1}$$

Оказалось, что и длительность событий в этих системах отсчета разная. Если длительность временного интервала в системе *K* - *Δt,* а в системе *K'*- *Δt'*, то

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \Delta t = \Delta t'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\,. \tag{4.2}$$

Длительность *Δt'* – длительность события относительно движущейся системы *K'*, относительно которой тело покоится. Длительность события в системе отсчета, относительно которой тело неподвижно, называется *собственным временем*. Собственное время $\Delta t'$ минимально. Это говорит о том, что относительно системы *K* интервал времени Δt оказывается большим. С этим связан парадокс близнецов, получивший большую популярность и широкое освещение в литературе. Итак, из преобразований Лоренца следовало, что пространственные и временные интервалы оказываются неинвариантными при переходе из одной системы отсчета в другую. Возникла ситуация, в которой потребовались глубокий анализ и критика имеющихся представлений о пространстве и времени, на основании которых удалось бы выяснить причины, по которым преобразования Галилея заменяются преобразованиями Лоренца. Это и было сделано А. Эйнштейном а его вышедшей в свет в 1905 году работе «К электродинамике движущихся сред».

4.3. Специальная теория относительности А. Эйнштейна

Свою статью «К электродинамике движущихся сред» Эйнштейн начинает с двух предположений, которые в современной науке именуются постулатами теории относительности, которые он рассматривает как предпосылки для того, чтобы, «положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся сред».

Постулаты теории относительности

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

Лоренц отмечал по этому поводу: «Заслуга Эйнштейна состоит в том, что он первый высказал *принцип относительности в виде всеобщего, строго и точно действующего закона*». Следует отметить, что точки зрения об универсальности принципа относительности придерживался так же А. Пуанкаре.

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

В любом случае, увлекался бы эфир движущимися телами или не увлекался бы, скорость света относительно различных инерциальных систем отсчета должна была оказаться различной. Если бы эфир увлекался движущимися телами, то скорость света относительно внешней неподвижной системы отсчета должна быть другой, чем известное значение С. Если же эфир не увлекается движущимися телами, то должна меняться скорость света относительно системы отсчета, движущейся вместе с источником света. Отрицательный результат опыта Майкельсона как раз и состоит в том, что скорость света оказывалась одинаковой по отношению к обеим системам отсчета. Положив за основу теории этот экспериментальный факт, Эйнштейн говорит о том, что введение «светоносного эфира» окажется при этом излишним, «поскольку в предлагаемую теорию не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами. Скорость же света в пустоте не зависит от системы отсчета и является максимальной (верхней границей) для скорости распространения сигналов.

Исходя из постоянства скорости света Эйнштейн подвергает критическому анализу традиционное понятие времени. Ньютоновское понятие абсолютного, универсального, равномерно текущего времени твердо укоренилось в представлениях физиков и казалось незыблемым. Следствием этого явилось некритически используемое в ньютоновской механике представление об

одновременности событий. Критику абсолютного времени Ньютона Эйнштейн начинает с рассмотрения понятия одновременности двух событий, обращая особое внимание на тот факт, «что всё наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях». В классической механике принимается, что одновременность двух событий может быть установлена путем переноса часов на точки *A* в точку *B*, при этом считается, что движение часов никаким образом не должно сказываться на их ходе. Эйнштейн указал на неочевидность последнего утверждения, на неправомерность принятия его априори. Поскольку не существует физических явлений, распространяющихся мгновенно, то без определенных предположений невозможно сравнивать во времени какое-либо событие, происходящее в *A*, с событием, происходящим в *B*. Часы в *A* и *B* будут идти синхронно, если принять, что время для прохождения света из точки *A* в точку *B* равно времени для прохождения сигнала из точки *B* в точку *A*.

Обсудим понятие одновременности и соотношение понятий «раньше» и «позже» в рамках постулата о независимости скорости света от движения системы ее отсчета. Представим поезд, двигающийся с постоянной скоростью мимо платформы. Посредине поезда стоит проводник, а в голове и хвосте поезда на равном расстоянии от середины расположены два фонаря. На платформе стоит стрелочник. В момент, когда едущий проводник находится точно против неподвижного стрелочника, оба они видят, что фонари одновременно вспыхнули. Скорость света хоть и велика, но конечна. Что скажут проводник и стрелочник, предупрежденные о независимости скорости света? Проводник, наблюдая вспышки одновременно и учитывая, что свету предстояло пройти равные расстояния до него от неподвижных в его системе отсчета фонарей, скажет, что фонари вспыхнули одновременно. Стрелочник, наблюдая вспышки одновременно и учитывая, что фонари движутся относительно него, а скорость света конечна, скажет: раз свет дошел до него одновременно, а испущен был несколько раньше, когда задний фонарь был от стрелочника дальше, значит, свету от заднего фонаря предстояло пройти большее расстояние. И, чтобы сигналы добрались до стрелочника одновременно, задний фонарь поезда вспыхнул раньше. Пусть над поездом вдоль рельсов, опережая его, летит самолет, и летчик оказывается над стрелочником в тот момент, когда мимо него проезжает проводник. Летчик тоже видит одновременные вспышки, но, рассуждая таким же образом, как стрелочник, он скажет, что передний фонарь вспыхнул раньше. Таким образом, трое наблюдателей, находясь в одной точке в один и тот же момент времени, увиде-

ли одно и то же, но дали различное заключение о происшедшем. В наблюдение, а, значит, и в измерение неизбежно входит трактовка, интерпретация, выполняемая с учетом дополнительных обстоятельств (в данном случае конечности скорости света и постулата о независимости его скорости). Есть, однако, еще один важный момент. Все эти обстоятельства необходимо согласовать с принципом причинности. Следствие никак не может быть раньше причины. Поэтому, если вспышки самих фонарей связаны причинно-следственной связью (как удар по мячу и последующее попадание его в ворота), то приведенные рассуждения необходимо уточнить, дабы не получить в итоге абсурд. Принцип причинности не будет нарушен, если скорость целенаправленной передачи информации от причины к следствию не превосходит скорости света. Тогда в любых системах отсчета причина будет предшествовать следствию. Таким образом, в окружающем мире существует предельная скорость – скорость света.

Таким образом, одновременность событий в одной системе отсчета не будет верна в другой, движущейся по отношению к первой. Если один наблюдатель считает одновременными два события, которые пространственно разобщены, в той системе отсчета, относительно которой он неподвижен, то другой наблюдатель, участвующий в равномерном прямолинейном движении относительно первой системы отсчета, не считает их одновременными. *Так что одновременность становится понятием относительным, зависящим от наблюдателя. Таким образом, следует говорить о собственном времени каждой системы отсчета. Универсальное абсолютное ньютоновское время должно уступить место бесчисленным собственным временам различных систем отсчета.* Этот, на первый взгляд, парадоксальный вывод является следствием того, что невозможно синхронизировать часы с помощью сигналов, распространяющихся со скоростью, превышающей скорость света. Наше же обыденное представление о времени, совпадающее с представлением об универсальном ньютоновском времени, — следствие того, что мы живем в мире малых скоростей, неосознанно пользуясь при этом информационными волнами, распространяющимися со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Если бы скорость электромагнитных волн была бы порядка обычных для нашего сознания скоростей, то гораздо раньше встал бы вопрос об одновременности событий в различных точках пространства. Эйнштейн показал, что в основе преобразований Галилея как раз и лежит произвольное допущение о том, что понятие одновременности имеет смысл независимо от состояния движения используемой системы координат.

Рассуждая таким образом и используя два указанных выше принципа (постулаты теории относительности), Эйнштейн математически вывел лоренцево сокращение движущихся тел при их наблюдении из покоящейся системы, при условии, что скорость движущегося тела $V < C$. Следствием лоренцева сокращения является эффект замедления времени. То же обстоятельство, что длительности событий различны в различных системах отсчета, приводит к замене галилеева правила сложения скоростей релятивистским законом сложения скоростей:

$$v' = \frac{2v}{\left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)}. \qquad (4.3)$$

Из релятивистского закона сложения скоростей следует, что сложение скорости света со скоростью источника дает во всех случаях опять-таки скорость света, тем самым скорость света в пустоте — максимальная скорость передачи взаимодействий в природе.

Таким образом, изменение понятий о пространстве и времени приводит в специальной теории относительности к изменению основных принципов кинематики. Не случайно специальную теорию относительности называют кинематическим нововведением в физику. Новая кинематика, к которой пришел Эйнштейн при анализе понятий пространства и времени, совпала с преобразованиями, полученными ранее Лоренцом. Однако 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. *«Вопрос о том, реально лоренцово сокращение или нет, не имеет смысла,* — писал Эйнштейн. — *Сокращение не является реальным, поскольку оно не существует для наблюдателя, движущегося вместе с телом; однако оно реально, так как оно может быть принципиально доказано физическими средствами для наблюдателя, не движущегося вместе с телом.* Итак, два постулата принципа относительности должны быть дополнены преобразованиями Лоренца. Чтобы принцип относительности мог выполняться, необходимо, чтобы все законы физики не изменяли своего ви-

да, были инвариантны при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую относительно преобразований Лоренца. Это одно из первых следствий, вытекающих из постулатов теории относительности, устанавливающее критерий включения физического закона в релятивистскую схему.

Эйнштейн показал также, что преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея при скоростях $\boldsymbol{v} << \boldsymbol{c}$, тем самым устанавливая границы применимости классической механики для мира малых скоростей.

Преобразования Галилея основывались на гипотезе о полной независимости времени и пространства. Это приводило к тому, что пространственные и временные интервалы рассматривались по отдельности неизменными при переходе из одной системы отсчета в другую. То есть двум соседним точкам пространства ставилась в соответствии численная мера dS, выражаемая уравнением: $dS^2 = dX^2 + dY^2 + dZ^2$. dS^2 не зависит от выбора системы координат и может быть измерена единичным измерительным стержнем. Независимо от этого двум событиям ставился в соответствие временной интервал dt, также не зависящий от системы отсчета. Однако специальная теория относительности в корне изменяет сложившийся взгляд. Из самого вида преобразований Лоренца отчетливо видно, что пространственные и временные координаты больше не могут быть рассмотрены независимо.

Г. Минковский, исходя из положения, что пространство и время — понятия, неотделимые друг от друга, предложил математический формализм, запись в котором физического закона приводит к его инвариантности относительно преобразований Лоренца. Формализм Минковского использует представление о четырехмерном мире, четырехмерном пространственно-временном континууме, в котором время по своему месту в физических уравнениях эквивалентно трем пространственным координатам. Двум соседним точкам в четырехмерном пространстве-времени ставится в соответствии численная мера, называемая *мировым интервалом* и выражаемая уравнением: $dS^2 = (dX^2 + dY^2 + dZ^2) - c^2\, dt^2$,где X, Y, Z – прямоугольные координаты; $\sqrt{-c^2 \partial t^2} = \sqrt{-1} * c * dt$ – время, умноженное на мнимую единицу и на скорость света. Именно мировой интервал не зависит от выбора системы отсчета, остается инвариантным относительно преобразований Лоренца. Каждый наблюдатель, находящийся в своей инерциальной системе отсчета, по-своему отделяет пространство и время из четырехмерного пространственно-временного мира, но мировой интервал dS остается для каждого из них неизменным.

Специальная теория относительности – теория, которая решает две основные задачи: во-первых, приспосабливает пространственно-временную метрику к уравнениям Максвелла. Это приводит к выработке новой «метрики» пространства-времени, где на смену евклидовой метрики, в которой пространства и время рассматриваются независимыми друг от друга и в которой пространственные и временные масштабы сохраняют неизменность по отдельности друг от друга в различных системах отсчета, приходит видоизмененная метрика, с пространственно-временным континуумом, называемым псевдоевклидовым пространством Минковского, в котором время эквивалентно пространственным координатам, играет роль четвертого измерения в этом континууме и в котором инвариантным относительно преобразований Лоренца является четырехмерный мировой интервал. И, во-вторых, применение этой новой «метрики» ко всей физики. Этот второй этап приводит к видоизменению ньютоновских законов движения на случай больших скоростей и к закону взаимосвязи массы тела и энергии: $\boldsymbol{E = mc^2}$.

В дальнейшем все известные физические законы были записаны в четырехмерном формализме Минковского, что привело к созданию новой релятивистской *(relativ* — относительный) физики. Все упомянутые выше законы сохранения впоследствии были рассмотрены как следствия инвариантности лагранжиана при поворотах в четырехмерном континууме.

В релятивистской физике не существует отдельно закона сохранения массы и закона сохранения энергии, это единый закон, т.к. масса и энергия взаимосвязаны и полная масса двух взаимодействующих тел равна:

$$M_{\sum} = m_1 + m_2 + U/c^2, \tag{4.4}$$

где U – потенциальная энергия их взаимодействия. Подтверждением является наблюдаемый при ядерных реакциях дефект масс (продукты расщепления ядра атома весят больше исходного ядра).

Полная энергия:

$$E_{пот} + E_{кин} = mc^2. \tag{4.5}$$

Масса тела также зависит от скорости:

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \tag{4.6}$$

4.4. Элементы общей теории относительности

Благодаря специальной теории относительности в физике создается новый взгляд на характер физических законов. Несмотря на революционность специальной теории относительности, приведшей к коренному изменению наших представлений о пространстве и времени, тем не менее; возникает чувство некоторой незавершенности теории. И связано это с тем, что специальная теория относительности так же, как и классическая механика, сохраняет привилегированное положение наблюдателей, находящихся в инерциальных системах отсчета. А как быть с наблюдателями, находящимися в системах отсчета, движущихся по отношению к первым с ускорением (в неинерциальных системах отсчета)? Чем объясняется неинвариантность законов физики в неинерциальных системах отсчета? Правомерно ли это? Подобное положение дел казалось неудовлетворительным. Эйнштейн, повторяя вопрос Э. Маха: «Почему инерциальные системы физически выделены относительно других систем отсчета?», первым обращает внимание на то, что специальная теория относительности (СТО) не дает на него ответа.

Следующая проблема возникла при попытке представить в рамках СТО тяготение. Оказалось, что попытки включения тяготения в СТО наталкивались на серьезные трудности.

Галилеем был установлен закон, согласно которому все тела падают, при отсутствии сопротивления среды, с одинаковым ускорением. Это является следствием равенства инертной и гравитационной (весомой) массы. Равенство инертной и гравитационной массы соблюдается с точностью выше одной двадцатимиллионной, что было показано в серии весьма точных опытов, проделанных Р. Этвешем. Тем не менее это равенство не получило объяснения в физической теории. В 1908 году Эйнштейн доказывает, что каждому количеству энергии в гравитационном поле соответствует энергия, по величине равная энергии инертной массы величиной E/c^2, и делает вывод о том, что закон этот выполняется не только для инертной, но и для гравитационной массы. Рассматривая факт равенства инертной и гравитационной массы, Эйнштейн приходит к выводу о том, что гравитационное поле (в котором проявляется гравитационная масса) эквивалентно ускоренному движению (в котором проявляется масса инертная) и формулирует принцип эквивалентности, который и был положен в основу создания общей теории относительности: *«Факт равенства инертной и весомой массы или, иначе, тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает и иное выражение. Его можно выразить так: в поле тяготения*

(малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее».

Принцип эквивалентности Эйнштейн называл «счастливейшей мыслью в моей жизни». Эйнштейн приходит к выводу о том, что главная задача состоит не в том, как включить тяготение в СТО, а в том, как использовать тяготение для обобщения требования инвариантности к любым типам движения, в том числе и ускоренным. Оказалось, что тяготение не может быть полностью заменено ускорением (гравитационные силы — силами инерции) в больших областях с неоднородным гравитационным полем. *Сведение гравитационного поля к ускоренным системам отсчета требует ограничения принципа эквивалентности бесконечно малыми масштабами.* Иными словами, принцип эквивалентности имеет локальное значение. Локальный характер принципа эквивалентности приводит к представлениям о мире, отличном от плоского евклидова пространства, для которого сумма углов треугольника всегда равна 180 градусов. Это мир – с кривизной пространственно временного континуума. Случилось так, что в математике уже были развиты теории неевклидовой дифференциальной геометрии – теория Лобачевского и теория Римана. В общей теории относительности инвариантность физических законов в системах отсчета, в которых действуют гравитационные силы (или которые являются неинерциальными), достигается относительно локальных преобразований в римановом четырехмерном пространстве-времени положительной кривизны. Иными словами, гравитационное поле может интерпретироваться как следствие искривления пространства.

Фундаментальной экспериментальной аксиомой общей теории относительности считается следующее утверждение: никаким физическим экспериментом, проведенным в ускоренно движущейся лаборатории, нельзя установить, является ли это ускорение кинематическим, т.е. порожденным ускоренным движением лаборатории по отношению к отдаленным звездам, или гравитационным, т.е. порожденным близлежащими массами, например, массой Земли. Эту аксиому и ее следствия можно назвать принципом эквивалентности.

Итак, в результате восьмилетних размышлений над природой тяготения (с 1907 по 1915 годы) Эйнштейн в полемике и при поддержке ряда крупных физиков и математиков пришел к созданию общей теории относительности – теории, распространяющей принцип относительности *на любые системы отсчета* и в то же время представляющей из себя более общую теорию тяго-

тения, содержащую в себе теорию тяготения Ньютона как предельный случай.

Возникло новое представление о пространстве и времени, которое в корне отличается от ньютоновского.

«Раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы, теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время».

4.5. Экспериментальное подтверждение СТО и ОТО

Специальная теория относительности имеет глубокое экспериментальное подтверждение и является мощным аппаратом в ядерной физике и физике элементарных частиц.

Первое экспериментальное подтверждение теории состояло в объяснении аномального движения планеты Меркурий, чего не удавалось сделать на основе теории Ньютона. Меркурий — это наиболее близкая к Солнцу планета. Согласно общей теории относительности, эллиптическая траектория движения планет должна медленно поворачиваться вокруг Солнца. Леверье было открыто вековое вращение орбиты Меркурия, составляющее около 45" в столетие (ясно, что для остальных планет оно еще меньшее). Результат этот не согласовывался с расчетами, полученными на основе ньютоновского закона всемирного тяготения. Результаты расчета по общей теории относительности продемонстрировали полное совпадение с данными астрономических наблюдений.

Общая теория относительности Эйнштейна утверждает, что Солнце искривляет пространство и время, и что эта деформация оказывает влияние на траекторию идущего от звезд света. Угол, на который отклоняется луч света, несложно измерить. Отклонение траектории луча приводит к смещению видимого положения звезды. Это смещение может быть точно измерено путем сравнения видимого положения звезды по сравнению с ее истинным положением, известным по результатам ночных наблюдений звезды (в отсутствие отклоняющего влияния Солнца), полученным с интервалом примерно в полгода до или после затмения, когда Земля находится в соответствующем положении. В ноябре 1915 г. Эйнштейн, используя разработанную им новую теорию гравитации для расчета угла, на который должен отклониться луч света от звезды, прошедший рядом с поверхностью Солнца, получил значение 0,00049 градуса (0,75 угловых секунд). 6 ноября 1919 г., после пяти месяцев анализа фотографий, сделанных во время затмения на о. Принсипе на

совместном заседании Королевского научного общества и Королевского астрономического общества было объявлено, что предсказания, сделанные Эйнштейном на основе общей теории относительности, подтвердились.

В настоящее время релятивистские эффекты учитываются в сверхточных навигационных спутниковых системах, с помощью которых можно определить координаты любой точки земной поверхности, на которой установлен датчик системы. Отклонение лучей в поле тяжести все шире используется и астрофизиками при наблюдении линзирования галактиками и звездами (они отклоняют свет и радиоволны квазаров и других галактик и звезд, то есть гравитация выполняет функции оптической линзы). Гравитационные линзы предсказаны Эйнштейном в 1936 г., в 1979г. было впервые обнаружено линзирование одного из квазаров.

Сегодня не существует сомнений, что модель гравитации, предложенная Эйнштейном, не только совместима со специальной теорией относительности, но и дает более точное совпадение с экспериментальными данными, чем теория Ньютона. Подтверждением этого является обнаружение черных дыр, наблюдаемое расширение Вселенной и теория Большого взрыва.

Черные дыры, Большой взрыв и расширение Вселенной

Если эффекты специальной теории относительности становятся наиболее очевидными при больших скоростях движения тел, то общая теория относительности выходит на сцену, когда тела имеют очень большую массу и вызывают сильное искривление пространства и времени. Рассмотрим два примера.

Первым из них является открытие, сделанное во время I-ой мировой войны немецким астрономом Карлом Шварцшильдом, когда он, находясь в 1916 г. на русском фронте, в перерывах между расчетом траекторий артиллерийских снарядов знакомился с достижениями Эйнштейна в области гравитации. Работа Шварцшильда — известная в настоящее время под названием «решения Шварцшильда» — выявила одно поразительное следствие общей теории относительности. Было показано, что если масса звезды сосредоточена в пределах достаточно малой сферической области (когда отношение массы звезды к ее радиусу не превосходит некоторого критического значения), то результирующее искривление пространства-времени будет столь значительным, что никакой объект (включая свет), достаточно приблизившийся к звезде, не сможет ускользнуть из этой гравитационной ловушки. Поскольку даже свет не сможет вырваться из таких «сжатых звезд», их позднее назвали черными дырами — черными, потому что они не могут излучать свет, и ды-

рами, потому что любой объект, приблизившийся к ним на слишком малое расстояние, никогда не возвращается назад.

Хотя черные дыры известны своей «прожорливостью», тела, которые проходят мимо них на безопасном расстоянии, отклоняются точно так же, как они отклонились бы под действием обычной звезды, и следуют дальше своей дорогой.

Чтобы почувствовать всю грандиозность масштабов этих явлений, отметим, что звезда массой, равной массе Солнца, станет черной дырой, если ее радиус будет составлять не наблюдаемое значение (около 700 000 км), а всего лишь около 3 км.

Второй пример, относится к возникновению и эволюции всей Вселенной. Как мы уже видели, Эйнштейн показал, что пространство и время реагируют на присутствие массы и энергии. Эта деформация пространства времени оказывает влияние на движение других космических тел, оказавшихся поблизости от образовавшегося искривления. *Точная траектория движения этих тел зависит от их собственных массы и энергии, которые, в свою очередь, оказывают влияние на кривизну пространства-времени, влияющую на движение этих тел, и так до бесконечности.* Используя уравнения общей теории относительности, основанные на достижениях в описании геометрии искривленного пространства, которых добился великий математик XIX в. Георг Бернхард Риман, Эйнштейн сумел количественно описать взаимную эволюцию пространства, времени и материи. К его великому изумлению, применение этих уравнений не к изолированной системе (такой, как планета или комета, обращающаяся вокруг Солнца), а к Вселенной в целом, привело к поразительному выводу: общий пространственный размер Вселенной должен изменяться с течением времени. Иными словами, Вселенная либо расширяется, либо сжимается, но никогда не остается в неизменном состоянии. И это явственно следовало их уравнений общей теории относительности.

Это было слишком даже для Эйнштейна. Такой вывод опрокидывал общепринятые интуитивные представления о сущности пространства и времени, сформировавшиеся в течение тысяч лет под влиянием повседневного опыта. Даже такой радикальный мыслитель не смог отказаться от представлений о вечно существующей и неизменной Вселенной. По этой причине Эйнштейн пересмотрел свои уравнения и модифицировал их, добавив дополнительный член, ставший известным как космологическая постоянная, который позволял избежать такого вывода и возвращал нас в комфортные условия статической Вселенной. Однако 12 лет спустя, проводя тщательные на-

блюдения за отдаленными галактиками, американский астроном Эдвин Хаббл экспериментально установил, что Вселенная расширяется. История, закрепленная ныне в анналах науки, свидетельствует о том, что Эйнштейн вернул первоначальную форму своим уравнениям, признав их временную модификацию величайшим заблуждением в своей жизни. Теория Эйнштейна предсказывает расширение Вселенной, вопреки первоначальному нежеланию ее автора принять этот вывод. Этот же результат был получен русским математиком и геофизиком Александром Фридманом в начале 1920-х гг., за несколько лет до наблюдений Хаббла. *Наблюдения Хаббла и многочисленные данные, накопленные впоследствии, полностью подтвердили это потрясающее следствие общей теории относительности.*

Если принять, что пространство Вселенной расширяется, приводя к увеличению расстояния между галактиками, переносимыми космическими потоками, можно мысленно обратить развитие Вселенной вспять по времени, чтобы исследовать ее происхождение. При таком обращении пространство Вселенной сокращается, и галактики становятся все ближе и ближе друг к другу. По мере того, как сокращающаяся Вселенная сжимает галактики, в ней, как в автоклаве, происходит резкое увеличение температуры, звезды разрушаются, и образуется раскаленная плазма из элементарных составляющих вещества. Дальнейшее сжатие сопровождается непрекращающимся ростом температуры, а также плотности первичной плазмы. Если мы представим, что часы отсчитали примерно пятнадцать миллиардов лет назад от современного состояния, известная нам Вселенная сократится до очень малого размера. Если экстраполировать весь этот путь назад, к «началу всех начал», можно прийти к выводу, что Вселенная должна была возникнуть как точка, в которой все вещество и вся энергия были спрессованы до невообразимых плотности и температуры. Считается, что огненный шар, вырвавшийся из этой гремучей смеси в результате Большого взрыва, исторг семена, из которых в дальнейшем развилась известная нам Вселенная.

Но следует учесть, что следуя вспять все ближе к началу, мы не найдем никакого пространства вне точки. Большой взрыв представлял собой извержение сжатого пространства-времени, развертывание которого, подобно приливной волне, и по сей день несет с собой материю и энергию.

ГЛАВА 5. АТОМНАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА МИКРОМИРА

5.1. Основные представления о структуре вещества

С уровнем достигнутых знаний менялось и представления о структуре вещества. В качестве первичной системы микрообъектов сначала рассматривались молекулы как наименьшие единицы вещества. Сами представления о структуре молекулы постепенно совершенствовались и уточнялись. В дальнейшем исследователи установили, что при образовании структур различные атомы не просто взаимодействуют, но известным образом преобразуют друг друга, так в результате получается целостность или связанная система. Позднее структуру молекул стали связывать с понятием валентности элемента. В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия атомов определяет новые целостные свойства молекулы.

Представления об атомах и их строении за последние сто лет изменились радикально. В конце XIX века ученые считали:

1) что химические атомы каждого элемента неизменны, и существует столько сортов атомов, сколько известно химических элементов (в то время — примерно 70);

2) атомы данного элемента одинаковы;

3) атомы имеют вес, причем различие атомов основано на различии, их веса;

4) взаимный переход атомов данного элемента в атомы другого элемента невозможен.

Начало теории строения атомного ядра связано с именами Марии Склодовской-Кюри и Пьера Кюри, исследовавшими явление *радиоактивности*, в процессе которого вещество может испускать особые лучи. При этом происходит превращение одних химических элементов в другие. Впоследствии выяснилось (это связано с именем Э. Резерфорда), что радиоактивные лучи состоят из трех составляющих: α-*лучи* - являются потоком ионизированных (лишенных электронов) атомов гелия He^{+}, β-*лучи* – это поток электронов, а γ-*лучи* являются жестким (коротковолновым) электромагнитным излучением.

С помощью α-частиц в 1911 г. Э. Резерфорд «проникает» внутрь атома и доказывает существование положительно заряженного атомного ядра, в котором сосредоточена практически вся его масса. В 1919 г., Резерфорд получает ионизированные ядра водорода, которые он назвал *протонами* - *p*, предположив, что протоны являются структурной частью всех более тяжелых ядер.

Так как масса α-частицы равна приблизительно четырем массам протона, а заряд равен заряду двух протонов, то Резерфорд предсказывает существование *электрически нейтральной частицы, масса которой равна массе протона*, получившей название *нейтрона* - *n*. В 1932 г. Дж. Чедвик открывает нейтрон в опыте по бомбардировке α-частицами бериллиевой мишени. После этого была предложена модель ядра атома, состоящего из протонов и нейтронов, которые удерживаются особым видом сил – *ядерными силами*, или *сильными взаимодействиями*. Так как по способности к сильному взаимодействию протон и нейтрон не отличаются друг от друга, поэтому их рассматривают как одну частицу – нуклон. Сильное взаимодействие действует на малых расстояниях (10^{-15} м) и превосходит электромагнитное и гравитационное, но оно уменьшается с увеличением расстояния.

Атомное ядро напоминает каплю воды, в которой частицы взаимодействуют лишь с соседними частицами, а частицы, находящиеся на поверхности капли, стремятся втянуться внутрь, создавая поверхностное натяжение. С увеличением числа частиц в ядре возрастает ее объем, удаленные друг от друга протоны не притягиваются друг к другу ядерными силами, но силы электростатического отталкивания становятся соизмеримыми с силами ядерного взаимодействия. Такие ядра становятся неустойчивыми, электростатические силы разрывают их, что является причиной радиоактивности.

Резерфорд положил основу ядерной модели атома как целостной системы. Она заключается во взаимодействии ядра атома, находящегося в центре атома и электронов, вращающихся вокруг ядра. Ядро состоит из положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре. Протоны и нейтроны характеризуются одинаковой массой, равной 1,67 10^{-27} кг, называемой «атомной единицей массы» (а.е.м.). Электрон намного меньше нуклона, его масса равна 0,00055 а.е.м., поэтому практически вся масса атома сосредоточена в ядре.

Электроны, находящиеся на разных орбитах, связаны с ядром в разной степени, некоторые из них атом легко теряет, при этом система переходит в другое состояние, атом становиться положительным ионом. Приобретая дополнительный электрон, атом превращается в отрицательный ион. При поглощении электромагнитного излучения, например света, атом возбуждается и совершает квантовый переход с нижнего уровня на более высокий. В связи с этим говорят об энергетических уровнях атома, которые определяют состояние атома как системы.

5.2. Многоэлектронный атом. Принцип Паули. Квантово-механическое обоснование Периодического закона Д.И. Менделеева

В многоэлектронном атоме, заряд которого равен Ze, электроны будут занимать различные «орбиты» (оболочки). При движении вокруг ядра Z-электроны располагаются в соответствии с квантово-механическим законом, который называется *принципом Паули* (1925 г.). Он формулируется так:

1. В любом атоме не может быть двух одинаковых электронов, определяемых набором четырех квантовых чисел: главного n, орбитального l, магнитного m и магнитного спинового m_s.

2. На определенной оболочке могут находиться в атоме не более $2n^2$ электронов.

Совокупность электронов в многоэлектронном атоме, имеющих одно и то же главное квантовое число n, называют *электронной оболочкой*. В каждой из оболочек электроны располагаются по подоболочкам, которые соответствуют определенному значению l. Так как орбитальное квантовое число l принимает значения от 0 до (n - 1), число подоболочек равно порядковому номеру оболочки n. Количество электронов в подоболочке определяется магнитным квантовым числом m, и магнитным спиновым числом m_s. Значит, на первой оболочке («орбите») могут находиться только 2 электрона, на второй — 8, на третьей — 18 и т. д.

Принцип Паули сыграл выдающуюся роль в развитии современной физики. Так, например, удалось теоретически обосновать периодическую систему элементов Менделеева. Без принципа Паули невозможно было бы создать квантовые статистики и современную теорию твердых тел.

В 1869 г. Д.И. Менделеев открыл периодический закон изменения химических и физических свойств элементов в зависимости от их атомных масс. Д. И. Менделеев ввел понятие порядкового номера Z-элемента и, расположив химические элементы в порядке возрастания их номера, получил полную периодичность в изменении химических свойств элементов. Физический смысл порядкового номера Z-элемента в периодической системе был установлен в ядерной модели атома Резерфорда: *Z совпадает с числом положительных элементарных зарядов в ядре (протонов)* и, соответственно, с числом электронов в оболочках атомов.

Принцип Паули дает объяснение Периодической системы Д.И. Менделеева. Начнем с атома водорода, имеющего один электрон и один протон. Каждый последующий атом будем получать, увеличивая заряд ядра преды-

дущего атома на единицу (один протон) и добавляя один электрон, который мы будем помещать в доступное ему, согласно принципу Паули, состояние.

У атома водорода Z = 1 на оболочке 1 электрон. Этот электрон находится на первой оболочке (К-оболочка) и имеет состояние *IS*, то есть у него $n = 1$, а $l = 0$ (S-состояние), $m = 0$, $m_s = \pm\, l/2$ (ориентация его спина произвольна).

У атома гелия (He) Z = 2, на оболочке 2 электрона, оба они располагаются на первой оболочке и имеют состояние *1S*, но с аптипараллельной ориентацией спинов. На атоме гелия заканчивается заполнение первой оболочки (К-оболочки), что соответствует завершению I периода Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. По принципу Паули, на первой оболочке больше 2 электронов разместить нельзя.

У атома лития (Li) Z = 3, на оболочках 3 электрона: 2 — па первой оболочке (К-оболочке) и 1 — на второй (L-оболочке). На первой оболочке электроны в состоянии *1S*, а на второй — *2S*. Литием начинается II период таблицы.

У атома бериллия (Be) *Z* = 4, на оболочках 4 электрона: 2 на первой оболочке в состоянии *1S* и 2 на второй в состоянии *2S*.

У следующих шести элементов — от B (Z = 5) до Ne (Z = 10) — идет заполнение второй оболочки, при этом электроны находятся как в состоянии *2S*, так и в состоянии *2p* (у второй оболочки образуется 2 подоболочки).

У атома натрия (Na) Z = 11. У него первая и вторая оболочки, согласно принципу Паули, полностью заполнены (2 электрона на первой и 8 электронов на второй оболочках). Поэтому одиннадцатый электрон располагается на третьей оболочке (М-оболочке), занимая наинизшее состояние *3S*. Натрием открывается III период Периодической системы Д. И. Менделеева. Рассуждая подобным образом, можно построить всю таблицу.

Таким образом, периодичность в химических свойствах элементов объясняется повторяемостью в структуре внешних оболочек у атомов родственных элементов. Так, инертные газы имеют одинаковые внешние оболочки из 8 электронов.

5.3. Ядерные реакции. Связь энергии и массы. Дефект масс

Любое ядро заряжено положительно, и величина заряда определяется количеством протонов в ядре Z (зарядовое число). Количество протонов и нейтронов в ядре определяет массовое число ядра A. Символически ядро записывается так: ${}^{A}_{Z}X$, где *X* — символ химического элемента. *Ядра с одинаковыми*

зарядовым числом Z и разными массовыми числами A, т.е. отличающиеся только количеством нейтронов называются изотопами. Например, уран в природе встречается в основном в виде двух изотопов $^{235}_{92}U$ *и* $^{238}_{92}U$. Изотопы обладают одинаковыми химическими свойствами и разными физическими. Если же изменяется число протонов, то мы получаем новый элемент периодической таблицы Менделеева, обладающий совсем другими химическими свойствами.

Все изотопы можно разделить на стабильные (устойчивые) т.е. не подверженные самопроизвольному распаду ядер атома на части (распад в таком случае называется радиоактивным) и нестабильные - радиоактивные. Помимо радиоактивности *ядерные реакции* (превращения ядер) могут происходить при бомбардировке вещества другими частицами (например α-частицами). Особенно удачной оказывается бомбардировка нейтронами, которые электрически нейтральны и поэтому не отталкиваются протонами атомного ядра. Даже медленные нейтроны могут беспрепятственно приблизиться к ядру на расстояние, при котором начинают действовать ядерные силы. Нейтрон придает ядру дополнительную энергию, после чего ядро может стать нестабильным и «развалиться» на более простые составляющие, которые отталкиваются друг от друга кулоновскими (электрическими) силами. При этом осколки ядра приобретают высокую энергию, которая в настоящее время используется как в мирных (атомные электростанции), так и в военных (атомная бомба) целях. Такие ядерные реакции называются *реакциями деления*.

Типичным примером является деления ядра изотопа урана ^{235}U (235 – это атомная масса данного изотопа) под действием нейтрона *n* на два осколка A_1 и A_2 с образованием нейтрона *n* и высвобождением энергии E: $^{235}U + n \rightarrow A_1 + A_2 + n + E$. Дочерние ядра A_1и A_2 оказываются радиоактивными, так как по сравнению со своими устойчивыми изотопами содержат излишнее количество нейтронов. Эти нейтроны могут «выбрасываться» из ядер. При каждом акте деления высвобождается 2-3 нейтрона, каждый из которых в свою очередь может вызвать расщепление еще одного ядра урана. В результате формируется *цепная реакция*, характеризующаяся лавинообразным расщеплением ядер урана. Для начала цепной реакции необходимо сосредоточить большое количество ядер урана в достаточно компактной области. Минимальная масса урана, при которой начинается цепная реакция деления, называется *критической массой*. Делиться могут только относительно неустойчивые тяжелые ядра.

Построив зависимость энергии связи на один нуклон от числа нуклонов в ядре *A*, мы сразу увидим нелинейный характер этой зависимости (рис 5.1). Удельная энергия связи е с ростом *A* сначала круто возрастает (у легких ядер), затем характеристика приближается к горизонтальной (у средних ядер), а далее медленно снижается (у тяжелых ядер). У урана она ≈ 7,5 МэВ, а у средних ядер ≈ 8,5 МэВ. Средние ядра наиболее устойчивы, у них большая энергия связи. Отсюда открывается возможность получения энергии при делении тяжелого ядра на два более легких (средних). Такая ядерная реакция деления может осуществиться при бомбардировке ядра урана свободным нейтроном. Реакция деления тяжелого ядра замечательна тем, что помимо новых более легких ядер появляются два новых свободных нейтрона, которые называют вторичными. При этом на каждый акт деления приходится 200 МэВ выделяющейся энергии. Она выделяется в виде кинетической энергии всех продуктов деления и далее может быть использована, например, для нагревания воды или другого теплоносителя. Вторичные нейтроны в свою очередь могут вызвать деление других ядер урана. Образуется цепная реакция, в результате которой в размножающей среде может выделиться огромная энергия. Этот способ получения энергии широко используется в ядерных боеприпасах и управляемых ядерных энергетических установках на электростанциях и на транспортных объектах с атомной энергетикой.

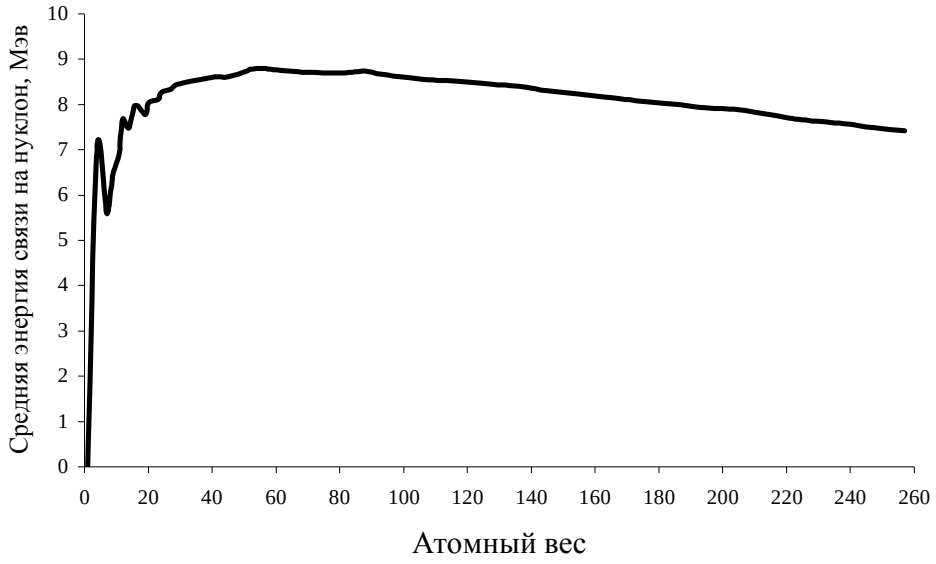

Рис. 5.1. Зависимость средней энергии связи нуклонов от атомного веса

В отношении легких ядер (водород, гелий и т.д.) более характерной является *реакция ядерного синтеза*. Если сложить массы всех *нуклонов* (протонов и нейтронов), образующих атомное ядро, то получим число, большее,

чем действительная масса данного ядра, приведенная в таблице Менделеева. Например для гелия $m_{He} = 2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n + 2 \cdot m_e = 2 \cdot 1{,}00727 + 2 \cdot 1{,}00865 + + 2 \cdot 0{,}00055 = = 4{,}03294$ а.е.м., в то время как по таблице $m_{He} = 4{,}00261$ а.е.м. (здесь m_p – масса протона, m_n – масса нейтрона, m_e – масса электрона). То есть *масса ядра оказывается меньше суммарной массы компонентов*, из которого состоит ядро на величину Δm, называемую *дефектом масс*.

Дефект масс объясняется тем, что для связи нуклонов в ядре (для организации сильного взаимодействия) требуется энергия связи E. Каждый нуклон (и протон и нейтрон), попадая в ядро, образно говоря, выделяет часть своей массы для формирования внутриядерного сильного взаимодействия, которое «склеивает» нуклоны в ядре. При этом, согласно теории относительности, между энергией связи $E_{св}$ и массой m существует соотношение $E = mc^2$, где c – скорость света в вакууме. Так что формирование энергии связи нуклонов в ядре $E_{св}$ приводит к уменьшению массы ядра на так называемый дефект массы $\Delta m = E_{св} / c^2$. Эти представления подтверждены многочисленными экспериментами.

Если частицы, обладающие собственной энергией приблизить друг к другу до расстояний, при которых начинают действовать ядерные силы, то образуется целостная система, *энергетически более выгодная* (с меньшей внутренней энергией), чем исходная система разрозненных частиц. При этом излишек исходной энергии частиц высвобождается в форме энергии связи, которая может придать определенную скорость образовавшемуся ядру, то есть разогреть получившееся в итоге вещество.

Процесс объединения легких ядер может происходить лишь при сближении исходных ядер на расстояние, где уже действуют ядерные силы (сильное взаимодействие), то есть на 10^{-15} м. Этого можно достигнуть при сверхвысоких температурах порядка 1 000 000 °С. Такие процессы называют термоядерными реакциями.

Термоядерные реакции в природе идут на звездах и, конечно, на, Солнце. В условиях Земли они происходят при взрывах водородных бомб (термоядерное оружие), запалом для которых служит обычная атомная бомба, создающая условия для формирования сверхвысоких температур. Управляемый термоядерный синтез пока имеет только научно-исследовательскую направленность. Промышленных установок нет, однако работы в этом направлении ведутся во всех развитых странах, в том числе и в России.

5.4. Радиоактивность

Радиоактивностью называется самопроизвольное преобразование одних ядер в другие. Спонтанный распад изотопов ядер в условиях природной среды называют *естест-*

венной, а в условиях лабораторий в результате деятельности человека — *искусственной радиоактивностью*. Необходимо отметить, что принципиального различия между этими двумя типами радиоактивности нет.

Естественную радиоактивность открыл французский физик Анри Беккерель в 1896 г. Это открытие вызвало революцию в естествознании вообще и в физике в частности. Классическая физика XIX в. с ее убежденностью в неделимости атома ушла в прошлое, уступив место новым теориям.

Открытие и исследование явления радиоактивности связано также с именами Марии и Пьера Кюри. Этим исследователям в 1903 г. была присуждена Нобелевская премия по физике. Искусственная радиоактивность открыта и исследована супругами Ирен и Фредериком Жолио-Кюри, которые в 1935 г. также получили Нобелевскую премию.

Для каждого радиоактивного элемента установлены количественные оценки. Так, вероятность распада одного атома в одну секунду характеризуется постоянной распада данного элемента X, а время, за которое распадается половина радиоактивного образца, называется периодом полураспада T_{05}.

Со временем число нераспавшихся ядер N убывает по экспоненциальному закону:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \tag{5.1}$$

где N_0 – число нераспавшихся ядер в момент времени $t = t_0$ (то есть начальное число атомов);

N – текущее значение числа нераспавшихся ядер.

Этот закон называется элементарным законом радиоактивного распада. Из него можно получить формулу для периода полураспада:

$$T_{0.5} = ln2/\lambda = 0{,}693/\lambda. \tag{5.2}$$

Число радиоактивных распадов в образце за одну секунду называют *активностью радиоактивного препарата*. Чаще всего активность обозначают буквой A, тогда по определению:

$$A = - dN/dt, \tag{5.3}$$

где знак «-» означает убывание N во времени.

Единица активности в системе СИ — Беккерель (Бк): 1 Бк = 1 распад/l с. Часто на практике используется внесистемная единица — Кюри (Ки), 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Можно показать, что активность уменьшается во времени также по экспоненциальному закону:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}. \tag{5.4}$$

5.5. Элементарные частицы

Сначала, особенно когда число известных элементарных частиц ограничивалось *электроном, нейтроном и протоном*, господствовала точка зрения, что атом состоит из этих элементарных «кирпичиков». А дальнейшая задача в исследовании структуры вещества заключается в том, чтобы разыскивать новые, еще не известные «кирпичики», из которых состоит атом, и в определении того, не являются ли эти «кирпичики» (или некоторые из них) сами сложными частицами, построенными из еще более тонких «кирпичиков».

Эксперименты, проведенные в 1968 г. на Стэнфордском линейном ускорителе и использовавшие возросшую мощь технологий для изучения глубин микромира, продемонстрировали, что ни *протоны*, ни *нейтроны* не являются фундаментальными. Эти эксперименты показали, что они состоят из частиц меньшего размера, названных *кварками*. Экспериментаторы установили, что сами кварки делятся на два типа, которые несколько менее изысканно были названы *u*-кварками и *d*-кварками. Протон состоит из двух *u*-кварков и одного *d*-кварка, а нейтрон — из двух *d*-кварков и одного *u*-кварка. Позднее были открыты еще 4 вида кварка.

Все, что мы видим на Земле и в небесах, по-видимому, состоит из комбинаций электронов, *u*-кварков и *d*-кварков. Не существует экспериментальных данных, указывающих на то, что какая-либо из этих трех частиц состоит из элементов меньшего размера. Однако имеется масса данных, свидетельствующих о том, что Вселенная содержит дополнительные компоненты. В середине 1950-х гг. Фредерик Райнес и Клайд Коуэн получили решающее экспериментальное доказательство существования четвертого типа фундаментальных частиц, названных *нейтрино*. Существование этих частиц было предсказано в начале 1930-х гг. Вольфгангом Паули. Нейтрино оказалось очень трудно обнаружить: это частица-призрак, которая чрезвычайно редко взаимодействует с другими видами материи. Нейтрино средней по величине энергии легко проникает сквозь многие триллионы миль свинца, которые не оказывают ни малейшего влияния на его движение. Масса покоя нейтрино равна нулю.

В конце 1930-х гг. физики, исследующие космические лучи (потоки частиц, которые бомбардируют Землю из космоса), открыли еще одну частицу, названную мюоном. Эта частица идентична электрону, за исключением того, что она примерно в 200 раз тяжелее. Поскольку в мироздании не было ничего — ни нерешенных загадок, ни пустующих ниш, — что требовало бы существования мюона, нобелевский лауреат, специалист по физике элементарных

частиц Исидор Исаак Раби приветствовал открытие мюона не слишком радостной фразой: *«Ну, и кто это заказывал?»* Тем не менее, мюон существовал. За ним последовали многие другие частицы.

Используя все более мощную технику, физики продолжали сталкивать крошечные частицы материи все более высокой энергии. При этом в течение коротких промежутков времени воссоздавались условия, не существовавшие со времен Большого взрыва. Среди образовавшихся осколков ученые искали новые фундаментальные частицы, чтобы добавить их к растущему списку элементарных частиц. Вот что они обнаружили: еще четыре кварка — *c, s, b* и *t*, еще одного, даже более тяжелого, родственника электрона, названного тау-лептоном, а также еще две частицы, свойства которых схожи со свойствами нейтрино (они получили название мюонного нейтрино и тау-нейтрино, чтобы отличить их от первого нейтрино, которое стало называться электронным нейтрино). Эти частицы образуются в соударениях при высокой энергии, они существуют только в течение коротких промежутков времени и не входят в состав обычной материи. Но и это еще не конец истории. Каждая из этих частиц имеет соответствующую ей античастицу, обладающую такой же массой, но являющейся противоположной в некоторых других отношениях, например, противоположной по электрическому заряду (или зарядам других видов взаимодействий, обсуждаемых ниже). Например, античастица электрона называется позитроном, она имеет такую же массу, но ее электрический заряд равен *+1*, тогда как у электрона он составляет *-1*. (Подразумевается, что заряды частиц выражены в единицах элементарного заряда $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.). При контакте вещество и антивещество взаимно уничтожаются, превращаясь в чистую энергию — вот почему антивещество, образовавшееся естественным образом, крайне редко встречается в окружающем нас мире.

Физики подметили закономерность в свойствах этих частиц (см. табл. 5.1). Частицы материи четко разделяются на три группы, которые часто называют семействами. Каждое семейство состоит из двух кварков, электрона или одного из его родственников, и одного из типов нейтрино. Свойства соответствующих частиц в трех семействах идентичны за исключением массы, которая последовательно увеличивается в каждом следующем семействе. В настоящее время физики исследуют структуру вещества в масштабах порядка одной миллиардной от одной миллиардной доли метра (10^{-18} м); при этом показано, что все вещество, найденное по сей день — естественное или полученное искусственно при помощи гигантских устройств для столкнове-

ния атомов — состоит из комбинаций частиц, входящих в эти семейства, и соответствующих им античастиц.

Взгляд на табл. 5.1, несомненно, вызовет у вас еще большее изумление, чем то, которое испытал Раби при открытии мюона. Разделение на семейства, по крайней мере, вносит какую-то видимость порядка, но при этом возникают многочисленные «почему». Почему требуется так много фундаментальных частиц, особенно если вспомнить, что для подавляющего большинства окружающих нас тел требуются только электроны, *u*-кварки и *d*-кварки? Почему семейств три? Почему не одно семейство, или не четыре, или не какое-нибудь другое число? Почему наблюдается такой, на первый взгляд совершенно случайный, разброс значений масс частиц, например, почему масса тау-частицы в 3520 раз больше массы электрона? Почему масса t-кварка в 40200 раз больше массы u-кварка? Все эти числа выглядят странно, они кажутся случайными. Являются ли они игрой случая, связаны ли они с каким-то божественным выбором, или эти фундаментальные свойства Вселенной.

Таблица 5.1

Три семейства фундаментальных частиц и массы частиц (в долях массы протона). Значения масс нейтрино до сих пор не удалось определить экспериментально.

Семейство 1		Семейство 2		Семейство 3	
Частица	Масса	Частица	Масса	Частица	Масса
Электрон	0,00054	Мюон	0,11	Тау	1,9
Электронное нейтрино	$< 10^{-8}$	Мюонное нейтрино	< 0,0003	Тау-нейтрино	< 0,033
u-кварк	0,0047	*c*-кварк	1,6	*t*-кварк	189,0
d-кварк	0,0074	*s*-кварк	0,16	*b*-кварк	5,2

5.6. Стандартная модель. Вещество и поле

Вещество. Физика до недавнего времени изучала материю в двух ее проявлениях — *веществе и поле. Причем частицы вещества и кванты полей подчиняются разным квантовым статистикам и ведут себя различным образом. Так, частицы вещества являются* ***ферми-частицами*** *(фермионами). Системы тождественных ферми-частиц подчиняются статистике Ферми-Дирака. Все фермионы имеют полуцелое значение некоторой очень важной квантовой характеристики элементарной частицы (не менее важной, чем заряд или масса), называемой спином. А для частиц с полуцелым значением спина справедлив принцип запрета Паули, согласно которому две тождественные частицы с полуцелым спином не могут находиться в одном и том же*

состоянии. Принцип Паули определяет образование электронных оболочек, в атомах, поскольку в одном и том же состоянии на одном подуровне могут находиться только два электрона с противоположными спинами, что определяет закономерности периодической системы элементов Менделеева.

Стандартной моделью сегодня принято называть теорию, наилучшим образом отражающую наши представления об исходном материале, из которого изначально построена Вселенная. Она же описывает, как именно материя образуется из этих базовых компонентов, и силы и механизмы взаимодействия между ними.

Частицы вещества делятся на две группы — кварки и лептоны. Кварки и лептоны входят в состав других физических объектов и считаются при достигнутых на сегодняшний день энергиях «бесструктурными» или истинно фундаментальными частицами.

Из кварков состоят андроны, которые объединяют барионы (*барионы* - от греч. *barys* — тяжелый), в состав которых входят нуклоны (протоны, нейтроны) и нестабильные частицы с массами, большими массы нейтрона, гипероны, многие из резонансов, принимающие участие в сильном взаимодействии, и мезоны (м*езоны* — сильно взаимодействующие нестабильные частицы).

Кварки имеют весьма необычные свойства: обладают дробными электрическими зарядами, что не характерно для других микрочастиц, и не могут существовать в свободном, не связанном виде.

Другой строительный набор состоит из кирпичиков, называемых *лептонами* (от греч. *leptos* — легкий). Самый распространенный из лептонов — давно нам знакомый электрон, входящий в структуру атомов, но не участвующий в ядерных взаимодействиях, ограничиваясь межатомными. Помимо него (и парной ему античастицы под названием позитрон) к лептонам относятся более тяжелые частицы — мюон и тау-лептон с их античастицами. Кроме того, каждому лептону сопоставлена своя незаряженная частица с нулевой (или практически нулевой) массой покоя; такие частицы называются, соответственно, электронное, мюонное или таонное нейтрино.

Итак, лептоны, подобно кваркам, также образуют три «семейных пары». Такая симметрия не ускользнула от наблюдательных глаз теоретиков, однако объяснения ей до сих пор не предложено. Как бы то ни было, кварки и лептоны представляют собой основной строительный материал Вселенной.

Есть подозрения, что и кварки могут оказаться не вполне элементарными. До каких же пор ученые будут разбирать эту «матрешку» природы? На

это никто пока не может дать ответа. Проблема установления полного набора истинно элементарных частиц во Вселенной – одна из наиболее принципиальных нерешенных в современной науке (в физике элементарных частиц она называется ***проблемой «спектра масс»***).

Поле. Согласно общепринятой концепции – *концепция близкодействия* – взаимодействие между телами осуществляется посредством тех или иных полей, непрерывно распределенных в пространстве. Взаимодействие тел передается не мгновенно, а через некоторый промежуток времени. Скорость передачи взаимодействия ограничена скоростью света в вакууме. В течение последнего столетия физики накопили огромное количество доказательств того, что все взаимодействия между различными телами, а также миллионы других происходящих ежедневно взаимодействий могут быть сведены к сочетаниям четырех основных типов. На микроскопическом уровне каждому взаимодействию соответствует *частица*, которая может рассматриваться как наименьший сгусток этого взаимодействия или как переносчик.

Сильное взаимодействие (короткодействующее, радиус действия около 10^{-13} см) связывает между собой нуклоны (протоны и нейтроны) в ядре; именно по этой причине ядра атомов являются весьма устойчивыми, их трудно разрушить (именно оно удерживает кварки внутри частиц). Переносчики (кванты) сильного взаимодействия – глюоны. Глюоны могут рассматриваться как микроскопические компоненты прочного клея, удерживающего вместе составляющие атомное ядро частицы.

Электромагнитное взаимодействие (дальнодействующее, радиус действия не ограничен) определяет взаимодействие между электронами и ядрами атомов или молекул; взаимодействующие частицы имеют электрические заряды; проявляется в химических связях, силах упругости, трения. Переносчики (кванты) эл.м.взаимодействия – фотоны.

Слабое взаимодействие (короткодействующее, радиус действия меньше 10^{-15} см), в котором участвуют все элементарные частицы, ответственны за большинство радиоактивных распадов и превращений элементарных частиц. Переносчики (кванты) слабого взаимодействия – бозоны.

Гравитационное взаимодействие — самое слабое, не учитывается в теории элементарных частиц; распространяется на все виды материи; имеет решающее значение, когда речь идет об очень больших массах. Переносчики (кванты) гравитационного взаимодействия – гравитоны.

К 1984 г. экспериментаторы смогли подтвердить существование и детально изучить свойства трех типов частиц, отвечающих за различные виды

взаимодействия. Физики считают, что с гравитационным взаимодействием также связана частица – *гравитон,* однако ее существование пока не получило экспериментального подтверждения.

Все кванты полей являются ***бозе-частицами*** *(бозонами) – частицами с целочисленным значением спина. Системы тождественных бозе-частиц подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна. Принцип Паули для них несправедлив: в одном и том же состоянии может находиться любое число частиц.* Так что бозе- и ферми-частицы рассматриваются как частицы, имеющие различную природу.

Кванты полей – это фотоны, гравитоны, бозоны и глюоны.

Несмотря на наличие общих свойств, исследование фундаментальных взаимодействий привело только к появлению новых вопросов. Почему, например, существуют *четыре* фундаментальных взаимодействия? Почему не пять или три, или, может быть, одно? Почему эти взаимодействия имеют столь различные свойства? Почему сильное и слабое взаимодействия работают только в микроскопическом масштабе, тогда как гравитационные и электромагнитные силы имеют неограниченную область влияния? И с чем связано такое огромное различие в интенсивности этих взаимодействий?

Как наглядно представить себе процесс взаимодействия посредством квантов электромагнитного поля. Допустим, вы стоите в лодке, ваш приятель тоже стоит в другой лодке. Вам надо сдвинуться так, чтобы в лодке ничего не изменилось. Нельзя касаться другой лодки и своего приятеля, нельзя просто выкинуть что-либо из лодки. Проще всего прийти в движение, перекинувшись с приятелем какими-то одинаковыми вещами, например, веслами. Вы как бы оттолкнетесь друг от друга, не касаясь и ничего не выкидывая из лодок. Точно также и тела, обмениваются одинаковыми квантами, ничего не теряя, и таким образом взаимодействуют друг с другом.

Например, взаимное отталкивание двух электронов можно проиллюстрировать на примере двух фигуристов, один из которых бросает другому тяжелый шар и при этом испытывает отдачу. Второй фигурист ловит шар и также испытывает отдачу. В результате оба фигуриста откатываются друг от друга. Притяжение электрона и позитрона можно проиллюстрировать теми же фигуристами, но они уже обмениваются бумерангами. Бумеранг бросается в противоположную сторону, облетает по кругу и ловится другим фигуристом. Отдача, которую испытывают оба фигуриста, приводит к их сближению.

Другой пример. Представьте себе двух лодочников, гребущих на встречных курсах по реке. Один гребец от щедрости душевной решил угостить коллегу шампанским и, когда они проплывали друг мимо друга, кинул ему полную бутылку шампанского. В результате действия закона сохранения импульса, когда первый гребец кинул бутылку, курс его лодки отклонился от прямолинейного в противоположную сторону, а когда второй гребец поймал бутылку, ее импульс передался ему, и вторая лодка также отклонилась от прямолинейного курса, но уже в противоположную сторону. Таким образом, в результате обме-

на шампанским обе лодки изменили направление. Согласно законам механики Ньютона это означает, что между лодками произошло силовое взаимодействие. Но ведь лодки не вступали между собой в прямое соприкосновение? Здесь сила взаимодействия между лодками была передана носителем импульса — бутылкой шампанского. Физики назвали бы ее переносчиком взаимодействия.

В точности так же и силовые взаимодействия между частицами происходят посредством обмена частицами-переносчиками этих взаимодействий. Фактически, различие между фундаментальными силами взаимодействия между частицами мы и проводим лишь постольку, поскольку в роли переносчиков этих взаимодействий выступают разные частицы.

В рамках **Стандартной модели** первые три типа фундаментальных взаимодействий удалось объединить, и они более не рассматриваются по отдельности, а считаются тремя различными проявлениями силы единой природы. Возвращаясь к аналогии, предположим, что другая пара гребцов, проплывая друг мимо друга по реке, обменялась не бутылкой шампанского, а всего лишь стаканчиком мороженого. От этого лодки также отклонятся от курса в противоположные стороны, но значительно слабее. Стороннему наблюдателю может показаться, что в этих двух случаях между лодками действовали разные силы: в первом случае произошел обмен жидкостью (бутылку я предлагаю во внимание не принимать), а во втором — твердым телом (мороженым). А теперь представьте, что в тот день стояла редкостная летняя жара, и мороженое в полете растаяло. То есть, достаточно некоторого повышения температуры, чтобы понять, что, фактически, взаимодействие не зависит от того, жидкое или твердое тело выступает в роли его переносчика. Единственная причина, по которой нам представлялось, что между лодками действуют различные силы, состояла во внешнем отличии переносчика-мороженого, вызванном недостаточной для его плавления температурой. Поднимите температуру — и силы взаимодействия предстанут наглядно едиными.

Силы, действующие во Вселенной, также сплавляются воедино при *высоких энергиях* (температурах) взаимодействия, после чего различить их невозможно. Первыми объединяются (именно так это принято называть) слабое ядерное и электромагнитное взаимодействия. В результате мы получаем так называемое электрослабое взаимодействие, наблюдаемое даже лабораторно при энергиях, развиваемых современными ускорителями элементарных частиц. В ранней Вселенной энергии были столь высоки, что в первые 10^{-10} секунды после Большого взрыва не было грани между слабыми ядерными и электромагнитными силами. Лишь после того, как средняя температура Вселенной понизилась до 10^{14} К, все четыре наблюдаемые сегодня силовые взаимодействия разделились и приняли современный вид. Пока температура была выше этой отметки, действовали лишь три фундаментальные силы: сильного, объединенного электрослабого и гравитационного взаимодействий.

Объединение электрослабого и сильного ядерного взаимодействия происходит при температурах порядка 10^{27} К. В лабораторных условиях такие энергии сегодня недостижимы. Таких энергий нет и в современной Вселенной, однако в первые 10^{-35} с ее существования температура Вселенной была выше 10^{27} К, и во Вселенной действовало всего две силы — электросильного и гравитационного взаимодействия. Теории, описывающие эти

процессы, называют «теориями Великого объединения» (ТВО). Напрямую проверить ТВО нельзя, но они дают определенные прогнозы и относительно процессов, протекающих при более низких энергиях. На сегодняшний день все предсказания ТВО для относительно низких температур и энергий подтверждаются экспериментально.

Итак, Стандартная модель, в обобщенном виде, представляет собой теорию строения Вселенной, в которой материя состоит из кварков и лептонов, а сильные, электромагнитные и слабые взаимодействия между ними описываются теориями великого объединения. Такая модель, очевидно, не полна, поскольку не включает гравитацию. Предположительно, более полная теория со временем все-таки будет разработана (Универсальная модель), а на сегодня Стандартная модель — это лучшее из того, что мы имеем.

Одно из самых загадочных свойств четырех фундаментальных взаимодействий природы состоит в огромных различиях интенсивности этих взаимодействий. Интенсивность электромагнитных сил не превышает одного процента от интенсивности сильного взаимодействия. Слабое взаимодействие примерно в тысячу раз слабее электромагнитного, а интенсивность гравитационных сил слабее еще в 10^{-35} раз.

Вещество и поле – фундаментальные физические понятия, обозначающие два основных вида материи на макроскопическом уровне:

вещество – совокупность дискретных образований, обладающих массой покоя (атомы, молекулы и то, что из них построено);

поле – вид материи, характеризующейся непрерывностью и имеющей нулевую массу покоя (электромагнитное поле и поле тяготения – гравитационное). Открытие поля как вида материи имело огромное философское значение, т. к. обнаружило несостоятельность метафизического отождествления материи с веществом.

На субатомном уровне (т. е. на уровне элементарных частиц) различие вещества и поля становится относительным. Поле (электромагнитное и гравитационное) утрачивают чисто непрерывный характер: им необходимо соответствуют дискретные образования – кванты (фотоны и гравитоны). А элементарные частицы, из которых состоит вещество – протоны, нейтроны, электроны, мезоны и т. д. – выступают как кванты соответствующих нуклонных, мезонных и др. полей и утрачивают свой чисто дискретный характер. Неправомерно на субатомном уровне различать вещество и поле и по наличию или отсутствию массы покоя, т. к. нуклонные, мезонные и т. д. поля обладают массой покоя. В современной физике поля и частицы выступают как две неразрывно связанные стороны микромира, как выражение единства корпускулярных (дискретных) и волновых (континуальных, непрерывных) свойств микрообъектов. Представления о поле выступают также как основа

для объяснения процессов взаимодействия, воплощая принцип близкодействия.

Основные характеристики вещества и поля

1. Вещество и поле различаются по массе покоя. Частицы вещества обладают массой покоя, электромагнитное и гравитационное поля – нет. Однако в микромире каждому полю сопоставляется частица (квант этого поля) и каждая частица рассматривается как квант соответствующего поля. Для ядерных полей (мезонного, нуклонного и т.д.) это различие уже неверно – кванты этих полей обладают конечной массой покоя.

2. Вещество и поле различаются по закономерностям движения. Скорость распространения электромагнитного и гравитационного полей всегда равна скорости света в пустоте (c), а скорость движения частиц вещества всегда меньше c. Однако наличие ядерных полей ликвидирует и эту границу. Для квантов этих полей как раз характерна невозможность движения со скоростью, равной c.

3. Вещество и поле различаются по степени проницаемости. Вещество мало проницаемо, электромагнитное и гравитационное поля – наоборот. На уровне микромира и эта граница исчезнет. Для таких частиц, как нейтрино, вещество оказывается весьма проницаемым, с другой стороны, ядерные поля могут обладать очень малой проницаемостью.

4. Вещество и поле различаются по степени концентрации массы и энергии. Очень большая – у частиц вещества и очень малая – у электромагнитного и гравитационного полей. В микромире и это различие стирается. Ядерные поля обладают огромной концентрацией массы и энергии, и даже кванты электромагнитного поля могут достигать концентраций энергии, значительно превосходящих таковую у частиц вещества.

5. *Вещество и поле различаются как корпускулярная и волновая сущности.* Это различие исчезает на уровне микропроцессов. Частицы вещества обладают волновыми свойствами, а непрерывное в макроскопических процессах электромагнитное поле обнаруживает на уровне микромира свой корпускулярный аспект.

Общий вывод: различия вещества и поля верно характеризует реальный мир в макроскопическом приближении. Это различие не является абсолютным и при переходе к микрообъектам ярко обнаруживается его относительность. В микромире понятия «частицы» (вещество) и «волны» (поля) выступают как дополнительные характеристики, выражающие внутренне противоречивую сущность микрообъектов.

Вселенная такая, какая она есть, потому, что вещество и частицы, отвечающие за фундаментальные взаимодействия, имеют те свойства, которые они имеют. Но существует ли научное объяснение тому, почему они имеют именно такие свойства?

В настоящую эпоху эволюции Вселенной константы связи различных взаимодействий соотносятся следующим образом:

$$a^2_s : a^2_E : a^2_w : a^2_G = 1 : 7{,}3 \cdot 10^{-3} : 10^{-5} : 10^{-39}, \qquad (5.5)$$

где a_s – константа связи сильного взаимодействия;

a_E – константа связи электромагнитного взаимодействия;

a_w – константа связи слабого взаимодействия;

a_G – константа связи гравитационного взаимодействия.

Современные физики считают, что такое соотношение существовало не всегда. Иными словами, рассматриваемые постоянные не являются постоянными. И существовала эпоха в эволюции Вселенной, когда эти константы были равны. А это означает, что не существовало различий между четырьмя типами физических взаимодействий. Именно это обстоятельство и стимулирует физиков в построении единой теории всех физических взаимодействий – единой теории поля. Однако для того чтобы понять те физические идеи, на которых базируется построение этой теории, следует сказать, что в действительности физика рассматривает материю не в двух проявлениях – веществе и поле, как это отмечается во многих физических справочниках, словарях и энциклопедиях, а в трех проявлениях. *Третьим качественно отличным от вышеназванных двух форм материи является* **физический вакуум**.

Именно физический вакуум является прародителем всех частиц вещества и квантов полей, резервуаром, перекачка энергии из которого обеспечила их возникновение и функционирование. Способность вакуума в ходе эволюции Вселенной изменять свое состояние и привела к многообразию форм физического мира.

5.7. Модель вакуума П. Дирака. Рождение вещества

Чтобы понять роль и место вакуума в сложившейся картине мира, попытаемся оценить, как соотносятся в нашем мире материя вакуума и вещество.

Вселенная огромна. С другой стороны, атом, входящий в состав твердого тела, во много раз меньше любого известного нам предмета, но во много раз больше ярда, находящегося в центре атома. В ядре сконцентрировано почти все вещество атома. Если увеличить атом так, чтобы ядро стало иметь

размеры макового зернышка, то размеры атома возрастут до нескольких десятков метров. На расстоянии десятков метров от ядра будут находиться многократно увеличенные электроны, которые все равно трудно разглядеть глазом вследствие их малости. А между электронами и ядром останется огромное пространство, не заполненное веществом. Но это не пустое пространство, а особый вид материи, которую физики назвали физическим вакуумом.

(Часто атом сравнивают с Солнечной системой. Это не случайно: размер ядра атома 10^{-13} см (1 ферми), диаметр атома 10^{-8} см, масса электрона $9{,}11 \cdot 10^{-28}$ г, масса протона $1{,}66 \cdot 10^{-24}$ г, плотность ядра 10^{11} кг/см^3).

Оказывается, что даже внутри твердого и массивного предмета вакуум занимает неизмеримо большее пространство, чем вещество. Таким образом, мы приходим к выводу, что вещество является редчайшим исключением в огромном пространстве, заполненном субстанцией вакуума.

Современная квантовая модель вакуума получила образное название «море Дирака». П. Дирак получил уравнение, из которого следовало, что наряду с частицами должны существовать и их *античастицы*, отличающиеся от частиц только знаком заряда. Например, для электрона e^- античастицей является так называемый *позитрон* e^+, масса которого равна массе электрона, но заряд положительный.

На основе своего уравнения П. Дирак предположил, что вакуум на самом деле вовсе не является пустым, а плотно заполнен частицами, обладающими *отрицательными энергиями – виртуальные частицы*, существование которых нами никак не регистрируется, то есть из просто пустоты вакуум превращался в добрую половину (а то и более того) всего сущего. В 1932 г. позитроны были обнаружены К. Андерсеном в *космических лучах*, что явилось блестящим подтверждением теории Дирака. Впоследствии выяснилось, что практически все элементарные частицы, даже не имеющие электрического заряда, имеют своих «зеркальных двойников» – античастицы, способные аннигилировать с ними, при этом выделяется энергия, эквивалентная сумме масс электрона и позитрона.

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: $\Delta E \cdot \Delta t > h$. 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 возвра-

щении «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.

Физический вакуум – пространство, не содержащее реальных частиц и энергии, поддающейся непосредственному измерению. Согласно современным физическим представлениям, это наиболее низкое энергетическое состояние любых квантованных полей, характеризующееся отсутствием реальных частиц. Возможность виртуальных процессов в физическом вакууме приводит к ряду эффектов взаимодействия реальных частиц с вакуумом, регистрируемых экспериментально. *Физический вакуум представляет собой множество всевозможных виртуальных частиц и античастиц, которые в отсутствии внешних полей не могут превратиться в реальные*. По современным представлениям в вакууме непрерывно образуются и исчезают пары частиц–античастиц: электрон–позитрон, нуклон–антинуклон…. Однако при определенных обстоятельствах виртуальные частицы становятся реальными. Например, если с помощью внешнего электромагнитного поля (рис. 5.2) «растащить» только что народившуюся пару виртуальных частиц, то в реальном мире мы зафиксируем рождение двух совершенно новых частиц. Столкновения частиц высоких энергий или сильные поля рождают из вакуума снопы различных частиц и античастиц. Т.е. вакуум может быть представлен, как особый, *виртуальный тип среды*.

Именно так, по-видимому, из ничего нарождалось вещество в первые мгновения жизни Вселенной.

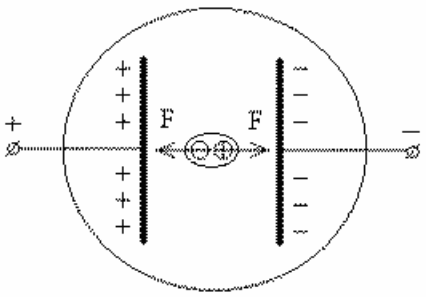

Рис. 5.2. Рождение электрон-позитронной пары в вакуумном конденсаторе

5.8. Теория струн (теория единого поля)

На роль универсальной объединяющей все виды взаимодействия претендует теория струн. Теория струн утверждает, что если бы мы могли исследовать точечные частицы, существование которых предполагает стандартная модель, с точностью, выходящей далеко за пределы наших совре-

менных возможностей, мы бы увидели, что каждая из этих частиц представляет собой крошечную колеблющуюся струну, имеющую форму петли. Теория струн способна объяснить все свойства микромира.

Длина типичной петли, образованной струной, близка к планковской длине, которая примерно в сто миллиардов миллиардов раз (10^{-20}) меньше размера атомного ядра (10^{-13} см). Неудивительно, что современные эксперименты не могут подтвердить струнную природу материи: размеры струн бесконечно малы даже в масштабе субатомных частиц.

Струны считаются фундаментальными объектами — они представляют собой «атомы», неделимые компоненты в самом истинном смысле этого понятия, предложенного древними греками. Как наименьшие составные части материи, они представляют собой конец пути — последнюю матрешку — в многочисленных слоях, образующих структуру микромира.

Основное утверждение теории струн таково. Точно так же, как различные моды резонансных колебаний скрипичных струн рождают различные музыкальные ноты, *различные моды колебаний фундаментальных струн порождают различные массы и константы взаимодействия*. Свойства элементарных «частиц» — их массы и константы различных взаимодействий — в точности определяются резонансными модами колебаний, реализуемыми внутренними струнами этих частиц. Таким образом, согласно теории струн наблюдаемые характеристики всех элементарных частиц определяются конкретной модой резонансного колебания внутренних струн.

Согласно специальной теории относительности энергия и масса представляют собой две стороны одной медали: чем больше энергия, тем больше масса и наоборот. Таким образом, в соответствии с теорией струн, масса элементарной частицы определяется энергией колебания внутренней струны этой частицы. Внутренние струны более тяжелых частиц совершают более интенсивные колебания, струны легких частиц – менее интенсивные.

Этот взгляд радикально отличается от точки зрения, которой придерживались физики до теории струн, когда считалось, что различия между фундаментальными частицами обусловлены тем, что они «отрезаны от разных кусков ткани». Хотя частицы считались элементарными, предполагалось, что они состоят из различного «материала». Так, например, «материал» электрона имел отрицательный электрический заряд, а «материал» нейтрино был электрически нейтральными. Теория струн радикально изменила эту картину, объявив, что «материал» всего вещества и всех взаимодействий является одним и тем же. Каждая элементарная частица состоит из отдельной струны,

— точнее, каждая частица представляет собой отдельную струну — и все струны являются абсолютно идентичными. Различия между частицами обусловлены различными модами резонансных колебаний этих струн. То, что представлялось различными частицами, на самом деле является различными «нотами», исполняемыми на фундаментальной струне, одна из мод колебания струн представляет собой гравитон.

Теория струн для своей непротиворечивости требует многомерной Вселенной, точнее 10 пространственных измерений и одно временное. Согласно теории Оскара Клейна, выдвинутой еще в 1926 г., наша Вселенная может содержать как протяженные, так и свернутые измерения. Но свернутые измерения туго скручены в ничтожно малых объемах, поэтому экспериментально не могут быть обнаружены.

Если теория струн верна, то некоторые из колебаний струн будут соответствовать известным частицам. Парность, связанная с суперсимметрией, позволяет теории струн сделать предсказание, что у каждой известной частицы имеется *суперпартнер*. Предсказание существования суперпартнеров является общей особенностью теории струн.

До настоящего времени никому не удавалось наблюдать суперпартнеров элементарных частиц. Это может означать, что они не существуют, и теория струн неверна. Однако по мнению многих специалистов по физике элементарных частиц это связано с тем, что суперпартнеры являются очень тяжелыми и поэтому не могут быть обнаружены на тех экспериментальных установках, которыми мы располагаем сегодня. В настоящее время физики сооружают гигантский ускоритель вблизи г. Женева в Швейцарии, получивший название Большого адронного коллайдера. Есть надежда, что мощность этой установки будет достаточна для открытия частиц-суперпартнеров. Ускоритель должен вступить в действие к 2010 г., и вскоре после этого суперсимметрия может получить экспериментальное подтверждение. Обнаружение частиц-суперпартнеров может свидетельствовать в пользу данной теории. Но так как экспериментально обнаружить струны в ближайшем обозримом будущем не представляется возможным из-за их ничтожных размеров, то эта теория носит несколько философский характер.

Теория струн обещает предоставить в наше распоряжение единое, всеобъемлющее, унифицированное описание физического мира — универсальную теорию мироздания.

ГЛАВА 6. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

6.1. Развитие представлений о Вселенной

В XVIII-XIX веках и даже в первой половине XX века в астрономии господствовал взгляд на Вселенную как на нечто статическое, не изменяющееся.

Современная космология начала складываться в 20-е годы XX века на основе созданной Эйнштейном *общей теории относительности.* Из этой теории следует так называемая кривизна пространства и связь кривизны с плотностью массы (энергии). Космология, основанная на этих постулатах, — релятивистская. Еще в 1922 году советский математик и геофизик А.А.Фридман нашел решение уравнений общей теории относительности для замкнутой Вселенной. Он установил, что Вселенная не может быть стационарной: она должно или расширяться, или сжиматься.

Существует два различных типа моделей Фридмана:

- если средняя плотность материи во Вселенной меньше некоторой критической величины или равна ей, то тогда Вселенная должна расширяться;

- если плотность материи во Вселенной больше той же критической величины, тогда гравитационное поле, порожденное материей, искривляет Вселенную, замыкая ее на себя. Вселенная в этом случае конечна, хотя и не ограничена, вроде поверхности сферы. Гравитационные поля достаточно сильны для того, чтобы в конце концов остановить расширение Вселенной, так что рано или поздно она начнет снова сжиматься к состоянию бесконечно большой плотности.

Уравнения Фридмана теоретически обосновали нестационарность Вселенной. На этот вывод ученые не обращали внимание вплоть до открытия американским астрономом Эдвином Хабблом (1889-1953) в 1929 году так называемого «красного смещения». Дело в том, что еще в XIX веке австрийский физик и астроном Кристиан Доплер обнаружил, что если источник света приближается, спектральные линии смещаются в сторону более коротких волн, если удаляется — в сторону более длинных (красных) волн. Это явление было названо эффектом Доплера. Э. Хаббл открыл «красное смещение» для всех далеких галактик, причем установил, что далекие галактики (скопления звезд) удаляются от нас со скоростями, пропорциональными расстояниям до них $v = H \cdot L$, где H – постоянная Хаббла. Тем самым теоретически построенные Фридманом модели нестационарной Вселенной были обоснованы результатами наблюдений. Совмещение этого факта с теорией Эйнштейна привело к выводу, что Вселенная представляет собой расширяющую-

ся четырехмерную сферу. Так, например, если надувать воздушный шар, то все расстояния между точками на его поверхности будут увеличиваться, и чем больше расстояние между двумя точками, тем быстрее они удаляются друг от друга в полном соответствии с законом Хаббла.

Основываясь на теории расширяющейся Вселенной, оказалось возможным проследить развитие Вселенной в «обратную сторону», т. е. попробовать вернуться возможно дальше назад. Расчеты показывают, что около 13 млрд. лет назад все галактики находились в одной точке (точке *сингулярности*), из которой началось расширение Вселенной, получившее название *Большого взрыва*.

В 1965 году американские ученые-астрономы А. Пензиас и Р. Вилсон с помощью радиотелескопа установили, что во Вселенной имеется так называемое фоновое радиоизлучение, названное советским ученым И.С. Шкловским реликтовым. *Реликтовое радиоизлучение* образовалось на раннем этапе существования Вселенной. Два экспериментально установленных положения — расширение Вселенной и реликтовое излучение — являются убедительными доводами в пользу так называемой теории Большого взрыва, ставшей теперь общепризнанной.

Таким образом, современное представление о Вселенной базируется на представлении о нестационарной, конечной в пространстве и во времени Вселенной. С этой точки зрения объясняется и *фотометрический парадокс*, который говорил, что если количество звезд во Вселенной и время жизни Вселенной бесконечны, то ночное небо должно быть заполнено звездами и ярко светиться.

Современные космологические модели очень сложны и подчас внутренне противоречивы. К примеру, применяются ко Вселенной уравнения ОТО, хотя ОТО это локальная теория, и ее использование в масштабе Вселенной, мягко скажем, приводит к некоторого рода затруднениям.

6.2. Вселенная. Основные этапы ее эволюции

Вселенная — фундаментальное понятие астрономии, строго не определяемое. Включает в себя весь окружающий мир. На практике под Вселенной часто понимают часть материального мира, доступную изучению естественнонаучными методами. Под возрастом Вселенной подразумевается время с начала её расширения.

Большинство астрономов утверждают, что смогли с относительной точностью установить «возраст» Вселенной, который по последним данным со-

ставляет 13,73 ± 0,12 миллиардов лет. Единой точки зрения, является ли Вселенная действительно бесконечной или конечной в пространстве и объёме, не существует. Тем не менее, наблюдаемая Вселенная конечна, поскольку конечна скорость света. Границей космического светового горизонта является расстояние 24 Гигапарсека. Действительное расстояние до границы наблюдаемой Вселенной больше благодаря всё увеличивающейся скорости расширения Вселенной и оценивается в 93 миллиарда световых лет. (1 световой год ≈ 10^{13} км, в астрономии также для измерения расстояний используется 1 парсек = 3,3 световых года, астрономическая единица (а.е.) равная расстоянию от Земли до Солнца – 150 млн. км).

То, что мы можем увидеть называют «известной» или «наблюдаемой» Вселенной. Значительные части Вселенной увидеть невозможно, что находится там можно только предполагать. Если посмотреть на ту часть Вселенной, которая находится в пределах видимости современных телескопов, и проанализировать среднюю плотность распределения вещества в космических масштабах, окажется, что она одинакова во всех направлениях с точностью до 10^{-5}. Сейчас все согласны, что любая модель Вселенной должна удовлетворять так называемому космологическому принципу. Согласно ему в больших пространственных масштабах во Вселенной нет выделенных областей и направлений. Следствием такого принципа является однородность и изотропность материи во Вселенной на больших масштабах.

В настоящее время большинство космологов полагают, что наблюдаемая Вселенная очень близка к пространственно плоской, с локальными складками, где массивные объекты искажают пространство-время.

Расчеты показывают, что 13,73 млр. лет назад материя нашей Вселенной была сконцентрирована в необычайно малом объеме, около 10^{-33} см^3, и имела огромную плотность – 10^{33} г/см^3 при температуре 10^{27} К (так называемая точка сингулярности). Полагают, что наблюдаемая сейчас Вселенная возникла благодаря Большому взрыву Вселенной из возбужденного состояния физического вакуума.

Сегодня наша Вселенная состоит из большого числа звезд, не говоря уж о скрытой массе. И может показаться, что полная энергия и масса Вселенной огромны. И совершенно непонятно, как это все могло поместиться в первоначальном объеме. Однако во Вселенной существует не только материя, но и гравитационное поле. Известно, что энергия последнего отрицательна и, как оказалось, в нашей Вселенной энергия гравитации в точности компенсирует энергию, заключенную в частицах, планетах, звездах и прочих массивных

объектах. Таким образом, закон сохранения энергии прекрасно выполняется, и суммарная энергия и масса нашей Вселенной практически равны нулю.

В настоящее время принята следующая периодизация развития Вселенной (табл. 6.1):

- самая ранняя эпоха, о которой существуют какие-либо теоретические предположения, это планковское время 10^{-43} с после Большого взрыва. Предполагается, что в это время выделилось *гравитационное взаимодействие*. По современным представлениям эта эпоха продолжалась до времени порядка 10^{-11} с после Большого взрыва;

- следующая эпоха характеризуется рождением *кварков и разделением видов взаимодействий*. Эта эпоха продолжалась до времён порядка 10^{-2} с после Большого взрыва. В настоящее время уже существуют возможности достаточно подробного физического описания процессов этого периода;

- современная эпоха началась через 0,01 секунды после Большого взрыва и продолжается до сих пор. В это время во Вселенной происходили термоядерные реакции, аналогичные реакциям, протекающим в центре Солнца или в термоядерной бомбе. В результате этих реакций часть протонов связалась с нейтронами и образовала легкие ядра — ядра гелия, дейтерия и лития. В этот период при температуре 3000 градусов произошло объединение электронов и протонов в атомы водорода, и Вселенная оказалась заполненной этим газом. Важной вехой в истории развития Вселенной в эту эпоху считается эра рекомбинации, когда материя расширяющейся Вселенной стала прозрачной для излучения. По современным представлениям это произошло через 300 000 лет после Большого взрыва. В настоящее время это излучение мы можем наблюдать в виде Реликтового фона, что является важнейшим экспериментальным подтверждением существующих моделей Вселенной. Реликтовое излучение также хранит в себе информацию о состоянии Вселенной в момент перехода плазма – газ.

Высокая однородность этого фонового излучения представляет собой свидетельство в пользу теорий так называемой "инфляции" ("раздувания") - то есть предполагается существование раннего периода в развитии Вселенной, когда ее расширение происходило по особым физическим законам. Во время инфляционного периода (10^{-33} секунды после Большого взрыва), в ходе экспоненциального расширения размеры Вселенной увеличились в 10^{50} раз. В этот период происходили своеобразные фазовые переходы, связанные с выделением разных типов взаимодействий, переходы материи из одного состояния в другое в масштабах Вселенной – явление, подобное превращению

воды в лед. И как при замерзании воды ее беспорядочно движущиеся молекулы вдруг «схватываются» и образуют строгую кристаллическую структуру, так под влиянием выделения отдельных взаимодействий произошла мгновенная перестройка, своеобразная «кристаллизация» вещества во Вселенной.

Таблица 6.1

Краткая история развития Вселенной

Время	**Температура**	**Состояние Вселенной**
10^{-45} - 10^{-37} сек	$> 10^{26}$K	Инфляционное расширение
10^{-6} сек	$> 10^{13}$K	Появление кварков и электронов
10^{-5} сек	10^{12}K	Образование протонов и нейтронов
10^{-4} сек - 3 мин	10^{11}-10^{9}K	Возникновение ядер дейтерия, гелия и лития
400 тыс. лет	4000 K	Образование атомов
15 млн. лет	300 K	Продолжение расширения газового облака
1 млрд. лет	20 K	Зарождение первых звезд и галактик
3 млрд. лет	10 K	Образование тяжелых ядер при взрывах звезд
10 - 15 млрд. лет	3 K	Появление планет и разумной жизни
10^{14} лет	10^{-2} K	Прекращение процесса рождения звезд
10^{37} лет	10^{-18} K	Истощение энергии всех звезд
10^{40} лет	10^{-20} K	Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц.
10^{100} лет	10^{-60}-10^{-40}K	Завершение испарения всех черных дыр

Оказалось, что в ходе экспоненциального расширения Вселенной маленькие квантовые флуктуации, существующие всегда, даже в пустом пространстве, из-за квантово-механического принципа неопределенности, растягивались до колоссальных размеров и превращались в галактики. Согласно инфляционной теории, галактики — это результат усиления квантовых флуктуаций, т. е. усиленный и замерзший квантовый шум.

Инфляционная теория дает нам единственное известное сейчас объяснение однородности наблюдаемой части Вселенной. Парадоксальным образом эта же теория предсказывает, что в предельно больших масштабах наша Вселенная абсолютно неоднородна.

6.3. Темная материя и темная энергия

Количество светящейся материи во Вселенной определяется по наблюдениям в видимом свете. Полное же количество материи, влияющей на движении звезд в галактиках и в галактических скоплениях оказывается намного больше видимой материи. Вне всяких сомнений во Вселенной имеется *некая*

несветящаяся материя, проявляющая себя в гравитационном взаимодействии. Эта **темная материя** распределена неравномерно, но присутствует везде: и в галактиках, и в межгалактическом пространстве. По современным данным темная материя составляет около 23% массы Вселенной и практически не излучает фотоны ни в каком диапазоне электромагнитного спектра, за что и называется «темной». Природа «скрытой массы» пока неизвестна. Вероятно, темная материя состоит из неизвестных современной науке элементарных частиц.

В настоящее время астрономические наблюдения свидетельствуют о том, что сегодня (и в недалеком прошлом) Вселенная расширяется с ускорением: темп расширения растет со временем. В этом смысле и можно говорить об антигравитации: обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик, а в нашей Вселенной, получается, всё наоборот.

Для объяснения этого факта признается существование «темной энергии». Темная энергия — гораздо более странная субстанция, чем темная материя. Начать с того, что она не собирается в сгустки, а равномерно «разлита» во Вселенной. В галактиках и скоплениях галактик её столько же, сколько вне их. Самое необычное то, что темная энергия в определенном смысле испытывает антигравитацию (отрицательным давлением). Это резко отличает её от обычных форм материи. Не будет преувеличением сказать, что природа темной энергии — это главная загадка фундаментальной физики XXI века.

Один из кандидатов на роль темной энергии — вакуум. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, а это и означает отрицательное давление вакуума. Другой кандидат — новое сверхслабое поле, пронизывающее всю Вселенную; для него употребляют термин «квинтэссенция». Есть и другие кандидаты, но в любом случае темная энергия представляет собой что-то совершенно необычное.

По современным данным доля обычного вещества (протонов, атомных ядер, электронов) в суммарной энергии в современной Вселенной составляет всего 5%. Помимо обычного вещества во Вселенной имеются и реликтовые нейтрино — около 300 нейтрино всех типов в кубическом сантиметре. Их вклад в полную энергию (массу) во Вселенной невелик, поскольку массы нейтрино малы, и составляет заведомо не более 3%. Оставшиеся 90–95% полной энергии во Вселенной — «неизвестно что». Более того, это «неизвестно что» состоит из двух фракций — темной материи и темной энергии, как изображено на рисунке (рис. 6.1).

По имеющимся оценкам, ускоряющееся расширение Вселенной началось приблизительно 5 миллиардов лет назад. Предполагается, что до этого расширение замедлялось благодаря гравитационному действию тёмной материи и обычной (барионной) материи.

Рис. 6.1. Состав суммарной энергии Вселенной

Если ускоряющееся расширение Вселенной будет продолжаться бесконечно, то в результате галактики за пределами нашего Сверхскопления галактик рано или поздно выйдут за горизонт событий и станут для нас невидимыми. Со временем наше Сверхскопление придёт в состояние тепловой смерти.

Если расширяющая сила действия тёмной энергии продолжит неограниченно увеличиваться, пока не превзойдёт все остальные силы во Вселенной, то тёмная энергия со временем разорвёт все гравитационно связанные структуры Вселенной, затем превзойдёт силы электростатических и внутриядерных взаимодействий, разорвёт атомы, ядра и нуклоны и уничтожит Вселенную в Большом Разрыве.

С другой стороны, тёмная энергия может со временем рассеяться или даже сменить отталкивающее действие на притягивающее. В этом случае гравитация возобладает и приведёт Вселенную к Большому Хлопку. Некоторые сценарии предполагают «циклическую модель» Вселенной. Хотя все эти гипотезы пока не подтверждаются наблюдениями, они и не отвергаются полностью. Решающую роль в установлении конечной судьбы Вселенной должны сыграть точные измерения темпа ускорения, изучение темной материи и темной энергии.

6.4. Звезды

По современным представлениям родившаяся после невероятно больших уплотнений и разогревания «расширяющаяся горячая» Вселенная состояла из разреженного водородного газа 70% и гелия 30%. В результате гравитационной неустойчивости в газе образовывались локальные сгущения — газовые облака, а из них протогалактики. Протогалактическое облако в процессе гравитационного сжатия также распадалось на фрагменты, давшие начало *звездам первого поколения*.

Наиболее вероятная схема звездообразования следующая: гравитационная конденсация (сжатие), приводящая к появлению протозвезд (глобул, планетарных туманностей, «звезд коконов» и др.) – термоядерные реакции, обусловливающие существование большинства наблюдаемых звезд – гравитационный коллапс, следствием которого являются нейтронные звезды, черные дыры – Сверхновые звезды. Намеченная схема дополняется действием вращения самой звезды и окружающего магнитного поля, влиянием близких массивных звезд-спутников, а также нейтринных и других процессов.

Рассмотри этот процесс немного подробнее. Частицы газопылевого облака медленно притягиваются между собой за счет гравитационных сил. Плотность облака растет, возникшая непрозрачная сфера начинает вращаться, захватывая все больше частиц из окружающего пространства. Внешние слои давят на внутренние, давление и температура в глубине растут, согласно законам термодинамики, постепенно достигая нескольких миллионов градусов. Тогда в ядре протозвезды создаются условия для протекания реакции термоядерного синтеза гелия из водорода. Об этом «оповещают мир» потоки нейтрино, выделяющихся при такой реакции. В ее результате мощный поток электромагнитного излучения давит на внешние слои вещества, противодействуя гравитационному сжатию. Когда силы излучения и гравитации уравновешиваются, протозвезда становится звездой. Чтобы пройти эту стадию своей эволюции протозвезде нужно от нескольких миллионов лет (при массе больше солнечной) до нескольких сот миллионов лет (при массе меньше солнечной). Недавние наблюдения с использованием космического телескопа "Хаббл" доказывают, что первые звезды сформировались спустя всего лишь 200 млн лет после Большого взрыва

Химический состав звезд по данным спектрального анализа в среднем такой: они состоят на 2/3 из водорода и на 1/3 из гелия, а все остальные химические элементы вместе взятые составляют не более 2%.

По мере расходования водорода, масса ее меняется. Постепенно энергия в центре звезды иссякает, давление падает. Поскольку гравитации оно не противостоит, ядро сжимается, и температура там опять возрастает, но реакции протекают теперь только на границе ядра внутри звезды. Звезда разбухает, растет и ее светимость. Она превращается в красный гигант с радиусом больше радиуса орбиты Марса. Когда температура сжимающегося гелиевого ядра (водород «выгорел») красного гиганта достигнет 100-150 млн. градусов, начинается синтез углерода и других элементов из гелия. Когда и эта реакция исчерпает себя, происходит сброс внешних слоев. Горячие внутренние слои звезды оказываются на поверхности, раздувая отделившуюся оболочку излучением в планетарную туманность. Через несколько десятков тысяч лет оболочка рассеивается, и остается небольшая очень горячая плотная звезда.

Сжатие может остановиться на определённом этапе, а может перейти в стремительный гравитационный коллапс. В зависимости от массы звезды и вращательного момента возможны следующие конечные состояния:

- погасшая очень плотная звезда, состоящая в основном, в зависимости от массы, из гелия, углерода, кислорода, неона, магния, кремния или железа (основные элементы перечислены в порядке возрастания массы остатка звезды);

- белый карлик;

- нейтронная звезда, (она состоит из плотно упакованных нейтронов, нейтронные звезды имеют колоссальное магнитное поле: 10^9–10^{16} эрстед);

- чёрная дыра, в которой напряженность поля тяготения над ее поверхностью становится столь чудовищным, что пространство-время свертывается и звезда исчезает из Вселенной, оставив лишь искривленный участок пространства-времени. Вероятно существуют черные дыры двух типов: с массами менее ста солнечных; гигантские – в галактиках и квазарах с массой более миллиона солнечных. Черная дыра сама по себе не излучает, но может быть видна за счет излучения из области, где находится падающее на нее вещество (аккреционный диск) и проявляет себя мощным гравитационным полем.

Некоторые звезды время от времени вспыхивают, сбрасывая часть оболочки и превращаясь в Новые звезды. При этом они каждый раз теряют порядка сотой доли процента своей массы. Реже случаются катастрофы, уничтожающие звезду – вспышки сверхновых, при которых за короткое время излучается энергии больше, чем от целой галактики. При взрыве звезда сбрасывает внешнюю газовую оболочку (так возникла при взрыве сверхновой в 1054 г. Крабовидная туманность). Последняя сверхновая вспыхнула рядом в

1987 г., в Большом Магеллановом Облаке, в 60 килопарсеках от нас. От этой сверхновой впервые зарегистрировано нейтринное излучение.

Из газово-пылевых облаков впоследствии формируются *звезды второго поколения* типа нашего Солнца с планетными системами. Так вкратце выглядит одна из версий современной космогонической модели.

6.5. Происхождение Солнечной системы и Земли

Строение Солнечной системы обладает рядом закономерностей, указывающих на совместное образование всех планет и Солнца в едином процессе. Такими закономерностями являются:

- движение всех планет в одном направлении по эллиптическим орбитам, лежащим почти в одной плоскости;
- вращение Солнца в том же направлении вокруг оси, близкой к перпендикуляру относительно центральной плоскости планетной системы;
- вращение в том же направлении большинства планет (за исключением Венеры, которая очень медленно вращается в обратном направлении, и Урана, который вращается как бы лежа на боку);
- обращение в том же направлении большинства спутников планет;
- закономерное возрастание расстояний планет от Солнца;
- деление планет на родственные группы, отличающиеся по массе, химическому составу и количеству спутников (группа близких к Солнцу планет земного типа и далекие от Солнца планеты-гиганты, также подразделяющиеся на две группы);
- наличие пояса малых планет между орбитами Марса и Юпитера.

Особой проблемой, служившей пробным камнем для многих космогонических гипотез, оставалась проблема распределения момента количества движения в Солнечной системе: хотя масса планет составляет менее 1% массы Солнца, в их орбитальном движении заключено более 98% общего момента количества движения всей Солнечной системы.

Разные гипотезы о механизмах возникновения Солнечной системы начали появляться ещё в 18 веке. Гипотеза об образовании Солнечной системы из газопылевого облака – небулярная гипотеза – первоначально была предложена в 18-ом веке Эммануилом Сведенборгом, Иммануилом Кантом и Пьером-Симоном Лапласом. Эти представления постепенно эволюционировали, и, с точки зрения современной астрономии, картина возникновения Солнечной системы выглядит примерно так.

Солнце – звезда второго поколения. Солнечная система возникла из одного большого газопылевого облака, образовавшегося в результате взрыва сверхновой звезды. Это облако начало сжиматься под действием гравитации, в результате основная часть содержащегося в нём вещества собралась в центральный сгусток, из которого впоследствии возникло Солнце. Однако, так как это облако изначально не было неподвижным, а немного вращалось, то не вся масса облака оказалась сосредоточенной в центральном сгустке. Под действием сил гравитации и центробежных сил облако приобрело форму сильно сплюснутого диска (протопланетный диск), который располагался в плоскости, перпендикулярной оси вращения облака (и сейчас, вследствие этого, все орбиты планет лежат примерно в одной плоскости). При этом в этом диске, вращающемся вокруг центра облака, в котором находился центральный сгусток, стали формироваться меньшие сгустки. Эти сгустки сталкивались, объединяясь между собой, а также захватывали частицы пыли и газа из диска. Увеличивающаяся масса этих сгустков также приводила к их сжатию под действием силы гравитации. Из этих меньших сгустков (планетезимали) впоследствии сформировались планеты.

В результате сжатия центральный сгусток начал разогреваться, температура в его центре повышалась, и, наконец, она оказалась настолько высокой, что произошёл запуск термоядерной реакции. Так на месте холодного центрального газового сгустка вспыхнула новая звезда – Солнце. Как только это произошло, под давлением яркого солнечного излучения и солнечного ветра лёгкие газы, такие, как водород и гелий, были очень быстро выдуты из ближней к Солнцу области газопылевого диска, в то же время тяжёлые частицы, наоборот, под действием гравитации стремились к центру. Вследствие этого, вблизи Солнца сформировались планеты, состоящие из твёрдых, тяжёлых пород, а водород и гелий, оттеснённые в дальние области Солнечной системы солнечным излучением, стали строительным материалом для планет-гигантов вроде Юпитера.

Описанная схема образования звездных систем частично подтверждается обнаружением протопланетных дисков у некоторых звезд, наличие планет у других звезд (к концу января 2008 года открыты 66 планеты у 52 звезд.), открытие трансплутоновых комет, являющихся остатками того вещества, которое не смогло сконденсироваться в планеты.

Согласно современным представлениям, возраст Солнечной системы оценивается примерно в 4,6 млрд лет. Планетная система формируется из того же протозвездного пылевого вещества, что и звезда, и в те же сроки. Земля

формировалась из твердых холодных тел и вначале была холодной, т.е. наша планета никогда не была полностью расплавленной, а ее недра стали горячими уже в процессе роста. Наибольший вклад в первоначальный нагрев Земли давали удары крупнейших допланетных тел, тепло радиоактивных источников и сжатие недр под давлением вышележащих слоев. К концу аккумуляции в верхней мантии Земли уже должны были находиться разогретые очаги с температурой порядка 1500 К, в которых происходило плавление силикатных пород и шел процесс сегрегации железа в земное ядро. При этом поверхность Земли никогда не разогревалась выше 350 К.

6.6 Происхождение Луны

Освоение Луны во второй половине XX в. позволило изучить ее внутреннее строение, состав, возраст многих участков поверхности, их геологию, а также приливную историю лунной орбиты. К сожалению, не удалось выработать *единое мнение о происхождении Луны*.

К середине прошлого века сформировалось несколько гипотез происхождения Луны: отделение Луны от Земли; случайный захват Луны на околоземную орбиту; коаккреция Луны и Земли из роя твердых тел. Эта проблема до недавнего времени решалась специалистами в области небесной механики, астрономии и планетофизики. Геологи и геохимики в ней участия не принимали, поскольку о составе Луны до начала ее изучения космическими аппаратами ничего не было известно.

Уже в 30 гг. прошлого столетия было показано, что гипотеза отрыва Луны от Земли, выдвигавшаяся, кстати, Дж. Дарвиным, сыном Ч. Дарвина, несостоятельна. Суммарный вращательный момент Земли и Луны недостаточен для возникновения даже в жидкой Земле ротационной неустойчивости (потеря вещества под действием центробежной силы).

В 60-е гг. специалисты в области небесной механики пришли к выводу, что *захват Луны на околоземную орбиту* – крайне маловероятное событие.

Есть общее представление, что Луна образовалась в околоземном диске, но по поводу возникновения диска существуют две крайние версии.

В одной из них (*теория коаккреция*), согласно идее О.Ю. Шмидта, предполагается, что Луна могла возникнуть благодаря аккумуляции допланетного вещества в околоземном рое при его достаточном количестве и концентрации. Ее слабая сторона – неспособность объяснить отличие химического состава Луны от Земли – низкое содержание железа в Луне (6-10% по сравнению с 35% в Земле).

Американские ученые А. Камерон и В. Уорд и одновременно В. Хартман и Д. Дэвис в 1975 г. предложили гипотезу образования Луны в результате катастрофического столкновения с Землей крупного космического тела, размером с Марс (*гипотеза мегаимпакта*). В результате огромная масса земной материи и частично материала ударника (небесного тела, столкнувшегося с Землей) расплавилась и была выброшена на околоземную орбиту. Этот материал быстро аккумулировался в компактное тело, которое стало Луной. Несмотря на кажущуюся экзотичность эта гипотеза стала общепринятой, поскольку она предлагала простое решение целого ряда проблем. Как показало компьютерное моделирование, такой сценарий вполне осуществим. Эта гипотеза, удачно объясняла дефицит железа на Луне и динамические характеристики системы Земля – Луна.

В настоящее проблема происхождения Луны из разряда астрономических перешла скорее в разряд геолого-геохимических, так как именно геохимические аргументы стали решающими в системе доказательств той или иной версии образования Луны. Эти версии различались лишь в деталях: относительные размеры Земли и ударника, каков был возраст Земли, когда произошло столкновение. Сама же ударная концепция считалась незыблемой. Между тем некоторые подробности геохимического анализа ставят под сомнение гипотезу в целом.

Десять лет назад академик Э.М.Галимов выдвинул гипотезу, смысл которой состоял в том, что Луна сформировалась не вследствие катастрофического удара, а как *двойная система одновременно с Землей* в результате фрагментации облака пылевых частиц. Так образуются двойные звезды. Железо, которым Луна обеднена, было утрачено вместе с другими летучими в результате испарения.

6.7 Земля

Итак, Земля на протяжении всей своей истории представляет собой твердое тело (более того: в глубинах, при высоких давлениях, очень твердое тело), которое, однако, ведет себя при очень больших постоянных нагрузках как чрезвычайно вязкая жидкость. Сама форма планеты - эллипсоид с чуть выпяченным Северным полюсом и чуть вдавленным Южным - идеально соответствует той, что должна принимать жидкость в состоянии равновесия. В толще этой "жидкости" постоянно происходят чрезвычайно медленные, но немыслимо мощные движения колоссальных масс вещества, с которыми связаны вулканизм, горообразование, горизонтальные перемещения континен-

тов и т.д. Источником энергии для всех этих процессов является в конечном счете все та же самая гравитационная дифференциация вещества в недрах планеты.

Соответственно, когда этот процесс завершится полностью, наша планета станет геологически неактивной, "мертвой" - подобно Луне. Согласно расчетам геофизиков, к настоящему моменту уже 85% имеющегося на Земле железа опустилось в ее ядро, а на "оседание" оставшихся 15% потребуется еще около 1,5 млрд. лет. В результате гравитационной дифференциации недра планеты оказывается разделенными (как молоко в сепараторе) на три основных слоя – "тяжелый", "промежуточный" и "легкий". Внутренний, "тяжелый" слой (с плотностью вещества около 8 г/см^3) – центральное ядро, состоящее из соединений железа и иных металлов.

Формирование Протоземли произошло 4,52 ± 0,02 млрд. лет назад, ее масса, объем и рельеф достигли современных значений и форм, стали проявляться такие геологические процессы, как вулканизм, тектонизм и т.д. – началось безводное; но уже геологическое время.

На Земле с поздним периодом этого этапа развития выделились летучие компоненты в результате ударного дробления, плавления и испарения вещества. Эти летучие компоненты составили основу первичной атмосферы, а после охлаждения ее ниже 100 ^{0}С, первичной гидросферы. Первые конденсированные воды на Земле были минерализованные. Сильные кислоты разрушали первичные алюмосиликатные породы, извлекая из них катионы металлов. Первичная поверхность суши омывалась кислыми водами и была местом процессов гидролиза и гидратации соответствующих минералов. Пресные воды гидросферы появились значительно позже, в результате испарения с поверхности первичных водоемов, т.е. в процессе естественной дистилляции при создании в пределах суши замкнутых депрессий.

В настоящее время утвердилось общее единое представление о том, что первоначально углекислая атмосфера Земли на определенном этапе развития перешла в азотно-кислородную.

Диаметр Земли составляет примерно 12742 км. Земля сплюснута с полюсов (причем с юга сильнее) и не вполне шарообразна, эту фигуру называют геоидом. Подсчет колец роста на ископаемых кораллах показывает, что около 400 млн. лет назад в палеозойской эре в году было 400 суток, то есть сутки длились 22 часа. Это говорит о том, что Земля вращалась быстрее, а значит, возможно, ее радиус был меньше, ибо момент количества движения сохраняется. Правда изменению скорости вращения есть и иное объяснение: тормо-

зящее влияние Луны, вызывающей приливную волну не только в океане, но и в твердых телах.

Строение твердой части планеты, согласно современным знаниям, выглядит следующим образом (см. рис. 6.2). В центре находится ядро, состоящее из железа и радиоактивных элементов. Несмотря на температуру в +4200°С, ввиду огромного давления сердцевина с радиусом 1300 км твердая. Его обволакивает жидкий слой толщиной 2200 км. Движение токопроводящего материала в жидком слое ядра создает магнитное поле Земли – магнитосферу. Между ядром и земной корой находится мантия – обогащенные железом породы. В этом слое давление высокое, но температура недостаточно высока для того, чтобы вещество расплавилось, поэтому мантия – чрезвычайно вязкая и пластичная, это не жидкость, а скорее – «каменное желе», «пластилин», способные двигаться. Мантия покрыта тонкой твердой земной корой (литосферой). Под океанами кора имеет толщину всего несколько километров, под континентами – около 30-40 км, под горными массивами - до 70-80 км. Недра Земли пока столь же недоступны для прямого изучения, как далекие звезды и галактики. Сверхглубокая скважина, бурение которой продолжается и сейчас на Кольском полуострове, преодолела лишь двенадцатикилометровый рубеж глубины. Однако, узнать о глубинном строении недр мы можем, наблюдая землетрясения и выполняя сейсмические исследования. Последние основаны на том, что ударные волны от взрывов распространяются с различной скоростью в породах различной плотности и отражаются от границ разделов слоев, имеющих разную плотность. Так удалось установить, что мантия имеет плотность 3,3 г/см^3, континентальная кора 2,77 г/см^3, океаническая кора 2,9 г/см^3.

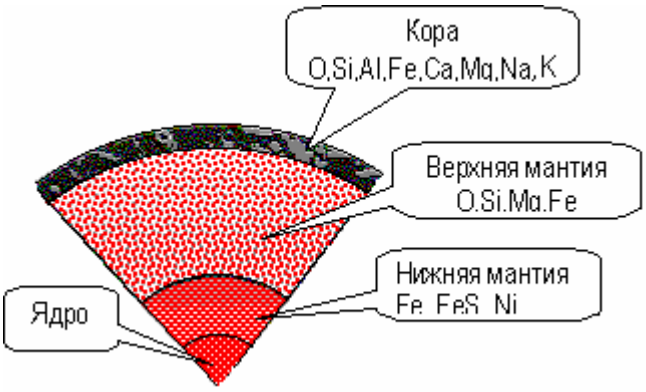

Рис. 6.2. Структура Земли

В последние 30 лет всеобщее признание получила концепция тектонических литосферных плит, согласно которой в течение всего мезозоя и кайно-

зоя материки перемещались по поверхности планеты. Рассмотрев карту мира как разрезную картинку, можно заметить, что в целом ряде случаев – Южная Америка и Африка, Антарктида, Австралия и Индостан – границы материков (по материковому шельфу, а не по современному побережью!) хорошо совмещаются.

Прогноз на ближайшие 50 млн. лет говорит, что Африка будет разорвана, часть ее к востоку от рифта отойдет к Мадагаскару. Точно так же оторвется от континента и станет островом Калифорния. Заметно увеличатся Красное море и Байкал – это будущие океаны. А вот Средиземное и Черное моря практически исчезнут под нажимом плывущей на север Африки, горы Атлас и Альпы сольются. Австралия, сметя, словно бульдозер, всю Индонезию и Новую Гвинею, врежется, вслед за Индией в Азиатский континент, став экваториальной территорией.

Что является движущей силой «плавающих материков»? Как показывают данные термодинамических и сейсмических измерений, внутри мантии существуют вариации температуры и плотности, в результате чего происходит циркуляция вещества: горячий и менее плотный материал поднимается вверх, охлаждается и, с увеличением плотности, опускается в глубину. Достаточно малого перепада температур, чтобы пластичная мантия пришла в медленное движение и заставила перемещаться блоки литосферы.

Теория тектонических литосферных плит существенно изменила мировоззрение и представления об эволюции нашей планеты. Она имеет также и практические аспекты. Мы стали лучше понимать природу землетрясений и получили возможность улучшить их прогнозирование. Зная линии разломов земной коры, вдоль которых происходит смещение плит, можно наблюдать за этим смещением. Если оно замедляется или останавливается, это указывает на вероятность приближения сейсмического толчка или серии таких толчков. Теория литосферных плит сделала более понятным распределение полезных ископаемых.

6.8. Целесообразность во Вселенной (принципы построения Вселенной)

6.8.1. Принцип единства Вселенной

Согласно современным представлениям принципы сохранения лежат в самом фундаменте мироздания. Наиболее показателен в этом плане *закон сохранения электрического заряда*. Практически ни у кого не вызывает серьезных сомнений тот факт, что *суммарный электрический заряд Вселенной равен нулю*. То есть мы убеждены, что количество отрицательных зарядов в

точности равно количеству положительных. Причина этого в том, что электрические заряды всегда рождаются в паре, так что суммарный заряд рожденной пары равен нулю.

Суммарная энергия Вселенной, похоже, также равна нулю, то есть отрицательная энергия притяжения (сближения) полностью уравновешиваться положительной энергией отталкивания (разбегания). Именно здесь, вероятно, следует искать природу некоторых сил. Например, силы гравитации, проявляющиеся в локальном притяжении массивных тел друг к другу, по-видимому, совершенно точно уравновешивается фактом разбегания галактик в процессе расширения Вселенной. Согласно *принципу Маха*, массивность (инерционность) физических тел вовсе не является принадлежностью этих тел, а обусловлена фактом притяжения этих тел со стороны всей Вселенной. Попытка изменить положение тела по отношению к Вселенной вызывает с ее стороны ответную реакцию в форме силы инерции, препятствующей данному изменению. Принцип Маха, вероятно, можно распространить не только на массивность тел, но и на другие их параметры. То есть *любое проявление, которое мы наблюдаем в данном физическом теле, обусловлено фактом принадлежности этого тела Вселенной и взаимодействием с ней*.

Возможно, все явления *и процессы во Вселенной взаимоуравновешены так, что по любому проявлению в целом Вселенная равна нулю* так же, как и до ее возникновения. И *если в ней возникают какие-то изменения, то они в точности компенсируются изменениями другого знака*. Это объясняет принцип дополнительности, который в более широкой формулировке звучит следующим образом: *любое явление может рождаться и существовать в физической реальности только в паре со своей противоположностью (отрицанием)*.

Подтверждением сказанному может служить также один из наиболее фундаментальных законов, известный как *принцип Ле Шателье - Брауна: на любое изменение Вселенная откликается возникновением процессов, тормозящих данное изменение*. То есть любое изменение порождает динамическую составляющую, которая уравновешивает собой сам факт изменения, вызывая процессы, направленные на сдерживание данного изменения. Частным случаем этого принципа является общеизвестный в физике *принцип Ленца*: любое изменение магнитного поля вызывает в проводящей среде вихревые токи (токи Фуко), которые своим магнитным полем препятствуют причине, их вызывающей. Вообще *любое проявление инерционности в природе, в том числе*

и массивности физических тел, есть следствие принципа Ле Шателье-Брауна.

Во всех перечисленных примерах проявляет себя так называемый *принцип единства Вселенной*: во *Вселенной все взаимосвязано, любое явление влияет на весь мир и само испытывает влияние от всех явлений Вселенной*, причем Вселенная в данном случае проявляет себя как единое целое. На этом принципе основано действие всех основных законов, наиболее известными из которых являются законы сохранения.

6.8.2.Принципы симметрии и законы сохранения

В наиболее общем виде под "симметрией" в математике понимается такое преобразование пространства (плоскости), при котором каждая точка М переходит в другую точку М' относительно некоторой плоскости (или прямой) *а*, когда отрезок ММ' является перпендикулярным плоскости (или прямой) *а* и делится ею пополам. Плоскость (прямая) *а* называется при этом плоскостью (или осью) симметрии.

Особенно широко понятие "симметрии" применительно к физическим законам используется в современной физике. Если законы, устанавливающие соотношения между величинами или определяющие изменение этих величин со временем, не меняются при определенных операциях (преобразованиях), которым может быть подвергнута система, то говорят, что эти законы обладают симметрией (или инвариантны) относительно данных преобразований. Например, закон тяготения действует в любой точки пространства, то есть он является инвариантным по отношению переноса системы как целого в пространстве.

Самой простой симметрией является — *однородность* и *изотропность* пространства. Это проявляется в том, что любой физический прибор работает одинаково в любой точке пространства, если не меняются окружающие физические условия. Т.е. физические законы инвариантны (неизменны) относительно перемещений и поворотов. То же самое можно сказать и в отношении времени, симметрия которого означает, что физический эксперимент даст одинаковые результаты в разное время при условии одинаковости физических условий Но эта симметрия нарушается в слабом распаде некоторых элементарных частиц. И хотя эти нарушения очень малы, они играют важную роль в физике элементарных частиц, т.к. приводят к абсолютному различию между частицами и античастицами. Существует кроме того зеркальная симметрия (зеркальная симметрия строения молекул).

Но самую важную симметрию открыл Эйнштейн, обнаружив *всеобщность пространственно-временной симметрии*. Т.е. все физические, химические, биологические явления не изменяются при *поворотах* (поворот означает такое изменение координат, когда не изменяются расстояния между точками) и постоянство распространения света при повороте. Так все выше названные симметрии были объединены в одну всеобщую – все явления природы *инвариантны относительно сдвигов, поворотов и отражений в четырехмерном пространстве- времени*.

Требование симметрии законов природы облегчает вывод уравнений физики. Например, попытки придать симметрию уравнениям Максвелла привели к созданию теории относительности.

Попытки систематизировать мир элементарных частиц привели физику к признанию того, что *силы можно рассматривать как способ, которым в природе поддерживаются различного рода симметрии*. Понятие *симметрии* является в настоящее время наиболее фундаментальным.

В 1918г. Эмми Нетер доказал теорему из которой следует, что если некоторая система инвариантна относительно некоторого глобального преобразования, то для нее существует определенная сохраняющаяся величина. Т.е. *каждой симметрии, как внутренней, так и пространственной, соответствует свой закон сохранения*. В частности, закон сохранения энергии есть строгое следствие однородности времени, закон сохранения импульса вытекает из однородности пространства, закон сохранения момента импульса – из изотропности пространства и т.д. Эти законы сохранения характерны для всех частиц, являются общими, выполняющимися во всех взаимодействиях.

6.8.3. Вариационный принцип. Принцип оптимальности

С симметрией, с законами сохранения и с теоремой Нетера связан и так называемый вариационный принцип или принцип наименьшего действия.

Впервые этот принцип сформулировал П. Ферма еще в XVII веке для объяснения распространения света в различных средах: свет всегда идет по пути, требующему для своего прохождения минимального времени. Особенность любой вариационной формулировки в том, что она отталкивается от факта экстремальности (обычно минимальности) некоторой интегральной величины (в данном случае времени движения светового луча). При этом рассуждение строится из условия оптимальности итогового результата, а не из причинно-следственной цепи событий, как это традиционно принято в науке.

Действительно, создается впечатление, что луч света анализирует все возможные траектории движения и из них выбирает наилучшую. Не случайно после опубликования работ Ферма в науке разгорелся диспут о разумности природы. Ведь, как затем показал Ж. Лагранж, практически всю механику можно вывести не из причинно-следственных законов Ньютона, а *из вариационных принципов*, то есть исходя из положения, что в природе реализуются всегда только оптимальные сценарии процессов. Например, камень «выбирает» траекторию своего полета в поле притяжения Земли так, что величина *действия* (интеграл по времени от разности кинетической и потенциальной энергии $W = \int (E_{кин} - E_{пот})dt$ оказывается минимальной. Только потому форма этой траектории оказывается параболической, что парабола удовлетворяет принципу наименьшего действия.

Если не считать, что камень заранее «просчитывает» траекторию своего движения, приходится признать, что *природа из всех возможных законов выбрала только те, которые подчиняются вариационным принципам*. Это положение можно назвать *принципом оптимальности* законов природы. Этот закон действует на всех уровнях мироустройства.

Под оптимальным можно понимать такое состояние системы в целом, которое практически не изменяется или изменяется минимально возможным образом при различных вариациях внутренней структуры (такое состояние еще называется равновесным). Наиболее показательным в этом смысле является именно принцип наименьшего действия. Так если среди возможных путей, соединяющих исходную и конечную точки траектории, провести несколько траекторий и просчитать по каждой из них величину действия, а затем чуть изменить (поварьировать) каждую из этих траекторий, то практически для всех траекторий величина действия существенно изменится, и только для параболической (то есть верной) траектории величина действия окажется практически той же. Это напоминает решение задачи математического анализа по нахождению экстремума (оптимума) функции, только функция в данном случае имеет интегральный характер и называется *функционалом*, и минимальное значение функционал принимает не при каком-то значении аргумента, а при какой-то форме траектории (в данном случае).

Типичным проявлением принципа оптимальности является, по-видимому, принцип роста энтропии (второй закон термодинамики), который в данном случае можно сформулировать следующим образом: *любая система стремится к состоянию, в котором любые вариации данного состояния*

не приводят к существенному изменению энтропии, которая в данном состоянии принимает значение, близкое к максимально возможному.

Резонно возникает вопрос: если в любой момент времени природа реализует только оптимальные состояния и процессы, почему же в мире так много абсурда, ошибок, далеких от понятия оптимальности? Разве есть какая-то оптимальность в поведении мухи, бьющейся о стекло? Оказывается, есть, так как в данном случае муха задействует один из самых эффективных алгоритмов поиска оптимального решения, метод случайного поиска, который гарантирует, что решение рано или поздно будет найдено, если оно в принципе возможно. Природа очень часто задействует подобные алгоритмы оптимизации. Без определенной доли ошибки, абсурда, случайности природа не смогла бы развивать и усложнять свои формы. Системы, структура которых лишена ошибки, не способны развиваться (находить оптимум). Поэтому они довольно быстро разрушаются (накапливают ошибку).

Мы не всегда можем знать механику того или иного явления, но мы совершенно точно знаем, что в этом явлении не будут нарушены принципы симметрии. Мы можем не знать, какие законы лежат в механике данного явления, но мы абсолютно точно знаем, что природа обязательно реализует какую-то механику, которая будет соответствовать вариационным принципам, то есть она будет наиболее оптимальной из всех возможных.

6.8.4. Алгоритм оптимальности. Рождение закона природы

Чтобы понять, как происходит рождение закона природы, целесообразно рассмотреть поведение сложных систем, таких как биосистемы. Так одним из законов экологии является *принцип соответствия строения организмов требованиям окружающей среды*. Особенно интересен феномен *конвергенции* (сходимости) морфологических признаков различных видов животных, обитающих в одинаковых условиях среды. Например, такие различные по происхождению животные, как рыбы (например, акула), птицы (например, пингвин) и млекопитающие (например, дельфин), обитая в сходных условиях приобретают схожие формы.

Естественный отбор в живом мире приводит к тому, что вид рано или поздно «нащупает» наиболее оптимальный вариант собственной структуры. Как сказал по этому поводу П. Тейяр де Шарден, *жизнь, размножаясь во множестве, заполняет собой все возможные варианты, поэтому рано или поздно оптимальный вариант будет обязательно найден. Таким образом жизнь делает себя неуязвимой от наносимых ей ударов*. Значительную роль

при этом имеет право жизни на ошибку. Порождая разного рода мутантов, которые в основной своей массе оказываются нежизнеспособными, жизнь иногда нащупывает то, что является оптимумом. Какими бы ни были стартовые точки процесса поиска оптимума (рыба, птица, млекопитающее и т.п.), результат поиска в принципе оказывается предсказуем, то есть *при данных конкретных условиях количество экстремумов любой целевой функции оказывается ограниченным*, наиболее часто экстремум только один.

Нечто подобное происходит, по-видимому, и в неживой природе. Конечно, нельзя строить прямые аналогии от законов, по которым развивается живой мир на природу вообще. *Жизнь изначально асимметрична*, неживая природа подчинена принципам симметрии. Тем не менее, даже суть тех явлений, которые мы традиционно относим к неживым, *костным* (по терминологии Вернадского), мы понять до конца не можем, что говорит о присутствии в них асимметричной составляющей.

Именно нарушение симметрии приводит в конечном итоге к рождению Вселенной. Так в первые мгновения после Большого взрыва количество позитронов почему-то оказалось чуть меньше, чем электронов (разница всего в одну частицу на каждые 100 миллионов пар частица-античастица), антипротонов – чуть меньше чем протонов и т.п. Это нарушение симметрии мира, но именно поэтому мир выглядит так, а не иначе, именно поэтому он вообще существует, а не исчез в полной взаимной аннигиляции. Значит то, что отличает живое от неживого, в примитивном виде присутствует уже на самых нижних этажах мироздания. Значит «законы жизни» справедливы и на субквантовом уровне.

Может быть, в том и состоит суть рождения законов природы, что на всех уровнях природных систем от элементарных частиц до галактик действует механика принципа естественного отбора? Ответ на этот вопрос призвана дать нарождающаяся в настоящее время новая *научная парадигма* (фундамент), в основу которой положен так называемый *системный подход*.

6.8.5. Антропный принцип

Численные значения многих безразмерных (то есть не зависящих от системы единиц) фундаментальных физических параметров, таких как отношения масс элементарных частиц, безразмерные константы фундаментальных взаимодействий, кажутся не подчинёнными никакой закономерности. Однако выясняется, что если бы эти параметры отличались от своих наблюдаемых

значений лишь на небольшую величину, разумная жизнь (в привычном нам понимании) не могла бы образоваться.

Свободный нейтрон тяжелее, чем система протон + электрон, и именно поэтому атом водорода стабилен. Если бы нейтрон был легче хотя бы на десятую долю процента, атом водорода быстро превращался бы в нейтрон. В результате материя имела бы лишь один уровень организации – ядерный, а атомов и молекул не существовало бы вовсе.

Известно, что для образования связанного состояния двух частиц (в обычном, трёхмерном пространстве) необходимо не только, чтобы они притягивались, но и чтоб это притяжение было достаточно сильным. Притяжение между протоном и нейтроном оказывается почти «на грани»: их связанное состояние (дейтрон) существует, однако оно слабо связано и потому имеет довольно большие геометрические размеры. Это приводит к тому, что реакция горения водорода в звёздах идёт очень эффективно. Если бы сила протон - нейтронного взаимодействия была бы меньше, дейтрон был бы нестабилен, и вся цепочка горения водорода оборвалась. Если бы константа связи была заметно сильнее, то размеры дейтрона были бы меньше, и реакция горения шла бы не столь интенсивно. И в том, и в другом случае оказалось бы, что звёзды горели бы менее интенсивно, что не могло бы не сказаться на жизни.

С другой стороны, известно, что два протона связанное состояние не образуют: сильное взаимодействие хоть и превышает кулоновский барьер, но всё же недостаточно сильно. Если бы константа сильного взаимодействия была бы немного сильнее, то дипротоны были бы стабильными частицами. Это имело бы катастрофические последствия для эволюции Вселенной: в первые же её дни весь водород выгорел бы в гелий и дальнейшее существование звёзд оказалось бы невозможным.

Если бы константа нуклон-нуклонного взаимодействия отличалась хотя бы на 4 %, углерод в звёздах практически не образовывался бы.

Прежде всего бросается в глаза тот факт, что только в трёхмерном пространстве может возникнуть то разнообразие явлений, которое мы наблюдаем. Так, для размерности пространства более трёх невозможны устойчивые орбиты планет в гравитационном поле звёзд. Более того, в этом случае невозможна была бы и атомная структура вещества (электроны падали бы на ядра даже в рамках квантовой механики). Именно, при числе измерений больше трёх квантовая механика предсказывает бесконечный спектр энергий электрона в атоме водорода, допускающий как положительные, так и отрица-

тельные значения энергии. В случае размерностей меньше трёх движение всегда происходило бы в ограниченной области.

Изложенные выше аргументы относятся к случаю нерелятивистского рассмотрения проблемы. Если же попытаться распространить общую теорию относительности как современную теорию гравитации на пространство-время с другим количеством пространственных измерений, то картина получается обратной: при двух пространственных измерениях гравитационно взаимодействующие тела ни при каких условиях не могут образовывать связной системы (это давно известно в ОТО и было обнаружено в 1960-ых гг.), а при числе измерений пространства большем трёх гравитационное взаимодействие наоборот, настолько сильно, что не позволяет инфинитного движения тел. Таким образом, предельный переход общей теории относительности в ньютоновскую теорию тяготения возможен только в пространстве трёх измерений.

Возникают вопросы: а случайны ли эти совпадения? Вселенная была изначально запрограммирована на возникновение жизни и человека? существуют ли другие формы интеллекта в физической Вселенной? почему существует корреляция мир- наблюдатель? и т. д. В 1973 году Б. Картер сформулировал антропный космологический принцип: существование разумных существ сильно зависит от структуры физического мира, наше существование влечёт за собой строгий отбор типов Вселенной, мы видим Вселенную такой, как она есть потому что, будь она другой, нас бы здесь не было и мы бы не могли ее наблюдать. Есть два варианта объяснения антропного принципа - сильный и слабый. Сильный вариант: эволюция не случайна, а запрограммирована на появление жизни и человека. Слабый вариант: условия, необходимые для возникновения известных нам форм жизни и человека, выполняются только в некоторой области Вселенной. Существуют и иные варианты эволюции в других областях, где либо нет наблюдателей, либо наблюдатели другие. Слабый вариант согласуется с инфляционной моделью.

В целом, возникает ощущение, что во Вселенной всё «настроено» для того, чтобы жизнь смогла образоваться и просуществовать достаточно долго. Этим ощущением, как аргументом, пользуются креационисты — сторонники Теории Разумного Творения.

Возможно, все это связано с двойственной природы Вселенной, которая наряду с множественным аспектом своего существования имеет целостный аспект, в котором Вселенная предстает как нечто целостное и неделимое. Пока что эта гипотеза всерьез обсуждается лишь в рамках такой науки, как

философия. Естествознание крайне осторожно касается вопросов целесообразности мира.

Антропный принцип вступает в видимое противоречие с космологическим принципом Коперника, утверждающим, что место, где существует человечество, не является привилегированным, как-то выделенным среди других. Если расширить понятие «место» на всю Вселенную, то отмеченные выше соотношения между фундаментальными константами, делающие возможным существование достаточно высокоорганизованной материи, являются необходимыми для возникновения разумной жизни, и, следовательно, лишь некоторые из ансамбля возможных вселенных являются пригодными для обитания; в этом смысле выделенными являются определённые области в пространстве.

В обычном физическом пространстве Солнечная система также занимает достаточно специальное положение — её орбита в Галактике находится на так называемой коротационной окружности, где период обращения звезды вокруг ядра Галактики совпадает с периодом обращения спиральных рукавов — мест активного звездообразования. Таким образом, Солнце (в отличие от большинства звёзд Галактики) очень редко проходит сквозь рукава, где вероятны близкие вспышки сверхновых с возможными фатальными последствиями для жизни на Земле.

Синтезом антропного принципа и принципа Коперника является утверждение, что выделенными являются области возможных параметров, существенных для возникновения разумной жизни, тогда как параметры, конкретные значения которых не влияют на вероятность возникновения разумной жизни, не тяготеют к каким-то специальным значениям. Так, положение, которое занимает во Вселенной наша Галактика — одна из миллиардов спиральных галактик, ничем не выделено.

Антропный принцип поднимает проблемы иных цивилизаций и будущего Интеллекта в космологических прогнозах. Если Вселенная рождается, то должна ли Вселенная умереть? Ограничены ли частицы вещества сроком существования? Оказалась ли наша планета единственной приоритетной точкой или Земля – одна из множества планет, на которых синхронно начиналась биотическая фаза эволюции? Какая бы космологическая модель ни оказалась правильной, ни в одной из них мы не находим утешения. Вселенная развилась из незнакомых начальных условий и ей предстоит угасание в бескрайнем холоде. Чем более постижимой представляется Вселенная, тем более она кажется бессмысленной. Но так ли это?

ГЛАВА 7. СИСТЕМА СОВРЕМЕННОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

7.1 Химия как наука

Согласно общепринятому определению, ***химия*** *— это наука о веществах и их превращениях, или, как вариант, наука о химических элементах и их соединениях.*

В этих определениях подразумевается структурный уровень изучения вещества и, так сказать, «разделение полномочий» между физикой и химией. Физика изучает строение атома и мир элементарных частиц (атомный и нуклонный уровень микромира), с одной стороны, и проявление физических свойств веществ, пребывающих в разных агрегатных состояниях, — с другой (классические механика и электродинамика, теплофизика как изучение явлений макромира). Химия же рассматривает процессы «сборки» молекул из атомов, традиционно называемые «химическими реакциями», а также проявление химических свойств веществ, то есть способность веществ вступать в химические реакции определенного вида. Таким образом, структурный уровень вещества, изучаемый в химии, оказывается помещенным между двумя «физическими» уровнями структуры вещества, а «химические» явления происходят на границе микромира и макромира.

Химия — полноправный представитель семейства точных естественных наук, то есть химическое научное знание сформировано из теорий, законов и закономерностей, формулировки которых исключают множественное толкование и которые многократно подтверждены и проверены на практике. И, как для любой естественной науки, для химии имеют большое значение проверяемость, достоверность и воспроизводимость результатов, доказательность знания, соответствие научных теорий и наблюдаемых фактов.

Химия — рациональная наука, даже гипотезы в химии имеют чисто рациональный характер. Современная химия счастливо избежала того «налета» иррациональности, который присутствует в физике, биологии, астрономии, особенно когда обсуждаются вопросы происхождения Вселенной, вещества и жизни. Традиционно также слаба связь химии и философии (в течение последних 250-300 лет после исключения алхимических представлений из химии). И в дискуссиях между ортодоксальными «материалистами» и «идеалистами» химики всегда остаются в стороне, а оппоненты прибегают к разным аспектам химического знания для доказательства своих, порой противоположных по сущности, доводов.

Свое название «химия» получила от алхимии. Название «алхимия» исходит, предположительно, от слова «Кеми»; страна Кеми (или Кемь) — одно из старинных названий современного Египта, откуда, согласно средневековым легендам, были родом первые алхимики.

Химия развивалась и развивается традиционно в двух направлениях — как фундаментальная наука (создание и изучение теоретических основ химического знания) и как наука прикладная (решение практических задач применения различных химических соединений). И если в XVIII-XIX вв. второе направление развивалось более интенсивно, обслуживая промышленную революцию, а теоретическое направление вынуждено было «догонять» в попытке объяснить и систематизировать быстро растущий объем химических знаний, то все изменилось на рубеже XIX-XX вв. и особенно в начале XX в. Великие открытия в физике микромира, приведшие к смене парадигмы естествознания, предопределили развитие теоретической неорганической и органической химии в свете квантовых представлений. Таким образом был усовершенствован механизм объяснения химического строения и структуры вещества, – и в дальнейшем оба направления химической науки развивались уже в тесном взаимодействии, решая основную проблему современной химии — получение (синтез) вещества с заданными свойствами. *Важным этапом решения этой задачи является решение проблемы управления свойствами вещества*. Химия как наука не только о химическом составе и структуре вещества, но и о химических процессах, развивается в рамках парадигмы современного естествознания — квантово-релятивистской механики. В частности, существует фундаментальная химическая наука — квантово-органическая химия, которая изучает механизмы органических реакций с позиции квантовых представлений.

Однако наряду с квантовой химией сосуществует и классическая химия, например химия анализа состава вещества и химия промышленного синтеза известных продуктов, где для выполнения рутинных процедур не обязательно прибегать к квантовым представлениям.

7.2. Химический элемент. Строение атома. Периодический закон Д.И. Менделеева

Представления об атомах и их строении за последние сто лет изменились радикально. В конце XIX века ученые считали:

1) что химические атомы каждого элемента неизменны, и существует столько сортов атомов, сколько известно химических элементов (в то время — примерно 70);

2) атомы данного элемента одинаковы;

3) атомы имеют вес, причем различие атомов основано на различии, их веса;

4) взаимный переход атомов данного элемента в атомы другого элемента невозможен.

Объект изучения химической науки, лежащий в основе всех теоретических представлений о составе и структуре вещества, некое простое начало, из которого собираются сложные системы, так сказать, элемент, — это атом в его современном определении.

Атом — электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц. Составные части атома — ядро и электроны.

Электрон — истинная элементарная частица, заряженная отрицательно. Ядро состоит из частиц двух типов: положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов. Оба типа частиц имеют общее название «нуклоны» и относятся к классу адронов и, как и другие андроны, в свою очередь сами состоят из элементарных частиц — кварков; поэтому протон и нейтрон в строгом смысле элементарными частицами не являются. Протоны и нейтроны характеризуются одинаковой массой, равной $1{,}67 \cdot 10^{-24}$ г, называемой «атомной единицей массы» (сокращенно — а.е.м.); электрон же намного легче нуклонов, его масса равна 0,00055 а.е.м. Из этих данных понятно, что наибольший вклад в массу атома вносят именно нуклоны. Достаточно большое разнообразие элементов (и их изотопов) обеспечивается наличием частиц всего трех типов, которые принимают участие в создании атомов.

Химический элемент — это определенный вид атомов, характеризующийся одинаковым зарядом ядра.

Установлено, что численно заряд электрона ($-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл) и протона ($1{,}6\text{-}10^{-19}$ Кл) равны и имеют название «условный единичный заряд»; для соблюдения правила электронейтральности атомов необходимо, чтобы сумма условных единичных зарядов была равна нулю, то есть чтобы количества протонов и электронов в атоме были одинаковы. А вот количество нейтронов в ядре атома, которое не влияет на суммарный заряд атома, может варьировать. Атомы одного и того же элемента, имеющие в ядре разное количество нейтронов и, соответственно, разную массу, называются изотопами.

Каждый элемент имеет свое название и краткое стандартное обозначение из одной или двух букв латинского алфавита (например, C — от лат. *carbon* — для углерода, H — от лат. *hydrogen* — для водорода, Fe — от лат. *ferrum* — для железа). Из этих знаков складывается своеобразный язык хи-

мии — химические формулы, которые зашифровывают строение вещества; химические реакции тоже пишутся с использованием химических формул. Специальные международные конгрессы ИЮПАК (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) неоднократно собирались в течение всего XX в. для того, чтобы привести к единому международному стандарту химические формулы и термины. Поэтому химикам разных стран не обязательно изучать иностранные языки, они хорошо понимают друг друга с помощью интернационального языка химиков.

В настоящее время известно более 110 элементов. Некоторые элементы известны с древних времен (не в чистом виде, с возможными примесями, — например, железо, а также любимые алхимиками ртуть, сера), еще до того, как в XVII в. известный английский ученый Роберт Бойль дал первое научное определение понятия «химический элемент». *Согласно его определению, элемент — это простое тело, предел химического разложения вещества, переходящее без изменения из состава одного сложного тела в состав другого*.

Примерно за 200 последующих лет, к моменту открытия Д. И. Менделеевым его знаменитой Периодической системы элементов, ученые владели знаниями о 63 элементах. Сравнительный анализ показывал, что многие элементы обладают похожими физическими и химическими свойствами и их можно объединять в группы, создавая тем самым классификацию химических элементов. Необходимость в подобной классификации как в удобном и эффективном методе познания свойств вещества, а главное, предсказания свойств известных к тому времени и еще не открытых элементов, стала настоятельной к середине XIX в.

Открытие в 1869 г. великим русским ученым Дмитрием Ивановичем Менделеевым Периодического закона и разработка Периодической системы химических элементов, в которой сумма знаний об элементах была приведена в стройный порядок, полностью решили эту задачу.

Менделеев считал, что основой классификации химических элементов являются их атомные веса. Периодический закон в его интерпретации был сформулирован следующим образом: «Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных весов элементов». Менделеев не только классифицировал в своей системе известные к тому времени элементы, но и предсказал открытие новых элементов, для которых он зарезервировал определенные места в своей Периодической таблице, причем не только предсказал открытие, но и

описал физические и химические свойства этих элементов. Д. И. Менделеев ввел понятие порядкового номера Z-элемента и, расположив химические элементы в порядке возрастания их номера, получил полную периодичность в изменении химических свойств элементов. Физический смысл порядкового номера Z-элемента в периодической системе был установлен в ядерной модели атома Резерфорда: Z совпадает с числом положительных элементарных зарядов в ядре (протонов) и, соответственно, с числом электронов в оболочках атомов.

Все предсказанные Менделеевым элементы были впоследствии открыты разными учеными разных стран в XIX и XX вв. Среди них полоний и радий, открытые Пьером и Марией Кюри, радон, открытый Эрнстом Резерфордом, и др. Все пустые места в таблице Менделеева были заполнены, и сейчас таблица наращивается, продолжая заполняться новыми трансурановыми элементами, которые образуются в результате ядерного синтеза в искусственных условиях циклотронов, то есть ускорителей элементарных частиц.

Периодический закон и система Менделеева представляли собой гениальное эмпирическое обобщение фактов, а их физический смысл долгое время оставался непонятным. Происходило это потому, что ученые того времени не имели представления о сложной структуре атома. Открытие протона, нейтрона, электрона и других элементарных частиц, открытие деления ядра атома, разработка квантовой модели атома Бора-Резерфорда и квантовой физики в целом — все это научные реалии XX в.

На базе современных фундаментальных физических представлений периодический закон был сформулирован несколько иначе: «Свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атома».

В заключение следует сказать об изотопах элементов. Как правило, изотопы различных элементов не имеют собственных названий, а повторяют название элемента; при этом атомная масса данного изотопа — его единственное отличие от других изотопов этого же элемента — отражается с помощью верхнего индекса в химической формуле элемента: например, для изотопов урана — ${}^{235}_{92}U$ и ${}^{238}_{92}U$. Единственным исключением из правил номенклатуры изотопов является элемент № 1 — водород. Все три известных па настоящий момент изотопа водорода имеют не только собственные специальные химические символы, но и собственное название: ${}^{1}H$ — протий, ${}^{2}D$ — дейтерий, ${}^{3}T$ — тритий; при этом ядро протия — это просто один протон, ядро дейтерия содержит один протон и один нейтрон, ядро трития — один протон и два нейтрона. С названиями изотопов водорода так исторически сложилось по-

тому, что относительное различие масс изотопов водорода, вызванное добавлением одного нейтрона, является максимальным среди всех химических элементов.

Все изотопы можно подразделить па стабильные (устойчивые), то есть не подверженные самопроизвольному распаду ядер атомов на части (распад в таком случае называется радиоактивным), и нестабильные (неустойчивые) — радиоактивные, то есть подверженные радиоактивному распаду. Большинство широко распространенных в природе элементов состоит из смеси двух или большего числа стабильных изотопов: например, ^{16}O, ^{12}C. Из всех элементов наибольшее число стабильных изотопов имеет олово (10 изотопов), а, например, алюминий существует в природе в виде только одного стабильного изотопа — остальные его известные изотопы неустойчивы. Ядра нестабильных изотопов самопроизвольно распадаются, выделяя при этом α-частицы (дважды ионизованные атомы гелия, то есть два протона и два нейтрона) и β-частицы (электроны) до тех нор, пока не образуется стабильный изотоп другого элемента: например, распад ^{238}U (радиоактивного урана) завершается образованием ^{206}РЬ (стабильного изотопа свинца). При изучении изотопов установлено, что они не различаются по химическим свойствам, которые, как нам известно, определяются зарядом их ядер и не зависят от массы ядер.

7.3. Химическое соединение, химическая связь

Многообразие объектов, изучаемых в рамках химии, вовсе не исчерпывается только элементами и изотопами. *Химические элементы объединяются в более сложные системы, называемые химическими соединениями.* На уровне микромира это описывается как образование из атомов более сложных (составных) частиц — молекул.

Наименьшей частицей, обладающей свойствами какого-либо вещества являются молекулы. *Молекула* — это электронейтральная наименьшая совокупность атомов, образующих определенную структуру посредством так называемых химических связей. Например молекула простого вещества кислорода O_2 образована из двух атомов и имеет все свойства кислорода как химического вещества (атомы кислорода имеют несколько другие свойства). Каким бы путем любое вещество не было получено, оно имеет постоянные свойства.

Рассматривая химические системы необходимо знать, что ее свойства зависят не только от состава и строения элементов, но и от их взаимодействия. Поэтому при изучении химических систем ученым приходиться изучать

и их структуру. Например, в такой химической системе, как молекула, именно характер взаимодействия составляющих ее атомов определяет свойства молекулы.

Химическая связь представляет собой одно из фундаментальных физических взаимодействий — *электромагнитное*. Возможность вступить в химическую связь атомы получают за счет потери своей электронейтральности в результате отрыва одного или нескольких электронов (положительный заряд) или присоединения одного или нескольких электронов (отрицательный заряд). Далее противоположно заряженные частицы — ионы — притягиваются к другу, нейтрализуя свои заряды и образуя в итоге молекулу химического соединения, обладающую свойством электронейтральности. В данном примере рассмотрена так называемая ионная химическая связь, характеризующаяся наивысшей энергией связи, возможной среди всех ее типов. Другие известные типы химической связи — ковалентная, донорно-акцепторная и др. — также связаны с электромагнитными взаимодействиями; только в этих случаях происходит не отрыв электронов от атома, а их некоторое смещение от нейтрального положения, в результате чего также образуется некий заряд.

Процесс образования молекул из атомов называется *химической реакцией*.

Периодическая система элементов определяет для каждого элемента:

♦ тип и заряд заряженной частицы (иона);

♦ типы химических соединений, в которые могут вступать атомы данного элемента, то есть, по сути, химические формулы молекул;

♦ типы химических связей, которые могут реализоваться в таких молекулах;

♦ типы химических реакций, в которые может вступать данный элемент.

Молекулы могут содержать атомы только одного элемента, в этом случае такие вещества называются простыми. Многочисленные примеры — существование чистых металлов (особенно химически инертных драгоценных металлов — золота, платины), инертных газов — пеона, радона и др. У некоторых простых веществ молекулы состоят из двух и более одинаковых атомов — это так называемые двухатомные газы, например кислород O_2, галогены — газы фтор F_2 и хлор $C1_2$, жидкость бром $Вг_2$, твердое вещество йод J_2. Молекула известного газа озона содержит три атома кислорода по формуле 0_3, а молекула белого фосфора — четыре атома фосфора P_4.

Вещества, молекулы которых состоят из атомов разных элементов, называются сложными веществами, или химическими соединениями, например: соединения разных элементов с кислородом называются оксидами, с

фтором — фторидами, с хлором — хлоридами. Все химические соединения объединены в классы, и названия соединений разных классов определяется согласно международным стандартам номенклатуры химических соединений ИЮПАК.

Традиционно химические соединения подразделяют на *неорганические* — соединения всех элементов Периодической системы, и *органические* — соединения углерода и некоторых других элементов, в которых атомы углерода соединены между собой в цепи (соответственно оформились фундаментальные направления химической пауки — неорганическая и органическая химия). Всего химических соединений на настоящий момент известно несколько миллионов, и их количество постоянно растет за счет синтеза новых органических соединений.

В настоящее время известно более110 элементов, а число образуемых ими простых веществ — около 400. Такое различие объясняется способностью некоторых элементов существовать в виде различных простых веществ, отличающихся как по химическим, так и по физическим свойствам. *Это явление получило название аллотропии*, а сами различные вещества — аллотропными модификациями. Свойством образовывать аллотропные модификации обладают как простые вещества, например рассмотренные выше соединения двухатомный кислород и трехатомный озон (не менее известный пример — аллотропия углерода С: уголь, алмаз, графит, шунгит — химическая формула всех перечисленных соединений одна и та же, так и сложные соединения, например многочисленные аллотропные формы оксида кремния (речной песок, минерал кварц и др.) и оксида алюминия (глинозем и корунд).

7.4. Химическая реакция, ее скорость, кинетика и катализ, биокатализаторы

Для установления состава химических соединений очень важен закон постоянства их состава. Положения этого закона позволили химикам отделять настоящие химические соединения от простых смесей. Впервые в истории химии этот закон был сформулирован французским химиком Ж. Прустом в начале XIX в.:

Любое индивидуальное химическое соединение обладает строго определенным неизменным составом, прочным притяжением составных частей и тем самым отличается от смесей.

Теоретически закон постоянства состава обосновал английский естествоиспытатель Д. Дальтон в своем знаменитом законе кратных отношений:

«соединения состоят из атомов двух или нескольких соединений, образующих определенные сочетания друг с другом». В его честь все химические соединения постоянного состава (а их подавляющее большинство среди веществ) называют дальтонидами.

Закон постоянства состава вещества использовал и Д. И. Менделеев при разработке своей периодической системы — постоянство состава соединений, которые может образовывать данный элемент, следует из его положения в периодической таблице Менделеева. Представление о составе вещества — одно из концептуальных понятий для химии как естественной науки. Постоянство состава химических соединений обусловлено физической природой химических связей, объединяющих атомы в одну квантово-механическую систему — молекулу.

Необходимость выработки строгих научных принципов относительно состава вещества позволила химикам успешно развить строгое научное понятие *химической реакции как процесса образования новых химических соединений*. В химической реакции участвуют исходные вещества, которые реагируют друг с другом и с течением времени превращаются в новые вещества, называемые продуктами реакции. Из закона постоянства состава вещества следует постоянство не только состава молекул продуктов реакции, но и постоянство количественных соотношений (массовых долей) исходных веществ.

Стехиометрия — раздел химии, в котором рассматриваются массовые или объемные отношения между реагирующими веществами. Законы стехиометрии так же непреложны, как и любые другие естественнонаучные законы; кроме того, их знание очень полезно для прикладной химии, потому что позволяет количественно рассчитать выход химической реакции и необходимое количество исходных веществ.

Процесс получения новых химических соединений с учетом стехиометрических соотношений обычно записывается в виде уравнения химической реакции, например:

$$6HCL + 2HN0_3 = 3CL_2 + 2NO + 4H_20, \qquad (7.1)$$

где

♦ химические формулы слева от знака равенства обозначают исходные вещества;

♦ химические формулы справа от знака равенства обозначают продукты

реакции;

♦ цифры перед формулами химических соединений являются так называемыми стехиометрическими коэффициентами; они раскрывают массовые (или объемные) соотношения веществ.

В уравнении химической реакции нашел свое отражение еще один фундаментальный закон естествознания — закон сохранения вещества, открытый нашим соотечественником М.В. Ломоносовым и независимо от него — французом А.Л. Лавуазье. Именно в соответствии с этим законом и получается математическое выражение — уравнение: масса данного элемента слева от знака равенства должна быть равна массе этого же элемента справа от знака равенства, а стехиометрические коэффициенты уравнивают (не только математический, но и химический термин!) данную реакцию.

Проникновение математических понятий, выражений, терминов (уравнения, коэффициенты) в химию, смешение терминологий означает, что на важном историческом этапе формирования химии как науки (XVIII-XIX вв.) она развивалась в соответствии с научной парадигмой того времени — классической механикой. Применительно к химии эта парадигма могла бы быть выражена следующим образом: любой закон природы можно представить в виде математического соотношения, записываемого с участием химических формул.

Еще один интересный случай проникновения классического ньютоновского подхода в химию — понятие о скорости химической реакции. Пытаясь получить новые химические соединения, ученые-химики разных эпох неоднократно отмечали тот факт, что некоторые вещества реагируют друг с другом мгновенно, часто со взрывом, а другие — медленно, в течение нескольких часов (суток). Скорости многих химических процессов были установлены эмпирическим путем. Процесс химической реакции можно рассматривать как процесс изменения концентраций начальных и конечных продуктов реакции, и, согласно классической механике, для любого процесса изменения (движения) во времени всегда можно рассчитать скорость этого изменения.

Современные квантовые представления о химических процессах рассматривают химическую реакцию как перераспределение электронов между статистически вероятными энергетическими уровнями участвующих молекул, создание межмолекулярных промежуточных реакционных комплексов и получение новых продуктов как энергетически выгодных состояний молекул. В рамках этих представлений классическая скорость реакций не имеет смысла, так как каждое новое энергетическое состояние рассматривается в рамках

пространственно-временного континуума и перебор энергетических состояний продолжается до достижения наиболее энергетически выгодного. Тем не менее классические представления о химических процессах активно используются в современной химии, особенно в прикладных областях химии и в химических науках, лежащих на стыке с биологией, — биохимии, молекулярной биологии и др.

Закономерным этаном применения знаний об условиях протекания химических процессов стало развитие науки о том, как можно оказывать на них влияние и ими управлять. Такая наука получила название химической кинетики, в котором также нашла отражение классическая парадигма, ведь кинетика — это наука о движении. Но в классической кинетике скорость — векторная величина, то есть имеет направление. Точно так же и в химической кинетике имеет значение направление химической реакции — различают реакцию прямую, то есть такую, в результате которой из исходных веществ получаются продукты реакции, и реакцию обратную, при которой происходит разложение продуктов с получением исходных веществ. Так в химическую кинетику было введено понятие о химическом равновесии — состоянии, когда скорости прямой и обратной реакции равны между собой.

В рамках химической кинетики было сделано немало полезных открытий, которые показывают, как можно увеличивать скорость химических процессов за счет подбора условий — повышения температуры реакции, давления (если реакция протекает в газовой фазе), как можно сдвинуть химическое равновесие в сторону получения полезных продуктов реакции, не содержащих остатков непрореагировавших исходных продуктов, и т. д.

Эпохальным стало открытие веществ, которые при добавлении к реакционной смеси способны увеличить скорость реакции, при этом оставаясь неизменными (не меняя своего состава). Эти вещества получили название *катализаторов, то есть ускорителей*, а их применение — катализ. Сейчас сложно даже перечислить все химические промышленные процессы, где применяются катализаторы, — столь велико их число, особенно в органической химии. Известные примеры промышленного катализа — каталитический крекинг нефтепродуктов с получением углеводородов, применяемых в качества топлива (бензины, дизельное топлива и т. д.), получение твердого заменителя сливочного масла — маргарина — из жидких растительных масел и т. д.

Интересно, что наряду с огромным количеством реализованных учеными ускоряемых искусственными катализаторами химических процессов су-

ществуют природные катализаторы и природные каталитические процессы. Пример природного катализа — процесс коррозии металлического железа, «ржавление», то есть его окисление в природе с образованием оксидов — ржавчины, происходит под действием катализатора воды. В связи с этим интересен факт применения веществ, замедляющих некоторые нежелательные химические процессы, например тот же процесс коррозии металлического железа. Эти вещества называются *ингибиторы, то есть замедлители*. Легирующие добавки к сталям для защиты их от коррозии (получение нержавеющих сталей) — вот пример применения ингибиторов в промышленности. Как и катализаторы, ингибиторы бывают природного происхождения, например ингибиторы гниения — натуральные консерванты, которые продуцируются некоторыми растениями.

Катализаторы и ингибиторы играют большую роль в биологических процессах. Известные всем *ферменты это биокатализаторы*, то есть вещества, которые ускоряют биохимические процессы внутри организмов живых существ, причем живые существа самостоятельно синтезируют эти ферменты в различных органах и тканях. Ферменты управляют всеми процессами метаболизма у всех растений и животных, причем, чем выше уровень организма, тем большее количество ферментов используется в нем. На настоящий момент неизвестно даже приблизительно общее количество ферментов человеческого организма, оценочное число — несколько тысяч.

Интересны факты использования жизненно важных ферментов, которые не может синтезировать человеческий организм, и поэтому исходные вещества для внутреннего синтеза ферментов — так называемые коферменты — он, как гетеротрофный организм, получает извне от растений и животных. Это всем известные витамины, «вещества жизни», необходимые человеку на протяжении всего его жизненного цикла. Внутри человеческого организма они трансформируются в ферменты. Согласно представлениям современной эволюционной химии, роль природных катализаторов очень важна в процессах эволюции неживой и живой материи.

7.5. Взаимосвязь химического строения и структуры неорганических и органических соединений. Изомерия и ее виды

Для описания химического соединения часто бывает важным знание не только его состава, то есть записи его химической формулы, но и знание так называемой структуры. Говоря о структуре вещества, химики всегда имеют в виду его молекулярное строение. *Под термином «структура» подразумева-*

ется расположение в пространстве атомов при образовании молекулы вещества. Согласно современным представлениям, *структура молекул — это пространственная и энергетическая упорядоченность квантово-механической системы, состоящей из атомных ядер и электронов*. Суть дела в том, что электроны, реализуя статистический набор состояний вблизи собственного атомного ядра при образовании химической связи, вступают во взаимодействие с электронами и ядрами других атомов и некоторые до этого статистически доступные «места» в пространстве занять не могут. Особенности фундаментального электромагнитного взаимодействия нескольких заряженных объектов микромира приводят к тому, что атомы в молекулах оказываются «локализованы» в строго определенных «местах», положение в пространстве которых можно рассчитать с помощью математического аппарата квантовой химии. В современной химии разработана система наглядного изображения пространственных структур молекул, которая очень полезна как в процессе познания природы химических соединений, особенно в органической химии, так и для решения практических задач химического синтеза этих соединений. Начало изучению структуры органических соединений было положено в теории строения органических соединений, разработанной великим русским химиком А.М. Бутлеровым (1860 г.). *Изучением пространственных структур химических соединений занимается современная наука стереохимия*, являющаяся подразделом органической химии.

С понятием «пространственная структура органических соединений» неразрывно связано одно из интереснейших явлений природы нашей планеты, аналогичное явлениям радиоактивной изотопии элементов и аллотропии простых и сложных неорганических веществ. Как и в упомянутых случаях, *одной химической формуле органического соединения, то есть одному составу вещества, соответствуют разные соединения с разными физическими или химическими свойствами, и основное различие между ними заключено в разной пространственной структуре молекул этих соединений. Это явление называется изомерией органических соединений*. Изомеры органических соединений, несмотря на то, что имеют одинаковые химические формулы, называются по-разному, и их названия также соответствуют строгой номенклатуре химических соединений. В стереохимии рассматривается изомерия разных видов — изомерия предельных углеводородов, непредельных углеводородов, кислородсодержащих органических соединений, оптическая изомерия сложных органических соединений.

А что же неорганические соединения? Есть ли в этом классе химических соединений проблемы, связанные с пространственной структурой молекул? Да, есть. Неорганические соединения (не все) в твердом состоянии способны образовывать надмолекулярные комплексы повторяющегося состава и сложной объемной пространственной структуры. Они называются кристаллами. А структура кристаллов, характеризующаяся высокой степенью упорядоченности, называется кристаллической структурой, или кристаллической решеткой.

7.6. Нанотехнологии

В настоящее время в науке возникло новое направление нанотехнологии. Название нового направления в науке возникло просто в результате добавления к общему понятию «технология» приставки «нано». «Нано», так же как и «милли», и «микро», — приставки к выражениям единиц линейных размеров, 1 мм = 10^{-3} м, 1 мкм = 10^{-6} м, а 1 нм = 10^{-9} м.

К нанотехнологиям принято относить процессы и объекты с характерной длиной менее 100 нм. Верхняя граница нанообласти соответствует элементам в так называемых БИС (больших интегральных схемах), широко применяемым в полупроводниковой и компьютерной технике. Что касается нижней границы, то размером в 1 нм и около того обладают отдельно взятые молекулы (радиус знаменитой двойной спирали молекулы ДНК равен 1 нм, а многие вирусы имеют размер приблизительно 10 нм).

Нанотехнологии имеют дело с ничтожно малыми величинами, сопоставимыми с размерами атомов. Поэтому переход от «микро» к «нано» — это уже не количественный, а качественный переход, скачок от манипуляции веществом к манипуляции отдельными атомами. Теперь ученые могут оперировать объектами микромира непосредственно: искусственно создавать микрообъекты, перемещать их в пространстве, закреплять их на поверхности, то есть действовать так, как будто мы имеем дело с привычными нам макрообъектами.

В научных центрах мира развитие нанотехнологии идет в основном по трем направлениям:

- изготовление электронных схем (в том числе и объемных) с активными элементами, величиной примерно со среднюю молекулу;

- разработка и изготовление наномашин, то есть механизмов и роботов такого же размера;

- непосредственная манипуляция атомами и молекулами и сборка из них всего сущего. Именно поэтому они представляются весьма перспективными для получения новых конструкционных материалов, полупроводниковых приборов, устройств для записи информации, ценных фармацевтических препаратов и т. д.

Нанотехнология носит *междисциплинарный характер*.

Начало нанонауки положил в 1959 г. знаменитый американский физик, лауреат Нобелевской премии Ричард Ф. Фейнман, который впервые рассмотрел возможность создания веществ (а затем, естественно, отдельных элементов, деталей и целых устройств) совершенно новым способом, а именно «атомной укладкой», при которой человек манипулирует нужными атомами поштучно, располагая их в требуемом ему порядке.

В 1981 г. сотрудники фирмы *IBM* создали сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), позволявший получать изображение с разрешением на уровне размеров отдельных атомов. Работая со сканирующим микроскопом, экспериментаторы стали проводить прямые технологические операции на атомарном уровне. Прикладывая к зонду СТМ соответствующее напряжение, его можно использовать в качестве своеобразного атомного «резца» или «укладчика». Впервые это удалось сделать в США сотрудникам лаборатории *IMB* под руководством Д. Эйглера, которые сумели выложить на поверхности монокристалла никеля название своей фирмы из 35 атомов ксенона. В целом описанная техника создает много возможностей как для манипуляций на уровне отдельных атомов, так и для изучения их структур и поведения.

В 1990 г. началась реализация огромного международного проекта по определению последовательности укладки около 3 млрд. нуклеотидных остатков в записи генетической информации — проекта «Геном человека», ставшего ярким прорывом в биологии и медицине. Этот проект одновременно является исключительно важным для развития нанотехнологии, поскольку открывает новые огромные возможности в информационных технологиях, позволяя понять, а затем и использовать принципы обработки информации в живой природе (биоинформатика).

В настоящее время нанотехнологий все больше и больше входят в нашу жизнь. Нанотехнологический контроль изделий и материалов, буквально на уровне атомов, в некоторых областях промышленности стал обыденным делом. Реальный пример — DVD-диски, производство которых было бы невозможно без нанотехнологического контроля матриц. Очень популярны в промышленных устройствах очистки питьевой воды и получении сверхчистой воды так назы-

ваемые нанофильтрационные мембранные фильтры, позволяющие задерживать частицы молекулярного размера. Этот список можно продолжить:

♦ «нанотрубки» и «нанонити» («нановолокна»), состоящие из 60-70 молекул, как новое состояние поверхности вещества и создание сверхлегких материалов;

♦ нанозеркала для лазеров со сверхвысокой отражающей способностью;

♦ атомная игла — сверхтонкая игла, сужающаяся на острие едва ли не до единственного атома, которая как атомный щуп изучает рельеф поверхности на молекулярном уровне;

♦ нанороботы-манипуляторы, создающие разные типы поверхностей путем переноса отдельных молекул;

♦ наногенераторы электрического заряда внутри человеческого организма для электропитания имплантатов;

♦ диагностика качества пищевых продуктов с помощью наносенсоров для выявления опасных химических или биологических загрязнителей пищевых продуктов;

♦ нанограмулы, которые внутри человеческого тела доставляют молекулу лекарственного препарата не просто к органу-мишени, но прямо к рецептору, который, по сути, также является молекулой и отвечает за реализацию физиологического эффекта;

♦ нанокод, то есть молекулы антител, иммобилизованные на поверхности нанонитей для идентификации антигенов (то есть чужеродных веществ) по иммунной реакции;

♦ наночастицы косметического крема, проходящие через мембраны клеток кожи, для настоящего клеточного питания дермы — и это далеко не полный перечень использования нанотехнологий в XXI в.

Наноматериалы – материалы, разработанные на основе наночастиц с уникальными характеристиками, вытекающими из микроскопических размеров их составляющих.

Углеродные нанотрубки — протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей (графенов) и обычно заканчивающиеся полусферической головкой.

Фуллерены — молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие — алмаз, карбин и графит) и представляю-

щие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода.

Графен — монослой атомов углерода, полученный в октябре 2004 года в Манчестерском университете. Графен можно использовать, как детектор молекул (NO_2), позволяющий детектировать приход и уход единичных молекул. Графен обладает высокой подвижностью при комнатной температуре, благодаря чему как только решат проблему формирования запрещённой зоны в этом полуметалле, обсуждают графен как перспективный материал, который заменит кремний в интегральных микросхемах.

Нанокристаллы — в начале 2005 года компания Altair Nanotechnologies (США) объявила о создании инновационного нанотехнологического материала для электродов литий - ионных аккумуляторов. В мае 2006 успешно завершились испытания автомобильных наноаккумуляторов. В июле 2006 Altair Nanotechnologies получила первый заказ на поставку литий - ионных аккумуляторов для электромобилей.

Наномедицина и химическая промышленность – направление в современной медицине основанное на использовании уникальных свойств наноматериалов и нанообъектов для отслеживания, конструирования и изменения биологических систем человека на наномолекулярном уровне.

ДНК-нанотехнологии — используют специфические основы молекул ДНК и нуклеиновых кислот для создания на их основе четко заданных структур.

Промышленный синтез молекул лекарств и фармакологических препаратов четко определенной формы (бис-пептиды).

Компьютеры и микроэлектроника

15 октября 2007 года компания Intel заявила о разработке нового прототипа процессора, содержащего наименьший структурный элемент размерами примерно 45 нм. В дальнейшем компания намерена достичь размеров структурных элементов до 5 нм. Основной конкурент Intel, компания AMD, также давно использует для производства своих процессоров нанотехнологические процессы, разработанные совместно с компанией IBM. Уже существуют рабочие образцы процессоров с транзисторами размером 45 нм и опытные образцы на 32 и 22 нм.

Компания Infineon Technologies AG сообщила о том, что ее разработчиками была создана самая маленькая в мире энергонезависимая ячейка флэш-памяти (2004 г.). Ее размеры не превышают 20 нм. Компонент, созданный Infineon способен хранить электроны, переносящие информацию, в нитридном слое, который располагается электрически изолированным между управ-

ляющим электродом шириной в 20 нм и кремниевым стабилизатором, толщина которого составляет всего 8 нм. Компонент способен обеспечить не только высокую надежность работы, но и прекрасные электрические характеристики. Например, наиболее выдающиеся из присутствующих в настоящее время на рынке образцы флэш-памяти для надежного хранения 1 бита информации нуждаются примерно в 1 тыс. электронов. Созданная же Infineon ячейка памяти использует для аналогичного действия лишь 100 электронов, а еще 100 используются для хранения второго бита на том же транзисторе (для сравнения: 100 — примерное число электронов в одном атоме золота). И несмотря на столь низкий уровень заряда опытные образцы ячеек памяти Infineon обладают превосходными электрическими характеристиками.

Kingston выпустила первую в мире флэш-карту на 256 гигабайт (21.06.2009 Информационные технологии Lenta.ru).

Перспективы нанотехнологий в микроэлектронике

В Рочестерском университете уже разрабатываются методы управления *отдельными атомами* при изготовлении транзисторов и микросхем, что должно радикально повысить их производительность.

В так называемом «транзисторе с баллистическим отклонением» отдельный электрон пропускается через поляризованный затвор и отражается от клиновидного препятствия. Электрическое поле затвора отклоняет электрон к одной или другой стороне канала так, что он отталкивается от правой или от левой грани клина и отражается вправо или влево, что соответствует логическому нулю или логической единице.

Робототехника

Молекулярные роторы — синтетические наноразмерные двигатели, способные генерировать крутящий момент при приложении к ним достаточного количества энергии.

Нанороботы — роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой, обладающие функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Нанороботы, способные к созданию своих копий, то есть самовоспроизводству, называются репликаторами.

Молекулярные пропеллеры — наноразмерные молекулы в форме винта, способные совершать вращательные движения благодаря своей специальной форме, аналогичной форме макроскопического винта.

С 2006 года в рамках проекта RoboCup (чемпионат по футболу среди роботов) появилась номинация «Nanogram Competition», в которой игровое поле представляет из себя квадрат со стороной 2.5 мм. Максимальный размер игрока ограничен 300 мкм.

MR- и GMR- технологии

В области чтения информации на магнитных носителях разработчики наметили простейший путь увеличения емкости жестких дисков — увеличение поверхностной плотности записи данных, которая указывает на то, сколько бит данных может быть записано на единице площади поверхности дисковой пластины и измеряется в гигабитах на квадратный дюйм — Гбит/кв. дюйм. Плотность записи информации на поверхности на самом деле является производной величиной и вычисляется как произведение двух других показателей — линейной плотности, (указывает на количество бит данных, которые могут быть размещены на участке трека в один дюйм, измеряется в Кбит/дюйм) и плотности треков (указывает на количество концентрических треков, которые могут быть размещены на радиальном участке длиной в один дюйм). Попытки увеличения чувствительности TFI-головок (наращивание количества витков обмотки) привели к возрастанию индуктивности, которая, к сожалению, ограничила возможности записи при помощи таких головок. Дальнейший поиск возможностей увеличения поверхностной плотности записи привел к появлению MR-головок (magnetoresistive, магниторезистивный). Однако все достижения MR-технологии выглядят достаточно скромно на фоне перспектив развития новой GMR-технологии (giant magnetoresistive, гигантский магниторезистивный). С открытием GMR-эффекта, в мире произошло вытеснение с рынка считывающих индуктивных головок.

GMR-эффект был открыт сотрудниками одной из исследовательских лабораторий IBM в 1988 году. К 1991 году IBM изготовила многослойные поликристаллические GMR-образцы, полученные методом напыления. В том же году были разработаны образцы GMR-структур, чувствительных к слабым магнитным полям, которые создаются магнитной поверхностью. В 1994 году IBM объявила о создании первого в мире сенсорного элемента на основе GMR-эффекта, способного считывать данные с магнитной поверхности жесткого.

В 2007 году Питер Грюнберг и Альберт Ферт получили Нобелевскую премию по физике за открытие GMR-эффекта (гигантский магниторезистивный эффект), позволяющего производить запись данных на жестких дисках с атомарной плотностью информации.

GMR-эффект возникает вследствие квантовых свойств электронов, которые имеют такую характеристику, как «спин». Спин электронов может иметь только два направления — вверх и вниз. Электроны проводимости со спином, направление которого совпадает с направлением магнитного поля внутри GMR-среды, испытывают меньшее сопротивление при движении и имеют большую свободу перемещения, чем электроны со спином, ориентированным против внутреннего магнитного поля, которые испытывают большее сопротивление при движении и чаще сталкиваются с атомами среды. В первом случае электрическое сопротивление среды будет меньше, чем во втором. На этом эффекте и построена работа GMR-сенсора.

Главные достоинства GMR-датчиков – высокая чувствительность даже к незначительному изменению магнитного поля, малые габариты, малая потребляемая мощность, простота объединения с электронными устройствами, низкая чувствительность к помехам. Эти свойства и привели к тому, что элементы на основе гигантского магниторезистивного эффекта в первую очередь нашли применение в считывающих головках жестких дисков.

Это позволило примерно за десятилетие увеличить плотность записи жестких дисков с 4,1 до 100 Гбайт/кв. дюйм.

Найденное Грюнбергом и Фертом явление – чисто квантовомеханический эффект, и учёные надеются, что когда-нибудь ГМС поможет созданию квантового компьютера. В какой-то мере можно сказать, что квантовый компьютер будет способен проводить вычисления одновременно со всеми числами, которые могут храниться у него в памяти. Классический компьютер может делать это лишь последовательно (параллельные вычисления – это просто вычисления на множестве процессоров). Если квантовый компьютер будет хранить информацию в виде спина электрона (а так полагают большинство исследователей), GMR-эффект должен сыграть важную роль в его создании.

Таблица 7.1

Размеры молекул и частиц некоторых веществ в нанометрах

Вещество	Диаметр молекулы, нм
Азот	0,32
Вода	0,30
Водород	0,25
Гелий	0,20
Кислород	0,30
Оксид углерода (IV)	0,33
Оксид углерода (II)	0,32
Хлор	0,37
Размеры частиц пыли	0,1-0,001 мм
Размер частиц тумана	0,01-0,001 мм
Размер Броуновской частицы	40 нм
Размер молекулы гемоглобин	0,4 нм
Линейные размеры атома	~ 0,1 нм
Радиус атома водорода	0,053 нм
Радиус атома гелия	0,105 нм
Радиус атома урана	0,15 нм

Таблица 7.2

Характерные порядки размеров

	Линейные размеры	Поперечное сечение	Объем
Атом	10^{-8} см	10^{-16} см^2	10^{-24} см^3
Ядро	10^{-12} см	10^{-24} см^2	10^{-36} см^3
Отношение	10^4	10^8	10^{12}

Масса электрона (0,91 10^{-27} г) значительно меньше (примерно в 1840 раз) массы протона или нейтрона (1,67 10^{-24} г), и поэтому масса атома в целом определяется в основном массой его ядра. Масса атома приближённо равна массовому числу A и изменяется от 1,67 10^{-24} г для самого лёгкого атома водорода (основного изотопа: Z = 1, A = 1) до примерно 4 10^{-22} г для самых тяжёлых атомов трансурановых элементов (Z = 100, A = 250).

ГЛАВА 8. ЭНТРОПИЯ, КИБЕРНЕТИКА И СИНЕРГЕТИКА

8.1. Энтропия и вероятность

Важнейшим успехом термодинамики классического периода явилась формулировка так называемого второго начала термодинамики, согласно которому *для замкнутых (изолированных) систем тепло самопроизвольно может передаваться только от тел с большей температурой к телам с меньшей температурой и никогда наоборот.*

Первый закон термодинамики (первое начало термодинамики) утверждает, что если система совершает термодинамический цикл (т.е. возвращается в исходное состояние) то полное количество теплоты, сообщенное системе на протяжении цикла, равно совершенной ее работе: $\Delta E = \Delta Q + \Delta A$.

Третий закон термодинамики гласит о том, что энтропия стремиться к нулю, при стремлении температуры к нулю.

Процессы теплопередачи, второе начало термодинамики количественно описывает *необратимые процессы*, что в корне отличается от процессов классической ньютоновской механики, у которой все законы *обратимыми*.

Для характеристики направленности процессов теплопередачи была введена величина $\boldsymbol{S}$, названная *энтропией* (дословно «способность к превращениям»). В конце прошлого века Больцман убедительно показал, что энтропия является мерой неопределенности, непредсказуемости состояния системы, мерой хаоса ($S = k\ lnW$, где k - постоянная Больцмана, W – статистический вес состояния системы). *Физический смысл энтропии по мнению Больцмана — мера беспорядка в системе. Полный порядок соответствует минимуму энтропии, любой беспорядок ее увеличивает. Максимальная энтропия соответствует полному хаосу.*

Второй закон термодинамики утверждает, что в изолированной термодинамической системе энтропия никогда не может уменьшаться. Она или постоянна при обратимых процессах или только увеличивается при необратимых процессах, то есть $\Delta S > 0$. Переход системы из неравновесного состояния в равновесное необратим, поэтому также $\Delta S > 0$.

В основе термодинамики лежит различие между двумя типами процессов — обратимыми и необратимыми. Обратимые процессы могут протекать только через равновесные состояния (очень медленно – квазистатические процессы). *Равновесное состояние – это состояние в котором система может находится бесконечно долго, если внешние условия не меняются.* Необходимое условие равновесного состояния – это одинаковость температуры во всех частях системы. Равновесный процесс обратим. Понятие энтропии

позволяет отличать в случае изолированных систем обратимые процессы (энтропия максимальна и постоянна) от необратимых процессов (энтропия возрастает).

Законы классической механики имеют универсальный характер, т.е. они относятся ко всем без исключения изучаемым объектам. Их особенностью является то, что их предсказания достоверны и однозначны. Но законы, действующие для *статистических систем* (систем с множеством объектов) не являются однозначными, а только *вероятностными*. По этой причине эти законы носят название вероятностных, или — статистических, т.к. информация носит статистический характер. Эта исходная информация об объектах исследования собирается, например, методом длительных наблюдений, затем анализируется методами статистики и выводиться какое-то среднее значение определяемой величины. Статистические методы используются для изучения свойств сложных систем — газов, жидкостей, твердых тел и их связь со свойствами отдельных частиц — атомов, молекул.

Для описания статистических систем используются *среднестатистические значения параметров*, отвлекаясь от конкретных значений этих параметров для каждой частицы, например, определяется средняя энергия для данной системы, вместо определения энергий каждой молекулы. Для элементов (частиц) таких систем часто имеют дело с флуктуациями. *Флуктуации* это — небольшие нерегулярные, хаотические изменения какой-либо физической величины. *Величина флуктуации обратно пропорциональна корню квадратному из числа частиц N.*

В целом состояние макроскопического тела (системы) задают с помощью макропараметров (параметров, которые могут быть измерены макроприборами — давлением, температурой, объемом и другими макроскопическими величинами, характеризующими систему в целом), называют макросостоянием.

Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что оказываются заданными состояния всех образующих тело молекул, называется микросостоянием.

Всякое макросостояние может быть осуществлено различными способами, каждому из которых соответствует некоторое микросостояние системы. *Число различных микросостояний, соответствующих данному макросостоянию, называется статистическим весом W,* или термодинамической вероятностью макросостояния.

Пример. Мы знаем, что весь окружающий мир состоит из молекул и атомов. Поместим в некоторый сосуд с теплоизолированными стенками некоторое количество газа, число молекул которого равно N. Выделим какую-либо одну молекулу. Наблюдая за этой молекулой, мы очень скоро убедимся, что она может занимать любое положение в сосуде. Причем положение ее в любое мгновение оказывается случайным.

Теперь разделим наш объем на две половины. Мы увидим, что наша молекула, беспорядочно блуждая, постоянно натыкаясь (сталкиваясь) с другими молекулами, пробудет в одной из половинок сосуда ровно половину временя, в течение которого мы за ней наблюдаем. В этом случае, говорят, что вероятность ее пребывания в одной из половинок сосуда равна $W = 1/2$. Если мы будем наблюдать уже за двумя мечеными молекулами, то вероятность того, что мы обнаружим сразу обе молекулы в одной из половинок сосуда, окажется равной произведению вероятностей каждой молекулы $W = 1/2 \cdot 1/2 = 1/4$. Аналогично для трех молекул эта вероятность равна $(1/2)^3$, а для N молекул — $W = (1/2)^N$. В 29 граммах воздуха, например, содержится число молекул N, равное $6{,}023 \cdot 10^{23}$. Соответственно, вероятность нахождения сразу всех молекул в одной половине объема сосуда $(1/2)^N$ ничтожно мала. Такое событие является маловероятным. Вероятность же того, что все молекулы находятся во всем объеме данного сосуда, максимальна и равна единице. Состояние это может реализовываться наибольшим числом способов, когда любая из молекул может находиться в любой точке пространства сосуда. В этом случае статистический вес, то есть число способов, которым может быть реализовано это состояние, максимальный.

Пусть в некоторый момент времени нам удалось загнать все молекулы с помощью диафрагм (перегородок) в правую верхнюю часть сосуда. Остальные $3/4$ объема сосуда оставались при этом пустыми. Далее уберем диафрагмы и увидим, что молекулы заполнят весь объем сосуда, то есть перейдут из состояния с меньшей вероятностью в состояние с большей вероятностью. То есть процессы в системе идут только в одном направлении: *от некоторой структуры (порядка, когда все молекулы содержались в верхнем правом углу объема сосуда) к полной симметрии (хаосу, беспорядку, когда молекулы могут занимать любые точки пространства сосуда).*

Больцман первым увидел связь между энтропией и вероятностью. При этом он понял, что энтропия должна выражаться через логарифм вероятности. Ибо если мы рассмотрим, скажем, две подсистемы одной системы, каждая из которых характеризуется статистическим весом, соответственно W_1 и W_2, полный статистический вес системы равен произведению статистических весов подсистем: $W=W_1*W_2$, в то время как энтропия системы S равна сумме энтропии подсистем: $S=S_1+S_2$; $ln\mathrm{W} = ln(\mathrm{W}_1.*\mathrm{W}_2) = lnW_1 + lnW_2$, Больцман связал понятие энтропии S с $ln\mathrm{W}$. В 1906 году Макс Планк написал формулу, выражающую основную мысль Больцмана об интерпретации энтропии как логарифма вероятности состояния системы: $S = k\ lnW$. Коэффициент пропорциональности k был рассчитан Планком и назван *постоянной Больцмана*. Эта формула выгравирована на памятнике Больцману на его могиле в Вене.

Таким образом, с развитием статистической физики и термодинамики на мести причинных динамических законов становятся статистические законы, позволяющие предвидеть эволюцию природы не с абсолютной достоверностью, а лишь с большой степенью вероятности.

С точки зрения второго начала термодинамики, который имеет статус всеобъемлющего закона, справедливого для всех явлений природы, любой относительно замкнутый (изолированный) процесс может протекать только в направлении нарастания энтропии, то есть хаоса и неопределенности в состоянии системы (все старится и разрушается). Закон этот обойти нельзя: возрастание энтропии является платой за любой выигрыш в работе, оно присутствует во всех физических явлениях.

По словам Эддингтона, возрастание энтропии, определяющее необратимые процессы, есть «стрела времени». Для изолированной системы будущее всегда расположено в направлении возрастания энтропии. Это и отличает будущее от настоящего, а настоящее от прошлого. То есть возрастание энтропии определяет направление, стрелу времени. Поэтому любая изолированная физическая система обнаруживает с течением времени тенденцию к переходу от порядка к беспорядку.

Но, следует учитывать, что второе начало термодинамики справедливо для замкнутых системы (это мы уже указывали) и *для систем с большой совокупностью частиц*. На это обстоятельство особенно обращал внимание Максвелл, говоря о том, что в системах с малым количеством объектов следствием статистических законов должно стать нарушение второго начала термодинамики.

Следует также отметить, что понятие упорядоченности связано с понятием информации: большая упорядоченность соответствует большему количеству информации и наоборот. Можно говорить о единстве природы информации и энтропии. Действительно, увеличение энтропии соответствует переходу системы из более упорядоченного в менее упорядоченное состояние. Такой переход сопровождается уменьшением информации, содержащейся в структуре системы. Беспорядок, неопределенность можно трактовать как недостаток информации. В свою очередь возрастание количества информации уменьшает неопределенность.

Проблема тепловой смерти Вселенной. Флуктуационная гипотеза Больцмана

Дальнейшее развитие принципа необратимости, принципа возрастания энтропии состояло в распространении этого принципа на бесконечную Вселенную в целом. Уильям Томсон экстраполировал принцип возрастания энтропии на крупномасштабные процессы, протекающие в природе. Клаузиус распространил этот принцип на Вселенную в целом,

что привело его к гипотезе о тепловой смерти Вселенной. Все физические процессы протекают в направлении передачи тепла от более горячих тел к менее горячим; это означает, что медленно, но верно идет процесс выравнивания температуры во Вселенной. Следовательно, будущее вырисовывается перед нами в достаточно трагических тонах: исчезновение температурных различий и превращение всей мировой энергии в теплоту, равномерно распределенную во Вселенной. Отсюда следует вывод о том, что энтропия мира стремится к максимуму, что означает прекращение каких-либо физических процессов вследствие перехода Вселенной в равновесное состояние с максимальной энтропией – наступление тепловой смерти Вселенной.

Проблема тепловой смерти Вселенной привлекла внимание ученых. С научной точки зрения возникают проблемы правомерности некоторых предположений, высказанных Клаузиусом:

1. Вселенная рассматривается как замкнутая система, которая стремится в состояние с максимальной энтропией.

2. Эволюция Вселенной может быть описана как смена его состояний.

Многие теоретики считают, что в общей теории относительности мир как целое должен рассматриваться «не как замкнутая система, а как система, находящаяся в переменном гравитационном поле; в связи с этим применение закона возрастания энтропии не приводит к выводу о необходимости статистического равновесия».

Проблему будущего развития Вселенной пытался разрешить Больцман, применивший к замкнутой Вселенной понятие флуктуации. Под флуктуацией физической величины понимается отклонение истинного значения величины от ее среднего значения, обусловленное хаотическим тепловым движением частиц системы. Больцман принял ограничение Максвелла, согласно которому для небольшого числа частиц второе начало термодинамики не должно применяться, ибо в случае небольшого числа молекул нельзя говорить о состоянии равновесия системы. При этом он использует это ограничение для Вселенной, рассматривая видимую часть Вселенной как небольшую область бесконечной Вселенной. Для такой небольшой области допустимы флуктуационные отклонения от равновесия, благодаря чему в этих областях исчезает необратимая эволюция по направлении к хаосу.

8.2. Кибернетика, основные понятия кибернетики. Информация

Кибернетика – *наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в технических, биологических и социальных системах.*

Она сравнительно молода. Её основателем является американский математик Норберт Винер (1894-1964), выпустивший в 1948 году книгу «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине». Своё название новая наука получила от древнегреческого слова «кибернетес», что в переводе означает «управляющий», «рулевой». Она возникла на стыке математики, теории информации, техники и нейрофизиологии, ее интересует широкий класс как живых, так и неживых систем. В общую кибернетику обычно включают теорию информации, теорию алгоритмов, теорию игр и теорию автоматов,

техническую кибернетику (отрасль науки, изучающая технические системы управления).

К основным задачам кибернетики относятся:

1) установление фактов, общих для управляемых систем;

2) выявление ограничений, свойственных управляемым системам;

3) нахождение общих законов для управляемых систем;

4) определение путей практического использования установленных фактов и найденных закономерностей.

«Кибернетический» подход к системам характеризуется рядом понятий. Основные понятия кибернетики: *управление*, *управляющая система*, *управляемая система*, *организация*, *обратная связь*, *алгоритм*, *модель*, *оптимизация*, *сигнал* и др.

Для систем любой природы понятие «управление» можно определить следующим образом: *управление – это воздействие на объект, выбранное на основании имеющейся для этого информации из множества возможных воздействий, улучшающее его функционирование или развитие*. У управляемых систем всегда существует некоторое множество возможных изменений, из которого производится выбор предпочтительного изменения. Если у системы нет выбора, то не может быть и речи об управлении.

Управление – это вызов изменений в системе или перевод системы из одного состояния в другое в соответствии с объективно существующей или выбранной целью. Поведение любой управляемой системы всегда изучается с учетом ее связей с окружающей средой. Поскольку все объекты, явления и процессы взаимосвязаны и влияют друг на друга, то, выделяя какой-либо объект, необходимо учитывать влияние среды на этот объект и наоборот.

Свойством управляемости может обладать не любая система. *Необходимым условием наличия в системе хотя бы потенциальных возможностей управления является ее организованность*.

Чтобы управление могло функционировать, то есть целенаправленно изменять объект, оно должно содержать четыре необходимых элемента:

1) каналы сбора информации о состоянии среды и объекта;

2) канал воздействия на объект;

3) цель управления;

4) способ (алгоритм, правило), указывающий, каким образом можно достичь поставленной цели, располагая информацией о состоянии среды и объекта.

Цель изменений определяется как внешней средой, так и внутренними потребностями субъекта управления. Цель должна быть принципиально достижимой, она должна соответствовать реальной ситуации и возможностям системы (управляющей и управляемой). За счет управляющих воздействий управляемая система может целенаправленно изменять свое поведение. *Целенаправленность управления биологических управляемых систем сформирована в процессе эволюционного развития живой природы. Она означает* ***стремление организмов к их выживанию и размножению****.*

Большую роль играет управление по "принципу обратной связи". Если между воздействием внешней среды и реакцией системы устанавливается связь, то мы имеем дело с обратной связью. Если поведение системы усиливает внешнее воздействие, то мы имеем дело с *положительной* обратной связью, а если уменьшает, – то с *отрицательной* обратной связью.

Понятие информации. Управление – информационный процесс, информация – "пища", "ресурс" управления. Поэтому кибернетика есть вместе с тем наука об информации, об информационных системах и процессах. Самый исходный смысл термина "информация" связан со сведениями, сообщениями и их передачей. В отечественной и зарубежной литературе предлагается много разных концепций (определений) информации, общее понятие информации должно непротиворечиво охватывать все определения информация, все виды информации. К сожалению, такого универсального понятия информации еще не разработано.

Информацией называют любые сведения об объектах и явлениях окружающего нас мира, их параметрах, свойствах и состоянии, воспринимаемые человеком или специальными приборами и содержащиеся в сообщениях, сигналах или памяти.

Р. Хартли заложил основы теории информации, определив меру количества информации для некоторых задач. Формула Хартли: количество информации $\boldsymbol{I}$, содержащееся в сообщении об объекте, который может находиться в одном из $\boldsymbol{N}$ равновероятных состояний, $\boldsymbol{I = \log_2 N}$. *Минимальная* единица измерения информации – **бит**.

Каковы свойства информации?

Первое – способность управлять физическими, химическими, биологическими и социальными процессами. Там, где есть информация, действует управление, а там, где осуществляется управление, непременно наличествует и информация.

Второе свойство информации – способность передаваться на расстоянии).

Третье – способность информации подвергаться переработке.

Четвертое – способность сохраняться в течение любых промежутков времени и изменяться во времени.

Кибернетика ввела в современную науку понятие ***самоорганизации****. Под самоорганизацией понимают самопроизвольное повышение упорядоченности уровней сложности различных систем, т.е. качественное изменение систем.* Процесс самоорганизации систем обусловлен таким неэнтропийным процессом, как управление. Энтропия и информация, как правило, рассматриваются совместно. Информация – это то, что устраняет неопределенность. Тенденция к определенности, к повышению информативности – процесс *негэнтропийный* (процесс с обратным знаком).

Термин "самоорганизующаяся система" ввел кибернетик У. Росс Эшби для описания кибернетических систем. Для самоорганизующихся систем характерны:

1) способность активно взаимодействовать со средой, изменять ее в направлении, обеспечивающем более успешное функционирование системы;

2) наличие определенной гибкости структуры или адаптивного механизма, выработанного в ходе эволюции;

3) непредсказуемость поведения самоорганизующихся систем;

4) способность учитывать прошлый опыт или возможность учения.

Одним из первых объектов, к которым были применены принципы самоорганизации, был головной мозг.

Кибернетика поставила в центр внимания такие понятия, как информация, обратная связь, управление и др. *В кибернетике были предприняты первые серьезные усилия по научному исследованию феномена самоорганизации.* Кибернетика имела дело как с живыми, так и с техническими (построенными из неживого вещества) управляемыми и саморегулирующимися системами, т.е. с системами, в которых самоорганизация заложена изначально. Нет никакого сомнения в том, что XXI век и прогресс всей науки будет протекать по напралени изучения закономерностей управляющих процессов в сложноорганизованных системах.

8.3. Синергетика. Рождение порядка из хаоса

Начиная с 70-х годов нашего века бурно развивается направление, называемое *«синергетикой»,* в фокусе внимания которого оказываются сложные

системы с самоорганизующимися процессами, системы, в которых эволюция протекает от хаоса к порядку, от симметрии к все возрастающей сложности.

Возникновение синергетики связано, в основном, с именами И. Пригожина – бельгийского физика и химика, лауреата Нобелевской премии 1977 г., немецкого физика Г. Хакена, другого немецкого ученого М. Эйгена, а также наших отечественных ученых Б. Белоусова и Жаботинского. И.Пригожин, разрабатывая современную термодинамику необратимых процессов (неравновесную термодинамику) открыл явление образования упорядоченных структур из хаотического, неупорядоченного состояния системы, т.е. самоорганизацию и *сформулировал теорему о минимуме производства энтропии в стационарном неравновесном состоянии*. К своим идеям он пришел, анализируя специфические химические реакции, которые впервые экспериментально были изучены Б. Белоусовым и А. Жаботинским. И. Пригожин со своими сотрудниками И. Стенгерс, Г. Николисом построили математическую модель таких реакций, а также показали, что в сильно неравновесных условиях может совершаться переход от беспорядка, теплового хаоса к порядку, организованности. Г. Хакен, изучая процессы самоорганизации, происходящие в лазере, назвал новое направление исследований синергетикой, что в переводе с греческого означает совместное действие, или взаимодействие, и хорошо передает смысл и цель нового подхода к изучению явлений.

Синергетика – *наука, выявляющая изучающая общие закономерности в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченности временных и пространственных структур различной природы (физической, химической, биологической, экологической и т.д.) при сложных неравновесных условиях.*

Синергетику, как новую систему взглядов (парадигма), можно предельно кратко охарактеризовать четырьмя ключевыми идеями: **самоорганизация, открытые системы, диссипативные системы, нелинейность.**

В настоящее время считается установленным, что процессы самоорганизации (так же как, разумеется, и дезорганизации) могут происходить в сравнительно простых физических и химических средах неорганической природы. А это означает, что простейшая, элементарная форма самоорганизации имеет место уже в рамках физической и химической форм движения материи. Причем, чем сложнее форма движения материи, тем выше уровень ее самоорганизации. *В простых системах самоорганизация направлена на достижение оптимальной структуры ее элементов, что позволяет понять и объяснить факт устойчивости и сохранения систем* (в том числе живых).

Нелинейность. Сложные системы являются нелинейными. Для их описания используются нелинейные математические уравнения, т.е. уравнения, в которых искомые величины входят в степенях больше единицы, в составе математических функций (тригонометрических, логарифмических и т.п.) или коэффициенты зависят от свойств среды и особенностей протекания процесса. Нелинейные уравнения могут иметь *несколько качественно различных решений.* Физически это означает возможность различных путей эволюции системы.

Открытые системы. Физика XIX века ввела понятие о необратимых процессах. Провозглашая необратимый характер физических изменений, классическая термодинамика считала, что эти изменения могут происходить лишь в сторону увеличения энтропии, а, следовательно, усиления хаоса, дезорганизации материальных систем. В реальности, тем не менее, часто наблюдаются совершенно противоположные явления.

Уже теория Канта и Лапласа об образовании упорядоченной Солнечной системы из хаотических туманностей противоречила II началу термодинамики. Но особенно ярко проявилось противоречие II начала термодинамики с эволюционной теорией Дарвина. Ведь согласно ей, в мире живого естественно протекающие процессы ведут к усложнению форм и структур, к увеличению порядка, избавлению от хаоса и удалению от равновесия. Другими словами, самоорганизация в живой природе приводит систему к прямо противоположному состоянию, чем самоорганизация в неживых системах. Все это привело к появлению понятия *открытой системы*, которое и позволило устранить упомянутые противоречия.

Проблема заключается в том, классическая термодинамика рассматривала лишь *закрытые, изолированные* от окружающей среды системы, в которых энтропия действительно имеет тенденцию к возрастанию. Такие системы «эволюционируют» в сторону термодинамического равновесия, в сторону дезорганизации.

Однако в наше время считается установленным, что представление прежней физики о закрытых системах является весьма сильной идеализацией, которая реально в природе не встречается. Во второй половине XX века в науке утвердилось представление, согласно которому *открытость* системы является непременным условием самоорганизации. *Оказалось, что принцип Больцмана (второе начало термодинамики) в буквальном смысле не применим к системам открытого типа.*

Открытая система заимствует энергию и вещество из окружающей его среды и одновременно выводит в окружающую среду отработанное вещество и отработанную энергию. Вырабатывая и заимствуя энергию, открытая система производит энтропию, но она не накапливается в ней, а выводится в окружающую среду. В такого рода системах, грубо говоря, использованная, «обесцененная» энергия рассеивается в окружающей среде (а взамен поступает новая энергия из среды). Поэтому подобные системы, или структуры, получили наименование «диссипативные», что в переводе с английского означает «рассеивающие». Данное понятие сыграло важную роль в становлении синергетики.

Разработка теории диссипативных структур показала, что *диссипация* – это не фактор разрушения, а необходимое и важное свойство процессов самоорганизации. Именно диссипация есть необходимый процесс, способствующий выстраиванию упорядоченной структуры в нелинейной открытой среде.

Великий русский математик А.М.Ляпунов разработал общую теорию устойчивости состояний систем. Очень кратко ее идею можно выразить следующим образом. Устойчивые состояния систем не теряют своей устойчивости при флуктуациях физических параметров, поскольку система за счет внутренних взаимодействий способна погасить возникающие флуктуации. Неустойчивые системы, наоборот, при возникновении флуктуаций способны усиливать их, и, в результате такого нарастания амплитуд возмущений система уходит из стационарного состояния.

Таким образом процессы, протекающие в различных явлениях природы, следует разделять на два класса. К первому классу относятся процессы, протекающие в замкнутых системах. Они развиваются в направлении возрастания энтропии и приводят к установлению равновесного состояния в системах.

Ко второму классу относятся процессы, протекающие в открытых системах. В соответствующие моменты — моменты неустойчивости — в них могут возникать малые возмущения, флуктуации, способные разрастаться в макроструктуры. Таким образом, хаос и случайности в нем могут выступать в качестве активного начала, приводящего к развитию новых самоорганизаций.

Бифуркации. Выше было сказано, что нелинейная система уравнений, которой описывается практически любая реальная сложная система, имеет не одно, а подчас целый спектр решений. Ответвления от известного решения

появляются при изменении значения параметров системы. Изменения управляющих параметров способны вызвать катастрофические, т.е. большие скачки переменных системы, и эти скачки осуществляются практически мгновенно, т.е. *малая флуктуация управляющего параметра может иметь огромное значение для системы. Такие критические моменты или точки называются точкой бифуркации. В этот момент на дальнейший ход эволюции системы могут оказывать воздействия даже ничтожно малые флуктуации, которые в равновесном состоянии системы попросту неразличимы*. Поэтому невозможно точно предсказать, какой путь эволюции выберет система за порогом бифуркации. Такой путь развития И.Р.Пригожин назвал «возникновение порядка через флуктуации или порядка из хаоса».

Вблизи бифуркаций, т.е. резких, «взрывных» изменений системы, основную роль играют флуктуации или случайные элементы, тогда как в интервалах между бифуркациями преобладает детерминизм. В точке бифуркации система встает на новый путь развития. Те траектории или направления, по которым возможно развитие системы после точки бифуркации и которое отличается от других относительной устойчивостью, иными словами, является более реальным, называется *аттрактором*. Аттрактор- это относительно устойчивое состояние системы, притягивающее к себе множество "линий" развития, возможных после точки бифуркации.

В биологической эволюции флуктуации проявляются в мутациях, изменчивости, в то время как устойчивость обусловлена естественным отбором.

Примеры самоорганизации в неживой природе

Ячейки Х. Бенара. Классическим примером возникновения структуры является конвективная ячейка Бенара. Если в сковородку с гладким дном налить минеральное масло, подмешать для наглядности мелкие алюминиевые опилки и начать нагревать, мы получим довольно наглядную модель самоорганизующейся открытой системы. При небольшом перепаде температур передача тепла от нижнего слоя масла к верхнему идет только за счет теплопроводности, и масло является типичной открытой хаотической системой. Но при некотором критическом перепаде температур между нижним и верхним слоями масла в нем возникают упорядоченные структуры в виде шестигранных призм (конвективных ячеек). В центре ячейки масло поднимается вверх, а по краям опускается вниз. В верхнем слое шестигранной призмы оно движется от центра призмы к ее краям, в нижнем – от краев к центру. Важно отметить, что для устойчивости потоков жидкости необходима регулировка подогрева, и она происходит самосогласованно. Возникает структура, поддерживающая максимальную скорость тепловых потоков. Подобные конвективные ячейки образуются в атмосфере, если отсутствует горизонтальный перепад давления.

Работа лазера. Рабочей средой твердотельного лазера является рубиновый стержень, на концах которого устанавливаются два качественных зеркала (резонатор). С помощью мощной лампы накачки атомы рубина приходят в возбужденное состояние и начинают излучать. Вначале их излучение является хаотическим, независимым друг от друга, и лазер работает как обычная лампа. Но при определенном (критическом) значении мощности накачки происходит скачкообразный переход работы лазера от хаотического излучения к самосогласованному. Коллективное излучение атомов становится когерентным, т.е. упорядоченным.

Химические часы. Самоорганизация в химических системах связана с поступлением извне новых веществ, которые обеспечивают продолжение реакции, и выведением в окружающую среду отработанных. Такие реакции были получены в 50-х годах 20-го века советскими учеными Б. Белоусовым и А. Жаботинским. Однако полученные ими результаты были настолько необычными, что ученые долго не могли опубликовать их. Лишь в 80-х годах они получили признание. Суть реакции Белоусова - Жаботинского состоит в окислении органической (малоновой) кислоты бромидом калия. При добавлении индикатора окислительно-восстановительных реакций (ферроина) можно наблюдать за ходом реакции по периодическому изменению цвета раствора. Внешне самоорганизация проявляется появлением в жидкой среде концентрических волн или в периодическом изменении цвета раствора с синего на красный и наоборот. Этот колебательный процесс идет без всякого вмешательства извне в точение нескольких десятков минут и получил название «химических часов».

Самоорганизация в социальных системах

Попытки объяснить механизмы самоорганизации, которые начались, по существу, еще в 18-м веке, не обошли стороной и общественные науки. Основоположник классической политической экономии А.Смит (1723-1790) в своем главном труде «Исследование о природе и причинах богатства народов» показал, что спонтанный порядок на рынке является результатом взаимодействия различных, часто противоположных стремлений, целей и интересов его участников. Такое взаимодействие приводит к установлению никем не запланированного порядка, который выражается в равновесии спроса и предложения.

Социальные системы так же как и природные – столь же сложные и нелинейные. В них возможны изменения структурных связей, кризисы и катастрофы, в том числе экологические и экономические. И здесь большое значение имеет возможность, опираясь на методы синергетики, определить условия нарушения прежней устойчивости и возможность перехода в новое состояние, сопровождаемое структурными изменениями.

Стохастическая модель процесса формирования общественного мнения была построена Г.Хакеном в его работе «Синергетика». Здесь главной трудностью был выбор макроскопических переменных, описывающих общество. Г. Хакен взял довольно простой пример. Он использовал в качестве параметров число индивидуумов с соответствующими мнениями – за (+) и против (-). Тогда формирование общественного мнения описывалось изменением этих чисел. При отсутствии внешних воздействий оказались возможными два результата. Вследствие частых перемен точек зрения получается одноцентровое распределение мнений в коллективе, а при значительной устойчивости связей между индивидуумами формируются два противоположных мнения, соответствующих состоянию поляри-

зации общества. Эта модель позволяет качественно объяснить неустойчивые ситуации, когда характеристика общественного состояния, зависящая от связи индивидуумов, приближается к критическому значению (точке бифуркации).

Синергетика и экономика. Как уже говорилось, самоорганизующиеся системы – это открытые системы, свободно обменивающиеся с внешней средой и другими системами энергией, материальными потоками и информацией. В случае рынка – это свободное движение капитала, рабочей силы и товара. Целенаправленная деятельность субъектов – участников процесса в условиях внешних воздействий и конкуренции делает систему асимметричной и неравновесной, т.е. уводит ее от состояния равновесия (максимума энтропии).

Кооперация и конкуренция фирм являются самоорганизующимися процессами. При синергетическом моделировании рынка как самоорганизующейся системы с целью максимизации прибыли приходится решать дифференциальные балансовые уравнения, применять компьютерные системы обработки информации, новые информационные технологии.

В неравновесных системах, помимо знания балансовых уравнений, встает задача формализации и учета отношения порядка и беспорядка (соответственно, энтропии и негэнтропии). Эта проблема не так проста. Рынок выступает здесь в качестве индикатора, быстро обнаруживая неходовые товары, производство которых нерентабельно и ведет к росту энтропии.

Высококачественные товары, пользующиеся большим спросом и производящиеся в большем объеме (работает положительная обратная связь), напротив, увеличивают негэнтропию, порядок, так как ускоряются процессы производства и обмена, повышается занятость, полнее удовлетворяются потребности общества, растет жизненный уровень людей. Через некоторое время по мере расширения выпуска происходит насыщение рынка этим товаром, наступает момент равновесия между спросом и предложением, но конкурирующие фирмы уже освоили к этому времени новые изделия, поставили на рынок новые товары, с более высокими качествами. Товарно-денежные отношения снова активизируются. И когда производителей достаточно много, новые предложения поступают непрерывно. Так поддерживается неравновесность рынка и эффективность функционирования экономической системы.

8.4. Синергетические координаты для описания эволюции. Спираль развития

Явления развития можно рассматривать как борьбу двух противоположных тенденций: организации и дезорганизации. При этом удобно их рассматривать в связи с понятием энтропии и информации. Информация и энтропия связаны потому, что они характеризуют реальную действительность с точки зрения упорядоченности и хаоса (информация – мера упорядоченности, энтропия – мера хаоса). Альтернативность и взаимосвязь понятий энтропии и информации выражаются в формуле: $S + I = 1$ (const).

Если система эволюционирует в направлении упорядоченности, то ее энтропия уменьшается. Но это требует целенаправленных усилий, внесения информации, т.е. управления. Таким образом, явления развития удобно рассматривать в координатах, связанных с понятиями энтропии и информации (негэнтропии). Это позволяет наглядно представить мысленную (концептуальную) модель процессов самоорганизации в виде сужающейся спирали (см. рис. 8.1), где по оси абсцисс откладывается энтропия, а по оси ординат – некоторый «параметр прогресса» Р.

Подобная модель самоорганизации может быть применена к биологическим, социальным, экономическим, культурным и др. системам. Главное здесь – возрастание уровня организации, связанное с уменьшением неопределенности по мере накопления информации. Так из биологии известно, что число принципиально возможных одноклеточных организмов намного больше того, что есть на самом деле. Низших биологических форм много, а Человек – один (сходящаяся спираль). Процесс написания студентом курсовой или дипломной работы тоже можно представить как движение от максимальной начальной до минимальной конечной энтропии. Высокая неопределенность в начале выполнения задания по мере работы над ним (работа с литературой, эскизы, блок-схемы, расчеты) уменьшается и достигает минимума к моменту оформления и защиты.

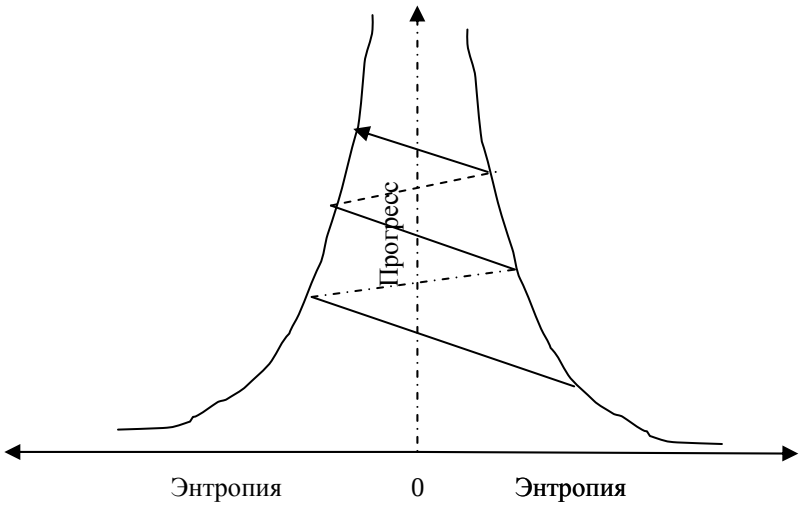

Рис. 8.1. Спираль развития

Развитие не всегда имеет восходящий характер. Возможны локальные возрастания энтропии, «обратные скачки». Подводя итог рассмотренным теоретическим положениям и примерам, выделим *следующие условия и положения самоорганизации систем*.

1. Система должна быть открытой, диссипативной и находиться вдали от термодинамического равновесия.

2. Если в случае закрытых систем самоорганизация (эволюция) ведет к росту энтропии и беспорядка, то в случае открытых систем происходит возникновение и усиление порядка через флуктуации. Именно флуктуации приводят в этом случае к «расшатыванию» старого порядка и возникновению нового. Энтропия падает, количество информации (негэнтропия растет).

3. Управление процессами и сохранение динамического равновесия систем основано на принципе обратной связи, когда на основе полученных обратных сигналов система возвращается в исходное состояние. Самоорганизация открытых систем опирается на принцип положительной обратной связи, согласно которому изменения, появляющиеся в системе, не устраняются, а наоборот, накапливаются и усиливаются, что приводит к возникновению нового порядка и структуры.

4. Система должна обладать достаточным количеством взаимодействующих между собой элементов и, следовательно, иметь некоторые критические размеры. В противном случае коллективное поведение элементов системы может не проявиться (самоорганизация не наступает).

Синергетика претендует сегодня на новое миропонимание, как основа концепций глобального и космического эволюционизма.

Синергетика по-новому осветила место и роль случайности в эволюции материального мира. Она опровергла тот привычный взгляд, будто случайная флуктуация несущественна, ибо мало масштабна, и в силу этого не может определять путь развития системы. С точки зрения синергетики, в открытых нелинейных системах (а таковые типичны в мире, в котором мы живем) случайное малое воздействие - флуктуация - может приводить к весьма существенному результату. Таким образом, случайность играет особую, конструктивную роль в процессах самоорганизации, происходящих в материальном мире.

В развитии общества нередко возникают неустойчивые состояния «точки бифуркации» – перекрестки, расщепление путей развития. В период общественного кризиса бессмысленно уповать на так называемые "объективные законы", которые делают людей слепыми по отношению к социально-политическим и экономическим процессам.

Представление об обществе как социальной машине, действующей по "объективным законам", - досинергетический взгляд.

8.5. Термодинамика живых систем

Теорема Пригожина. Согласно теореме Пригожина, если открытую термодинамическую систему при неизменных во времени условиях предоставить самой себе, то прирост энтропии $\frac{dS_i}{dt}$ будет уменьшаться до тех пор, пока система не достигнет стационарного состояния динамического равновесия; в этом состоянии прирост энтропии будет минимальным, то есть $\frac{dS_i}{dt} = \min$.

Таким образом, мы можем сказать, что для открытой системы в стационарном состоянии производство энтропии минимально.

Для живых систем это означает следующее: в течение времени жизни живой системы ее элементы постоянно подвергаются распаду. Энтропия этих процессов положительна (возникает неупорядоченность). Для компенсации распада (компенсации неупорядоченности) должна совершаться внутренняя работа в форме процессов синтеза элементов взамен распавшихся. А это означает, что эта внутренняя работа является процессом с отрицательной энтропией (такие процессы называют негэнтропийными, а отрицательную энтропию – негэнтропией). Негэйнтропийный процесс противодействует увеличению энтропии системы, которое связано с процессом распада и создает упорядоченность. Источником энергии для совершения негэнтропийной внутренней работы являются:

- для организмов – *гетеротрофов* (питающихся только органической пищей) – энергия в виде химических связей и низкая энтропия поглощаемых высокоструктурированных органических веществ. В этом случае поглощаемые пищевые вещества обладают больше упорядоченностью (меньшей энтропией), чем выделяемые продукты обмена. Организмы гетеротрофы переносят упорядоченность (негэнтропию) из питательных веществ в самих себя;

- для организмов – *автотрофов* (самостоятельно синтезирующих для себя питательные вещества из неорганических соединений с участием солнечного излучения) – энергия солнечного света, представляющего электромагнитное излучение с низкой энтропией.

Таким образом, обмен веществ с точки зрения термодинамики необходим для противодействия увеличению энтропии, обусловленному необратимыми процессами в живой системе.

Если рассматривать систему «живой организм плюс среда», из которой берутся питательные вещества и в которую отдаются продукты обмена, то

второй закон термодинамики справедлив: энтропия этой системы возрастает и никогда не уменьшается. *Это означает, что живая система создает внутри себя упорядоченность за счет того, что она уменьшает упорядоченность в окружающей среде.*

Итак, живая система является открытой системой, и ее энтропия не возрастает, как это имеет место в изолированной системе. Это означает, что живая система постоянно совершает работу, направленную на поддержание своей упорядоченности, и находится в неравновесном стационарном состоянии. Производство энтропии при этом (как следует из теоремы Пригожина) минимально. Таким образом, с позиций термодинамики можно утверждать, что живым системам присущи процессы, уменьшающие энтропию систем и, следовательно, поддерживающие их организованность.

С точки зрения общих законов развития Вселенной *динамика Вселенной проявляется в двух взаимодополняемых процессах: разрушение и созидание*. Исторически первым был открыт принцип разрушения, известный как принцип роста энтропии. Существование жизни вытекает из принципа *дополнительности:* при наличии во Вселенной процессов разрушения следует ожидать в ней равного по объему процесса созидания. Более конкретно, жизнь является следствием принципа Ле Шателье (*на любое изменение Вселенная откликается возникновением процессов, тормозящих данное изменение)*: рост энтропии Вселенной вызывает процессы, сдерживающие этот рост, то есть направленные на рост *негэнтропии*, а значит, на возникновение и усложнение упорядоченных структур (*самоорганизация)*.

Если учесть, что энтропия является не только мерой хаоса, но и мерой качества энергии, то неизбежность самоорганизации в природе можно вывести также из вариационного *принципа минимума рассеяния энергии: если возможно множество сценариев протекания процесса, согласных с законами сохранения и связями, наложенными на систему, то в реальности процесс протекает по сценарию, которому отвечает минимальное рассеяние энергии, то есть минимальный прирост энтропии*. Другими словами, если в ходе процесса возможно образование упорядоченных устойчивых статических или динамических структур в локальных областях системы, то они обязательно возникнут, уменьшая тем самым суммарный прирост энтропии.

Долгое время было непонятно, каким образом в живых организмах «обходится» запрет на рост энтропии. На этот вопрос ответила теореме Пригожина:

- самоорганизующая система должна быть *открытой* по отношению к окружающей среде;

- она может существовать, уменьшая внутреннюю энтропию, только за счет увеличения энтропии (разрушения) внешней среды.

Следующий вопрос заключается в том, как реализуются процессы самоуправления и самоорганизации живых систем. Вопрос этот прежде всего связан с рассмотрением жизни как информационного процесса. Недаром кибернетика определена ее создателем Н. Винером как «наука об управлении и передачи информации в живых организмах и машинах».

Прежде всего, рассмотрим две важнейшие функции организованных и управляющих систем – управление и регулирование.

8.6. Управление и регулирование в живых системах

Задачи управления и регулирования. Управление и регулирование – близкие понятия, однако, между ними есть определенная разница. Управление – функция организованных систем, обеспечивающая выполнение следующих задач:

- сохранение определенной структуры системы;
- поддержание режима деятельности системы;
- реализацию цели деятельности системы по определенному правилу.

Эти задачи решаются с помощью регулирования.

Регулирование – функция управляющих систем, обеспечивающая выполнение таких задач, как:

- поддержание постоянства регулируемой величины на некотором уровне;
- изменение регулируемой величины по заданному закону;
- изменение регулируемой величины в соответствии с ходом некоторого внешнего процесса.

В целом регулирование в живых системах направлено на поддержание **гомеостазиса** – относительно динамического постоянства характеристик внутренней среды организма. Гомеостазис обусловлен способностью живых систем вырабатывать реакции в ответ на изменение параметров внешней среды, которые исключают или сводят к минимуму последствия этих изменений.

Задачи управления в живой системе, таким образом, состоят в том, чтобы как можно эффективнее отвечать на изменения, происходящие во внешней и внутренней ее среде, то есть нейтрализовать возмущающие воздействия на систему. Этот процесс осуществляется с помощью элементов, входящих в состав самой системы, поэтому управление в живых системах является

самоуправлением, процессы регулирования – процессами саморегулирования, а сами живые системы являются самоорганизующимися системами. Процессы самоорганизации происходят за счет перестройки существующих и образования новых связей между элементами системы.

В организме существует несколько уровней управления. *Внутриклеточный механизм* регуляции осуществляет биохимическую регуляцию в соответствии с генетической информацией, которая содержится на молекулярном уровне. *Механизм тканевой регуляции* – более высокий уровень регуляции, чем клеточный. Ткани взаимодействуют в рамках организма путем обмена определенными химическими веществами. Регулирует это взаимодействие еще один, более высокий уровень – железы внутренней секреции. Они вырабатывают гормоны, циркулирующие в крови, которые управляют организмом как целым. *Высший уровень регуляции* – центральная нервная система, которая присутствует у всех много клеточных организмов. Она воздействует на все другие уровни регуляции.

Цели управления в живых системах чрезвычайно разнообразны. В любой системе цель управления в общем виде заключается в достижении системой множества полезных для нее свойств при разнообразных внешних воздействиях. Управление организмом имеет многоуровневый «иерархический» характер. На каждом уровне управление направлено на решение задач, присущих этому уровню. Чем выше уровень, тем более общие для системы задачи на нем решаются. Главная же цель, общая для живой системы в целом ставится и решается на высшем уровне управления. Цели и задачи нижележащих уровней носят вспомогательную роль по отношению к общей цели.

Целенаправленность управления биологических управляемых систем сформирована в процессе эволюционного развития живой природы. Она означает ***стремление организмов к их выживанию и размножению.***

Здесь иерархия целей управления цель расположена в следующем порядке:

цель I порядка – обеспечить существование систем (достигается поддержанием стационарного неравновесного состояния, при котором $\Delta S = \min$). Нарушение этого состояния означает смерть;

цель II порядка – обеспечить высокое качество существования системы т.е. поддержание гомеостазиса. Гомеостазис – необходимое условие высокого качества функционирования системы;

цель III порядка – достижение максимально высоких показателей существования системы (максимальная энергетическая эффективность и надежность).

По мере ухудшения внешних условий система отказывается от иерархически менее важных целей.

Основой для процессов управления и регуляции является обмен информацией благодаря наличию информационных связей. *Информационными связями внутри организма являются:*

- *гормональная связь*. Гормон, то есть химический сигнал, по кровотоку посылает во все части организма, но только в определенные органы, способные принять данный сигнал, реагируют на него как приемники.

- *нервные связи* (только у многоклеточных организмов). Информационным параметром нервных связей служит частота следования импульсов. Частота импульсов увеличивается при росте интенсивности стимула.

- *генетическая связь*. Источником сообщения в этом случае является молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Функционирование этой связи будет рассмотрено позже.

Важной стороной управления в живых системах является наличие обратных связей. Принцип обратных связей является одним из основных принципов самоуправления, саморегуляции и самоорганизации. Без наличия обратных связей процесс самоуправления невозможен. Обратная связь – это обратное воздействие результатов процесса на его протекание (см. рис. 8.2). Обратная связь может быть положительной и отрицательной.

Положительная обратная связь – такая обратная связь, когда результаты процесса усиливают его. Если же результаты процесса ослабляют его действие, говорят об отрицательной обратной связи.

Действие обратных связей можно рассмотреть на примере роста численности популяции некоторых видов, к примеру, мелких рыбёшек, в зависимости от наличия пищи и наличия рыб-хищников. Чем больше пищи, тем большее число потомков рыбёшек может прокормиться и затем дать новое потомство. При неограниченном количестве пищи и отсутствии хищников и болезней у рыбешек их численность могла бы неограниченно возрастать. Здесь имеет место положительная обратная связь (см. рис. 8.2), выражающаяся в том, что процесс роста популяции рыбешек ведет к еще большему (в геометрической прогрессии) её росту. В случае наличия рыб-хищников возникает еще одна обратная связь: численность хищников будет влиять на количество корма для них (на количество мелких рыбешек). Эта обратная связь будет отрицательной. В результате действия обратных связей численность в популяциях является волнообразной (так называемые «волны жизни») и колебания численности будут происходить вокруг некоторого среднего уровня.

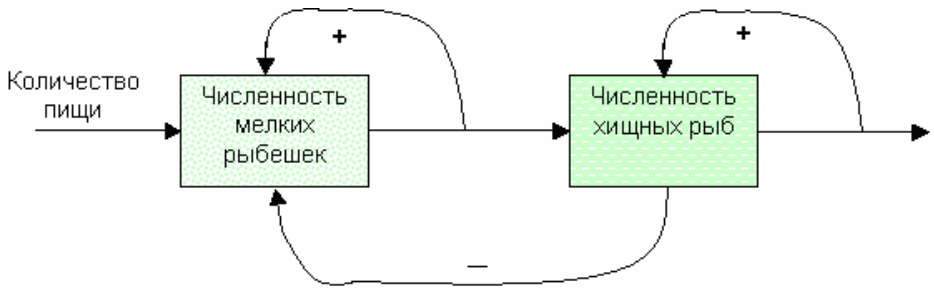

Рис. 8.2. Пример обратных связей

Роль положительных и отрицательных обратных связей различна. Отрицательные обратные связи обеспечивают стабильность функций живых систем, их устойчивость к внешним воздействиям. Они являются основным механизмом энергетического и метаболического баланса в живых системах, контроля численности популяций, саморегуляции эволюционного процесса.

Положительные обратные связи играют позитивную роль усилителей процессов жизнедеятельности. Особую роль они играют для роста и развития. Таким образом, общие характеристики обратных связей могут быть сформулированы следующим образом:

Отрицательные обратные связи способствуют восстановлению исходного состояния. Положительные – уводят организм все дальше от исходного состояния. Самоорганизация на всех уровнях начинается на основе механизмов положительной обратной связи, на которые затем накладываются ограничения отрицательных обратных связей.

ГЛАВА 9. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

9.1. Физико-химические предпосылки для зарождения жизни

Использование ЭВМ позволило строить и рассчитывать образование и развитие солнечной системы и Земли в частности на различных моделях. Как уже говорилось, наиболее убедительной выглядит модель образования Солнца и планет из единого вращающегося газопылевого комплекса. Вспомним, что согласно этим гипотезам в центре вращающейся газовой туманности образовалась протозвезда – Солнце. Центробежные силы в экваториальной области приводили к возникновению неустойчивых потоков газа и пыли. Впоследствии эта часть вещества была оторвана от Солнца, унося с собой избыточный момент количества движения. Так образовался газопылевой диск (кольцо) в экваториальной плоскости Солнца.

Солнце нагревало внутреннюю часть этого кольца, вызывая испарение и “выгоняя” солнечным ветром более легкие элементы в дальние части кольца. Этот процесс занял во времени около 100 млн. лет. В зависимости от расстояния до Солнца разные части туманности остывали с разной скоростью, что привело к различиям в протекании химических процессов. Химическая эволюция планет и Земли в частности также протекала по-разному: сначала конденсировались наиболее тугоплавкие элементы, а затем летучие. Дальнейшая история развития химических соединений рассматривается уже в контексте развития Земли.

В процессе эволюции Земли складывались определенные пропорции различных элементов. В веществе планет, комет, метеоритов, Солнца присутствуют все элементы периодической системы, что доказывает общность их происхождения, однако количественные соотношения различны. С ростом порядкового номера распространенность элементов убывает, но не равномерно. Примечательно, что элементы с четным порядковым номером, особенно элементы с массовым числом кратным 4 более распространены. К ним, в частности, относятся He, CO, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca. Дело в том, что этим массовым числам соответствуют устойчивые ядра. Американские космохимики Г. Юри и Г. Зюсс писали по этому поводу следующее: «...распространенность химических элементов и их изотопов определяется ядерными свойствами, и окружающее нас вещество похоже на золу космического ядерного пожара, из которого оно было создано».

К важнейшим свойствам Земли, определяющим ее происхождение и химическую эволюцию, относится радиоактивность. Все первичные планеты были сильно радиоактивны. Нагреваясь за счет энергии радиоактивного распада, они подвергались химической дифференциации, которая завершилась формированием внутренних металлических ядер у планет земной группы.

Литофильные элементы, т.е. элементы, образующие твердые оболочки планет (Si, O, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K) переходили вверх, выделение газов из расплавленного вещества мантий при выплавлении легкоплавких фракций, приводила к базальтовым расплавам, которые также изливались на поверхность планет. Газовые компоненты, вырывающиеся вместе с ними, дали начало первичным атмосферам, которые смогли удержать только сравнительно крупные планеты, к которым относилась и Земля. При дальнейшем охлаждении появились химические соединения: метан, вода, двуокись углерода, аммиак, молекулярный водород, азот. В этой атмосфере присутствовали лишь следы свободного кислорода. Она была богата инертными газами: неоном, аргоном, гелием.

Физические и химические свойства воды (высокая теплоемкость, полярность, хороший растворитель и т.д.) и углерода (способность образовывать линейные соединения, трудность образования оксидов, способность к восстановлению, ковалентная связь) определили роль воды и углерода в зарождении жизни.

Для возникновения жизни необходимы определенные космические и планетарные условия.

Первое из таких условий – размер планет. Масса ее не должна быть не очень большой, так как энергия атомного распада природных радиоактивных веществ может привести к перегреву планеты или к радиоактивному загрязнению, несовместимому с жизнью. Маленькие планеты не способны удержать атмосферу, из-за слабой силы тяжести (Луна).

Второе важное условие – движение планеты вокруг звезды по круговой или близко к круговой орбите, позволяющей постоянно и равномерно получать необходимое количество энергии.

Третье необходимое условие – постоянная интенсивность излучения светила.

9.2. Эволюционная химия. Общая теория химической и предбиологической эволюции

Вопрос о возникновении органической жизни остается до сих пор одним из самых интересных и сложных вопросов современного естествознания. От-

ветить на этот вопрос означает объяснить, каким образом природа из минимума химических элементов и соединений создала сложнейшие макромолекулы, а затем высокоорганизованный комплекс биосистем?

Ответ на этот вопрос ищется в настоящее время в особой химической науке – эволюционной химии. Ее иногда называют также предбиологией – наукой о самоорганизации химических систем. Под самоорганизацией понимают самопроизвольное повышение упорядоченности уровней сложности систем, т.е. качественно изменяющихся систем.

В рамках эволюционной химии выделяется два подхода к проблеме самоорганизации: *субстратный и функциональный*.

Функциональный подход сосредотачивает внимание на исследовании самих процессов самоорганизации материальных систем, на выявлении законов, которым подчиняются эти процессы. Здесь эволюционные процессы часто рассматриваются с позиций кибернетики. Крайней точкой зрения в этом подходе является утверждение о полном безразличии к материалу эволюционирующих систем.

Субстратный подход состоит в исследовании вещественной основы биологических систем, т.е. элементов-органов и определенной структуры входящих в живой организм химических соединений. Результатом субстратного подхода к проблеме биогенеза (т.е. происхождение жизни) является получение информации об отборе химических элементов и структур.

Действительно, налицо определенный отбор химических элементов для создания эволюционирующих систем. В настоящее время известно более 100 химических элементов, однако, основу живых систем составляют только 6 элементов, получивших название органогенов: C, H, O, N, P, S, общая весовая доля которых составляет 97,4 %. За ними следуют еще 12 элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем: Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Si, Al, Cl, Cu, Zn, Co. Их весовая доля в организмах 1,6 %.

Об отборе свидетельствует и общая химическая картина мира. В настоящее время известно около 8 млн. химических соединений. Из них подавляющее большинство (около 96 %) – это органические соединения, основной строительный материал которых все те же 6 + 12 элементов. Интересно, что из остальных химических элементов Природа создала лишь около 300 тыс. неорганических соединений.

Принцип отбора действует и далее. Так из миллионов органических соединений в построении живого участвуют лишь несколько сотен. Далее: из

100 известных аминокислот в состав белков входят только 20. Важно отметить, что из такого узкого круга отобранных природой органических веществ сформировался весь труднообозримый мир живого.

Каковы же принципы отбора химических соединений – своеобразной “химической подготовки” к образованию сложнейших биологических систем? *Оказалось, что определяющая роль здесь принадлежит катализаторам,* т.е. веществам, активирующим молекулы реагентов и повышающим скорость химических реакций. Однако, катализаторы не остаются неизмененными в ходе химических реакций: их активность либо падает, либо возрастает.

В 60-х годах 20-го века было установлено экспериментально, что в ходе *химической эволюции отбирались те химические структуры, которые способствовали резкому повышению активности и избирательной способности катализаторов*. Это позволило профессору МГУ А.П. Руденко в 1964 г. высказать теорию саморазвития открытых каталитических систем, которая по праву можно считать общей теорией хемо- и биогенеза. Сущность этой теории состоит в том, что *химическая эволюция представляет собой саморазвитие каталитических систем, и, следовательно, эволюционирующим веществом являются катализаторы*. А.П. Руденко сформулировал и основной закон химической эволюции: *с наибольшей скоростью и вероятностью образуются те пути эволюционных изменений катализатора, на которых происходит максимальное увеличение его абсолютной активности*. Саморазвитие, самоорганизация систем может происходить только за счет постоянного притока энергии, источником которой является основная, т.е. базисная реакция. Из этого следует, что максимальные эволюционнные преимущества получают каталитические системы, развивающиеся *на базе экзотермических реакций*. На ранних стадиях химической эволюции мира катализ отсутствовал. Первые проявления катализа начинаются при понижении температуры до 500° К и ниже и образовании первичных твердых тел. Полагают также, что когда период химической подготовки, т.е. период интенсивных и разнообразных химических превращений сменился периодом биологической эволюции, химическая эволюция как бы застыла.

В работах А.П.Руденко изложена детально разработанная им теория открытых каталитических систем. Основные законы их развития можно сформулировать следующим образом:

- в процессе развития каталитических систем складываются механизмы конкуренции и естественного отбора по параметру абсолютной каталитической активности;

- благодаря автокатализу реакции становятся самоускоряющимися, причем на некоторой ступени развития ЭОКС достигается первый кинетический (температурный) предел саморазвития, когда рост абсолютной скорости базисной реакции начинает ограничиваться постоянным уровнем температуры в системе. Отдельные элементарные каталитические центры приобретают способность осуществлять одновременно не один, как ранее, а несколько полных циклов базисной реакции;

- при дальнейшем развитии скорость реакции начинает ограничиваться концентрацией реагирующих веществ, и ЭОКС достигает второго кинетического предела саморазвития.

- второй кинетический предел преодолевается с помощью пространственного структурного разобщения центров катализа.

Можно считать, что второй кинетический предел является пределом добиологической химической эволюции, то есть с достижением способности к самовоспроизведению завершается наивысший этап химической эволюции сложных каталитических систем.

Теория саморазвития элементарных открытых каталитических систем является наиболее подробно разработанным вариантом общей теории химической эволюции и биогенеза, решает в комплексе вопросы о движущих силах и механизме эволюционного процесса, то есть о законах химической эволюции, об отборе элементов и структур и их причинной обусловленности, об уровне химической организации и иерархии химических систем в процессе эволюции.

В 1971 г. немецкий физик-химик М. Эйген (1927 г.р., Нобелевская премия за 1967 г.) сформулировал последовательную концепцию предбиологической молекулярной эволюции, основанную на гиперциклах. *Гиперциклом называется принцип самоорганизации макромолекул в единицу, способную к эволюции, для которого характерны гомеостаз, метаболизм и редупликация.* Модель гиперцикла включает в себя принципы самоорганизации диссипативных структур, симбиоза на молекулярном уровне. Гиперцикл допускает рост своих компонентов и регуляцию размеров. Эйген распространил идеи дарвиновского отбора на популяции макромолекул в первичном бульоне и ввел понятие конкуренции гиперциклов, или циклов химических реакций, которые приводят к образованию *белковых* молекул. Циклы, работающие быст-

рее и эффективнее остальных, выживают и побеждают в конкурентной борьбе. Пищей служат молекулы мономеров, которые поглощаются при полимеризации или в ходе циклов реакций.

Образование и отшлифовка эйгеновских гиперциклов привели к созданию аппарата трансляции. Образование вслед за этим клеточной мембраны завершило предбиологический период эволюции.

Процесс возникновения живых клеток тесно связан с взаимодействием нуклеотидов (нуклеотиды – элементы нуклеиновых кислот – цитозин, гуанин, тимин, аденин), являющихся материальными носителями информации, и протеинов, служащих катализаторами химических реакций. В процессе взаимодействия нуклеотиды под влиянием протеинов воспроизводят самих себя и передают информацию следующему за ними протеину, так что возникает замкнутая автокаталитическая цепь, которую М. Эйген назвал гиперциклом. В ходе дальнейшей эволюции из них возникают первые живые клетки, сначала безъядерные (прокариоты), а затем с ядрами – эукариоты.

Эволюция гиперциклов при определённых условиях – неизбежное событие. Гиперциклы возникают раз и навсегда как закономерный этап универсальной эволюции. Ошибка антиэволюционистов в том, что они подсчитывая вероятность возникновения ДНК и приходя к результатам 10^{-60}, не учитывают, что подсчитывать надо скорость процесса эволюции. Достаточно ли времени для достижения данной величины биологического прогресса.

9.3. Теории возникновения жизни

Наиболее известными к настоящему времени теориями возникновения жизни на Земле являются следующие.

Креационизм. Согласно этой теории жизнь была создана сверхъестественным существом – Богом в определенное время. Этого взгляда придерживаются последователи почти всех религиозных учений. Однако и среди них нет единой точки зрения по этому вопросу, в частности, по трактовке традиционного христианско-иудейского представления о сотворении мира (Книга Бытия). Одни буквально понимают Библию и считают, что мир и все населяющие его живые организмы были созданы за шесть дней продолжительностью по 24 часа (в 1650 г. архиепископ Ашер, сложив возраст всех людей, упоминающихся в библейской генеалогии, вычислил, что Бог приступил к сотворению мира в октябре 4004 г. до н.э. и закончил свой труд в декабре 23 октября в 9 часов утра, создав человека. При этом, правда, получается, что Адам был сотворен в то время, когда на Ближнем Востоке уже существовала

хорошо развитая городская цивилизация). Другие же не относятся к Библии как к научной книге и считают, что главное в ней – божественное откровение о создании мира всемогущим Творцом в понятной для людей древнего мира форме. Другими словами, Библия не отвечает на вопросы «каким образом?» и «когда?», а отвечает на вопрос «почему?». В широком смысле креационизм допускает, таким образом, как создание мира в его законченном виде, так и создание мира, эволюционирующего по законам, заданным Творцом.

Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения. Однако для верующего теологическая (божественная) истина абсолютна и не требует доказательств. В то же время, для настоящего ученого научная истина не является абсолютной, она всегда содержит элемент гипотезы. Таким образом, концепция креационизма автоматически выносится за рамки научного исследования, поскольку наука занимается лишь теми явлениями, которые поддаются наблюдению, могут быть подтверждены или отвергнуты в ходе исследований. Другими словами, наука никогда сможет ни доказать, ни опровергнуть креационизм.

Теория креационизма хорошо вписывается в принцип роста энтропии (Бог однажды устроил мир идеальным образом, теперь мир может только деградировать) и легко объясняет природу целесообразности в устройстве Вселенной.

Самопроизвольное зарождение. Согласно этой теории жизнь возникала и возникает неоднократно из неживого вещества. Эта теория была распространена в Древнем Китае, Вавилоне, Египте. Аристотель, которого часто называют основателем биологии, развивая более ранние высказывания Эмпедокла об эволюции живого, придерживался теории самопроизвольного зарождения жизни. Он считал, что «...живое может возникать не только путем спаривания животных, но и разложением почвы». С распространением христианства эта теория оказалась в одной проклятой церковью «обойме» с оккультизмом, магией, астрологией, хотя и продолжала существовать где-то на заднем плане, пока не была опровергнута экспериментально в 1688 г. итальянским биологом и врачом Франческо Реди. Принцип «Живое возникает только из живого» получил в науке название Принципа Реди. Так складывалась концепция биогенеза, согласно которой жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни. В середине 19-го века Л. Пастер окончательно опроверг теорию самопроизвольного зарождения и доказал справедливость теории биогенеза.

Теория панспермии. Согласно этой теории жизнь была занесена на Землю извне, поэтому ее, в сущности, нельзя считать теорией возникновения жизни как таковой. Теория панспермии многое объясняет, но не решает вопроса о происхождении жизни во Вселенной вообще, вопрос лишь отодвигается на более далекие космические объекты. В ее пользу свидетельствует наличие в белке молибдена в количестве непропорционально большем, чем имеется его на Земле. Следующим соображением в ее пользу служит факт прекрасного соответствия общего элементарного состава комет содержанию элементов живой материи. Кроме того, кометы содержат воду и органическое вещество, являющееся превосходной питательной средой для некоторых видов микроорганизмов. Исследования комет показали, что в них неопределенно долго могут сохраняться почти все формы микроорганизмов, известных в настоящее время на Земле. Согласно гипотезе Ф. Хойла и Ч. Викрамасингха, наша планета ежегодно получает более 10^{18} спор как остаток кометного материала, рассеянного в Солнечной системе. Таким образом, возможно, что именно кометы принесли на Землю органические молекулы, способствовавшие возникновению на ней жизни. Более того, к нам до сих пор продолжают поступать из космоса живые организмы в виде бактерий и вирусов.

Данная теория не предлагает никакого механизма для объяснения первичного возникновения жизни, а просто переносит проблему происхождения жизни в какое-то другое место Вселенной.

К тому же существует ряд веских аргументов в пользу земного происхождения жизни. Например, известно, что только земная биоорганика обладает оптической асимметрией. Дело в том, что многие органические соединения представляют собой смесь двух так называемых оптических изомеров - веществ, имеющих совершенно одинаковые химические свойства, но различающихся так называемой оптической активностью. Они по-разному отклоняют луч поляризованного света, проходящий через их кристаллы или растворы, и в соответствии с направлением отклонения называются право- или левовращающими; свойством этим обладают лишь чистые изомеры, смеси же их оптически неактивны. Так вот, эти химически идентичные вещества вовсе не являются таковыми для живых существ: плесневый гриб пенициллиум, развиваясь в среде из виноградной кислоты, "поедает" лишь ее правовращающий изомер, а в среде из молочной кислоты - левовращающий (на этом, кстати, основан один из методов разделения оптических изомеров), человек легко определяет на вкус изомеры молочной кислоты.

Сейчас известно, что все белки на нашей планете построены только из левовращающих аминокислот, а нуклеиновые кислоты – из правовращающих сахаров; это свойство, называемое *хиральной* чистотой, считается одной из фундаментальнейших характеристик живого. А поскольку при любом абиогенном синтезе (например, в аппарате Миллера) образующиеся аминокислоты будут состоять из приблизительно равных (по теории вероятностей) долей право- и левовращающих изомеров, то в дальнейшем – при синтезе из этого "сырья" белков – перед нами встанет задача: как химическими методами разделить смесь веществ, которые по определению химически идентичны?

Оптической активностью обладают лишь природные сахара, а упомянутые выше синтетические и полипептиды из метеоритного вещества состоят из равных долей право- и левовращающих аминокислот. Это связано, по-видимому, с асимметрией молекулы ДНК, на основе которой строится земная жизнь. Вся «космическая» и искусственная органика оптически нейтральна

Теория биохимической эволюции. Жизнь возникла в специфических условиях древней Земли в результате процессов, подчиняющимся физическим и химическим законам. Последняя теория отражает современные естественнонаучные взгляды и поэтому будет рассмотрена подробнее.

Следует подчеркнуть одно из важнейших отличий теории биохимической эволюции от теории самопроизвольного (спонтанного) зарождения, является то, что согласно теории эволюции жизнь возникла в условиях, которые для современной биоты непригодны!

9.4. Гипотеза Опарина–Холдейна о происхождении жизни

Согласно современным данным формирование Земли произошло 4,52 ± 0,02 млрд лет назад. В далеком прошлом условия на Земле коренным образом отличались от современных, что обусловило определенное течение химической эволюции, которая явилась предпосылкой для возникновения жизни. Другими словами, собственно биологической эволюции предшествовала предбиотическая эволюция, связанная с переходом от неорганической материи к органической, а затем к элементарным формам жизни. Это было возможным в определенных условиях, которые имели место на Земле в то время, а именно:

- высокая температура, порядка 400°С;
- атмосфера, состоящая из водяных паров, CO_2, CH_3, NH_3;
- присутствие сернистых соединений (вулканическая активность);
- высокая электрическая активность атмосферы;

- ультрафиолетовое излучение Солнца, которое беспрепятственно достигало нижних слоев атмосферы и поверхности Земли, поскольку озоновый слой еще не сформировался.

Большинство ученых придерживается мнения, что на Земле химическая эволюция привела к спонтанному зарождению жизни в интервале времени между 4,5 и 3,83 млрд лет назад. Последнюю гипотезу в 20-е годы XX века высказали русский ученый *А.И. Опарин* и англичанин *Дж. Холдейн*. Она и легла в основу современных представлений о возникновении жизни на Земле.

Начальный этап существования Земли отличался интенсивными термоядерными процессами, высокой температурой (более 1000 °С) и активной химической деятельностью. Образовавшиеся при этом газы (NH_3, CH_4, $C0_2$ и др.) и водяной пар под огромным давлением извергались на поверхность и создавали первичную атмосферу Земли. Когда температура стала ниже 100 °С, на Землю произошла конденсация паров и образовались моря и океаны. В первобытном океане за счет энергии электрических разрядов, непрекращающихся гроз, ультрафиолетовых излучений и вулканической деятельности из растворенных в горячей воде неорганических веществ возникли органические соединения (сахар, аминокислоты, азотистые основания и др.), в том числе большое количество соединений металлов с углеродом (карбидов). Подсчеты показывают, что только посредством вулканической деятельности на поверхности Земли могло образовываться около 10^{16} кг органических молекул. Абиогенное образование органических соединений не только возможно (это доказано экспериментально) но и широко распространено во Вселенной. Второй этап биогенеза характеризовался возникновением более сложных органических соединений, в частности белковых веществ, углеводов, жиров, аминокислот, нуклеиновых кислот за счет взаимодействия друг с другом. Возможность такого синтеза была доказана экспериментально опытами А.М. Бутлера и др.

В 20-е годы А.И. Опарин и Дж. Холдейн экспериментально показали, что в растворах высокомолекулярных органических соединений могут возникать зоны повышенной их концентрации – коацерватные капли – которые в некотором смысле ведут себя подобно живым объектам: самопроизвольно растут, делятся и обмениваются веществом с окружающей их жидкостью через уплотненную поверхность раздела. Затем, в 1953 г., С.Миллер воспроизвел в колбе газовый состав первичной атмосферы Земли (исходя из состава современных вулканических газов) и при помощи электрических разрядов, имитирующих грозы, синтезировал в ней ряд органических соединений - в

том числе аминокислоты. Через некоторое время С.Фоксу удалось соединить последние в короткие нерегулярные цепи – безматричный синтез полипептидов; подобные полипептидные цепи были потом реально найдены, среди прочей простой органики, в метеоритном веществе. После этого Орджел в Институте Солка в сходном эксперименте синтезировал нуклеотидные цепи длиной в шесть мономерных единиц (простые нуклеиновые кислоты).

Особенно важно, что лабораторные эксперименты совершенно определенно показали возможность образования белковых молекул в условиях отсутствия жизни.

В «первичном бульоне» присутствуют и катализаторы химических реакций, которые образуются в них как промежуточные продукты, то есть возникает автокаталитическая самоорганизующаяся система. После того как образовался «первичный бульон» из углеродных соединений, появилась возможность образования биополимеров – нуклеиновых кислот и белков, обладающих свойствами самовоспроизводства. В результате осаждения органических соединений на минеральных телах, например на глине дна водоемов, возникла концентрация, необходимая для образования полимеров.

Вода в начальный период формирования нашей планеты непрерывно перемещала растворенные в ней вещества из мест образования в места накопления, где формировались протобионты (системы органических веществ, способные расти и развиваться за счет поглощения из окружающей среды богатых энергией веществ).

Количество накопленного органического вещества, образованного таким образом за 1 млрд. лет по некоторым оценкам составил несколько кг на каждый см^2, т.е. «первичный бульон» был весьма насыщен органическими соединениями.

Следующий этап – *обьеденение* в мелкие обособленные структуры раствора – образование скоплений – *коацерватов*. Коацерватные капли были способны захватывать из окружающей среды – питательного бульона – различные вещества и увеличиваться в размерах, в них могли происходить процессы распада и выделения продуктов распада. Эти вещества вступали во взаимодействие, а крупные капли распадались на мелкие, которые, в свою очередь, могли расти и т. д. По мнению академика Опарина, среди коацерватных капель шел своего рода «отбор» наиболее устойчивых к окружающей среде.

Между коацерватами выстраивались молекулы сложных углеводородов, что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечи-

вающей коацерватам стабильность. Включение в коацерват молекулы, способной к самовоспроизведению, приводило к возникновению примитивной клетки, которая могла расти. Мембраны располагались на поверхности клетки, а также многократно прошивали ее насквозь в разных направлениях, образуя внутреннюю сеть мембран. На мембранах концентрировались абиогенно синтезированные ферменты, что упорядочило обмен веществ в клетках. Обмен веществ начал зависеть от свойств и порядка расположения ферментов на мембранах. У нуклеиновых кислот, которые синтезировались абиогенно, еще не было однозначно заданных матриц, в соответствии с которыми каждая новая молекула нуклеиновых кислот копирует последовательность азотистых оснований молекулы-матрицы.

В ходе образования и развития коацерватов появились *биологические мембраны*. Возникновение мембраны, обладающей способностью к избирательной проницаемости, содействовало дальнейшему развитию все более саморегулирующихся систем вплоть до возникновения первых клеток. Первые клетки по теории Опарина возникли в результате эволюции коацерватных капель. Это пример *агрегации* (создание групп с определенной внутренней структурой) в мире макромолекул. Крупные молекулы имеют обычно сложную форму. Поэтому энергетически более выгодно оказывается слияние этих молекул в каплю. Сложные капли способны улавливать и впитывать в свою структуру определенные вещества из окружающего их раствора, поддерживая этим стабильность своей структуры.

Считается, что на этом этапе процесса синтеза органических соединений четыре рода энергий – α- и β-распад, ультрафиолетовое излучение, электрические разряды и тепловое излучение, являлись равноценными. После синтеза органических соединений они должны были быть перемещены в пространстве, в область, недоступную для их деградации.

Образование мембран считается трудной задачей химической эволюции. Без них не может быть самой примитивной клетки. Мембраны ограничивают вещество коацервата от окружающей среды, придавая прочность «упаковки» и характеризуются полупроницаемостью. Но коацерваты нельзя отнести еще к живым системам, поскольку они не способны к саморегуляции и самовоспроизводству.

Основное отличие живых организмов – это их свойство к *репликации*, т.е. к самовоспроизведению. Центральной проблемой происхождения жизни на Земле является реконструкция эволюции механизма наследственности. Жизнь возникла только тогда, когда начал действовать механизм *репликации*.

Любая сколь угодно сложная комбинация аминокислот и других сложных органических соединений — это еще не живой организм. Ведь последний, даже в простейших случаях — это отлично налаженный механизм, способный к репликации. Как происходил этот процесс, точно сказать трудно. Наиболее перспективными здесь являются гипотезы на принципах теории самоорганизации и синергетики, работы М. Эйгена о гиперциклах. Гиперцикл, сформировавшийся из нуклеиновых кислот, которые способны с помощью ферментов синтезировать белки, обеспечивает отбор макромолекул с объемом информации, достаточной для возникновения живого организма. Циклические реакции в процессе эволюции повторяются, и каждое повторение ведет к образованию новых, более совершенных систем управления. При этом происходит усложнение структур, возрастает уровень их организации.

Первые организмы были *гетеротрофами* и питались за счет органических веществ, растворенных в первородном океане, использовали, по-видимому, энергии недр планеты. Остатки такой жизни обнаружены в глубоководных разломах. Ее основу составляют хемосинтезирующие (высвобождающие энергию за счет реакции окисления простых неорганических соединений) бактерии, но имеются и более сложные многоклеточные существа (типа червей). Исходя из этого, можно представить, что начало жизни на нашей планете отодвигается более чем на 4 млрд лет назад, то есть жизнь на Земле существует примерно столько же времени, сколько существует сама планета.

Следующий этап – это возникновение *автотрофов*, использующих солнечную энергию для синтеза органических соединений из простейших неорганических.

С этой точки зрения переход к кислородному фотосинтезу, можно и, по-видимому, нужно рассматривать как последовательное приобретение новых более прогрессивных способов существования. Однако для мутации микроорганизмов не требуются сотни миллионов и миллиарды лет. В лабораторных условиях этот процесс осуществляется, с геологической точки зрения, мгновенно.

Возникнув, жизнь стала развиваться быстрыми темпами (ускорение эволюции во времени). Так, развитие от первичных органических соединений до аэробных форм жизни потребовалось около 3 млрд. лет, тогда как с момента возникновения наземных растений и животных прошло около 500 млн. лет, птицы и млекопитающие развились от первых позвоночных за 100 млн. лет,

приматы выделились за 12-15 млн лет, для становления человека потребовалось около 3 млн лет.

Древняя среда обитания была гораздо контрастнее и экстремальнее современной. Неслучайно значительная часть архебактерий приспособлена выживать в самых невероятных физико-химических условиях. Очевидно, что на ранних стадиях становления биосферы не было недостатка в физических и химических мутагенах.

9.4.1. Основные проблемы гипотезы Опарина - Холдейна о происхождении жизни

1. Решение даже чисто технической химической задачи: как синтезировать сложные органические макромолекулы (прежде всего белки и нуклеиновые кислоты) из простых (метана, аммиака, сероводорода и пр.), которые составляли первичную атмосферу Земли, чрезвычайно далеко от своего разрешения. При любом абиогенном синтезе (например, в аппарате Миллера) образующиеся аминокислоты будут состоять из приблизительно равных (по теории вероятностей) долей право- и левовращающих изомеров, то в дальнейшем – при синтезе из этого "сырья" белков – перед нами встанет задача: как химическими методами разделить смесь веществ, которые по определению химически идентичны? (Не зря оптической активностью обладают лишь природные сахара – и ни один из синтетических, а упомянутые выше полипептиды из метеоритного вещества состоят из равных долей право- и левовращающих аминокислот.). Т.е. получаемые соединения (и органические вещества, обнаруженные в космосе) не соответствуют хиральной чистоте.

В настоящее время с помощью экспериментов доказано, что такое разделение имеет место при нелинейной динамике протекания химических автокаталитических реакциях. Это значит, что переход от симметричных молекул неживого к ассиметричным биомолекулам живой природы вполне мог происходить при определенных условиях на стадии предбиологической эволюции материи. По-видимому, именно естественный отбор в процессе химической (предбиологической) эволюции привел к хиральной чистоте нуклеиновых кислот и белков. По подсчетам ученых, для этого понадобилось около 1 млн лет.

Между тем даже успешный синтез "живых" макромолекул (до которого еще, очень далеко) сам по себе проблемы не решает. Для того, чтобы макромолекулы заработали, они должны быть организованы в клетку, причем никаких возможностей для промежуточной форм в ходе этого немыслимой

сложности перехода (перелета) не просматривается: все так называемые доклеточные формы жизни – вирусы – являются облигатными (т.е. обязательными) внутриклеточными паразитами, а потому навряд ли могут являться предшественниками клеток.

2. Центральной проблемой происхождения жизни на Земле является реконструкция эволюции механизма наследственности. Жизнь возникла только тогда, когда начал действовать механизм **репликации**. Любая сколь угодно сложная комбинация аминокислот и других сложных органических соединений — это еще не живой организм. Ведь последний, даже в простейших случаях — это отлично налаженный механизм, способный к репликации. Проблема усугубляется еще тем, что современная ДНК сама по себе совершенно беспомощна. Она может функционировать только при наличии белков-ферментов (их необходимо порядка тысячи). Думать, что чисто случайно, путем «перетряхивания» отдельных белков — многоатомных молекул — могли возникнуть такая сложнейшая машина как ДНК и нужный для ее функционирования комплекс белков-ферментов, — это значит верить в чудеса. Куда, например, более вероятно предположить, что какая-нибудь мартышка, беспорядочно барабаня по клавиатуре пишущей машинки, случайно напечатает, например, 66-й сонет Шекспира.

Вероятность случайного возникновения необходимой аминокислотно-нуклеотидной последовательности соответствует вероятности того, что несколько килограммов типографского шрифта, будучи сброшены с крыши небоскреба, сложатся в 105-ю страницу романа "Война и мир". Абиогенез (в его классическом виде) как раз и предполагал такое "сбрасывание шрифта" – раз, 10 раз, 100 раз – сколько понадобится, пока тот не сложится в требуемую страницу. Сейчас всем понятно, что это просто несерьезно: потребное для этого время (его вполне можно рассчитать) на много порядков превосходит время существования всей нашей Вселенной (не более 18 млрд. лет).

3. В настоящее время следы жизни обнаружены с тех пор, когда появились первые водно-осадочные породы, а это произошло около четырех миллиардов лет назад. Три сопряженных процесса и явления имеют одинаковый возраст: образование древнейших осадочных пород Земли; фиксация изотопов углерода биогенной природы в этих породах; нахождение в них же форм бактериевидных организмов. Все эти явления датируются одинаково: 3,6-3,8 миллиарда лет. При этом следует учесть еще и то, что самая примитивная, бактерия — в сущности, сложнейшая живая система, сложнейший организм. Для его формирования требуется непредсказуемый отрезок времени.

В результате можно сформулировать следующий вопрос: можем ли мы с уверенностью утверждать, что же древнее — Земля как планета или жизнь?

Последние добытые наукой факты говорят о том, что в древнейших горных породах возрастом около 4 миллиардов лет, то есть почти одновозрастных с самой планетой Земля, встречаются уже сообщества микроорганизмов различных видов и форм. Они и представляли древнюю биосферу Земли. Следовательно, возраст биосферы приближается к геологическому возрасту Земли как планеты Солнечной системы.

В свое время, выдающийся генетик Н.В. Тимофеев-Ресовский имел обыкновение на все вопросы о происхождении жизни на Земле отвечать: «Я был тогда очень маленьким, и потому ничего не помню. Спросите-ка лучше у академика Опарина…».

9.5. Специфика живого

С возникновением жизни высшей и наиболее сложной формой материи становится биологическая. К специфике живого можно отнести следующие закономерности:

- жизнь возникает в ходе протекания химических процессов, хотя переход от неживого к живому пока воспроизвести не удается;
- с возникновением жизни большая часть химических веществ продолжает существовать по своим собственным законам вне живых организмов. При этом неживое вещество служит внешней средой, с которой живое находится в постоянной динамичной связи (обмен веществ между организмом и средой);
- некоторая часть химических веществ после возникновения живого включается в состав живых организмов. Биохимия, или химия живого, намного сложнее химических процессов, идущих вне живого организма. Одновременно биохимия — часть химической науки и в ней действуют в особых формах все химические законы.
- биохимические процессы являются основой жизни, они воздействуют на биологически явления, накладывая на них определенные ограничения.
- биохимические процессы развиваются под контролем биологических процессов и закономерностей, например естественного отбора. В живом организме химический синтез направлен на поддержание его жизнеспособности.
- в живой природе возникает новое качество — биологическое, которое имеет в своей основе сложные химические механизмы и в то же время не может быть сведено даже к самому сложному набору химических процессов.

При попытке определить сущность жизни (*критерии живого*) на научном уровне возникают значительные трудности. Большинство ученых убеждены,

что жизнь представляет собой особую форму существования материального мира. До конца 50-х годов классическим считалось определение Ф. Энгельса, которое гласило, что жизнь есть способ существования белковых тел, состоящий в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел. Однако уже к началу 60- х годов стало очевидным, что вещественная основа жизни сводится не только к белкам, а функциональная — не только к присущему живым организмам обмену веществ. Некоторые определения подчеркивают энергетический аспект жизни — противостояние энтропийным процессам, другие возникновение точной пространственной редупликации или матричного копирования, осуществляемого посредством нуклеиновых кислот.

Современная биология в вопросе о сущности живого все чаще идет по пути перечисления основных свойств живых организмов или критериев жизни. При этом подчеркивается то, что только совокупность таких свойств может дать представление о специфике жизни. К числу критериев жизни обычно относят следующие:

- живые организмы характеризуются упорядоченной сложной структурой, уровень их организации значительно выше, чем в неживых системах;
- живые организмы получают энергию из окружающей среды, причем большинство из них прямо или косвенно используют солнечную энергию;
- все живые организмы, как растения, так и животные, реагируют на изменения в окружающей среде (раздражимость);
- живые организмы не только изменяются, но и усложняются;
- все живое размножается. Способность к самовоспроизведению — основополагающий признак жизни, поскольку при этом проявляется действие механизма наследственности изменчивости, которые определяют эволюцию всех видов живой природы;
- живые организмы передают по наследству заложенную в них информацию, необходимую для развития и размножения потомства. Эта информация заложена в генах — единицах наследственности, мельчайших внутриклеточных структурах. Генетический материал определяет направление развития организма. Информация в процессе передачи несколько изменяется, поэтому потомство не только похоже на родителей, но и отличается от них;
-живые организмы хорошо приспособлены к среде обитания и соответствующему образу жизни.

В упрощенном виде можно считать, что все живые организмы питаются, дышат, растут, размножаются и распространяются в природе, а неживые тела не питаются, не дышат, не растут и не размножаются.

9.6. Концепция эволюции в биологии

Под эволюцией подразумевается процесс длительных, постепенных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся образованием новых систем, структур и видов. Представления об эволюции в естествознании имеют ключевое значение. Парадигма современного естествознания – это эволюционно-синергетическая парадигма, в основе которой лежат представления о самоорганизации и эволюции материи на всех ее структурных уровнях. Ранее уже говорилось об эволюции Вселенной, звезд, планетных систем, геологической и химической эволюции. Однако впервые эволюционная концепция четко и обоснованно была сформулирована в биологии.

9.6.1. Эволюционная теория Дарвина – Уоллеса

Французский биолог Ламарк в 1809 году выдвинул гипотезу о механизме эволюции, в основе которой лежали две предпосылки: упражнение и неупражнение частей организма и наследование приобретенных признаков. Изменения среды могут вести, по его мнению, к изменению форм поведения, что вызовет необходимость использовать некоторые органы или структуры по-новому или более интенсивно (или перестать ими пользоваться). В случае интенсивного использования эффективность и (или) величина органа будет возрастать, а при неиспользовании может наступить его дегенерация и атрофия. Эти признаки, приобретенные индивидуумом в течение всей жизни, согласно Ламарку, наследуются, т. е. передаются потомкам.

С точки зрения ламаркизма длина шеи и ноги жирафа — результат того, что многие поколения его некогда коротконогих и короткошеих предков питались листьями деревьев, за которыми им приходилось тянуться все выше и выше. Незначительное удлинение шеи и ног, происходящее в каждом поколении, передавалось следующему поколению, пока эти части тела не достигли своей нынешней длины. Перепонки между пальцами у водоплавающих птиц и форму тела камбалы объясняли таким же образом. Перепонки возникли в результате постоянного раздвигания пальцев и растяжения кожи между ними при плавании в поисках пищи или для спасения от хищников, а уплощенное тело — из-за лежания на боку на мелководье. Хотя теория Ламарка подготовила почву для принятия эволюционной концепции, его взгляды на механизм изменения так и не получили широкого признания. Однако Ламарк был прав, подчеркивая роль условий жизни в возникновении фенотипных изменений у данной особи. Например, занятия физкультурой увеличивают объем мышц, но хотя эти приобретенные признаки затрагивают фенотип, они не являются генетическими и, не оказывая влияния на генотип, не могут пе-

редаваться потомству. Теория Ламарка была исторической предпосылкой для признания впоследствии наследования генетических особенностей при половом размножении.

Представления об эволюции живого высказывались практически на протяжении всего периода развития естествознания (Эмпедокл, Аристотель, Ламарк). Тем не менее, основоположником эволюционной теории в биологии считается Ч. Дарвин. В каком-то смысле толчком к развитию теории эволюции можно считать книгу Т. Мальтуса «Трактат о народонаселении» (1778), в котором он показал, к чему бы привел рост народонаселения, если бы он ничем не сдерживался. Дарвин применил подход Мальтуса на другие живые системы. Исследуя изменения численности популяций, он пришел к объяснению эволюции путем естественного отбора (1839 г). Таким образом, наибольший вклад Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить.

В это же время другой естествоиспытатель А.Р. Уоллес, как и Дарвин, много путешествовавший и тоже читавший Мальтуса, пришел к тем же выводам. В 1858 г. Дарвин и Уоллес выступили с докладами о своих идеях на заседании Линнеевского общества в Лондоне. В 1859 г. Дарвин опубликовал свой труд «Происхождение видов» («Origin of species»).

Согласно теории Дарвина – Уоллеса, механизмом, с помощью которого возникают новые виды, служит естественный отбор. Эта теория основывается на трех наблюдениях и двух выводах, которые удобно представить в виде следующей схемы (рис. 9.1).

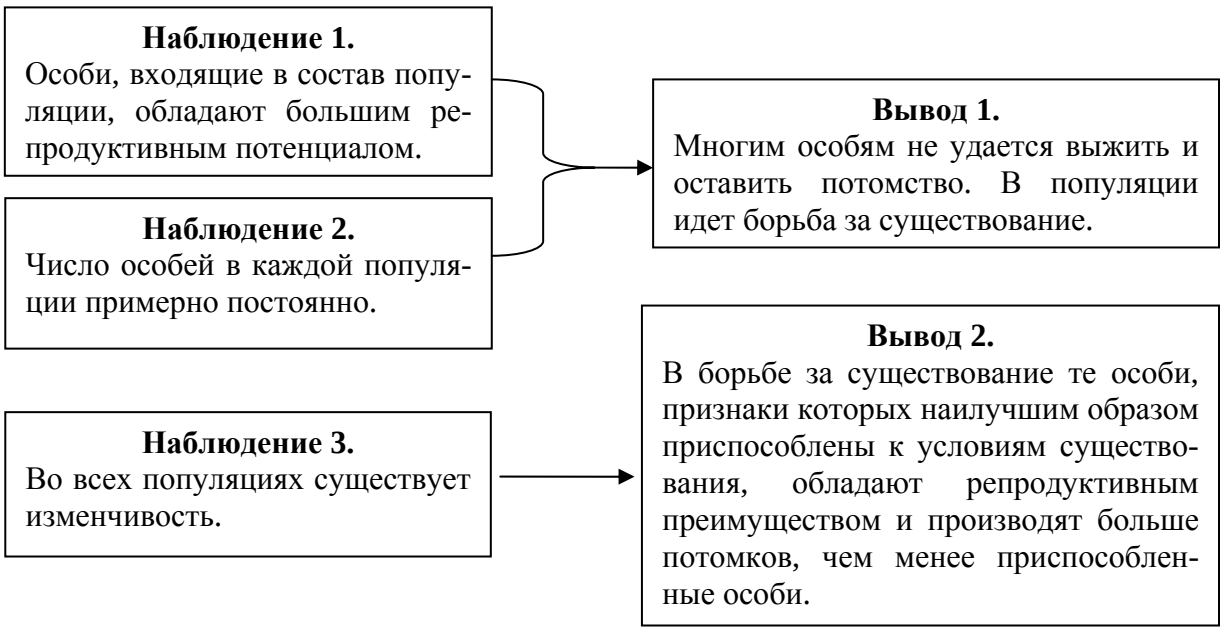

Рис. 9.1. Основные выводы теории Дарвина – Уоллеса

9.6.2. Современная (синтетическая) теория эволюции

Теория Дарвина – Уоллеса в начале 40-х годов XX в. была значительно расширена и разработана в свете современных данных генетики (которая во времена Дарвина еще не существовала), палеонтологии, молекулярной биологии, экологии, этологии (науки о поведении животных) и получила название неодарвинизма или синтетической теории эволюции. Новая, синтетическая теория эволюции представляет собой синтез основных эволюционных идей Дарвина, прежде всего, идеи естественного отбора, с новыми результатами биологических исследований в области наследственности и изменчивости. Термин «синтетическая» идет от названия книги известного английского эволюциониста Дж. Хаксли «Эволюция: современный синтез» (1942). В разработку синтетической теории эволюции внесли вклад многие ученые.

Основные положения синтетической теории эволюции в общих чертах можно выразить следующим образом:

- Материалом для эволюции служат наследственные изменения — мутации (как правило, генные) и их комбинации.

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

- Наименьшей единицей эволюции является популяция.

- Эволюция носит в большинстве случаев дивергентный характер, т. е. один таксон может стать предком нескольких дочерних таксонов.

- Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование как этап эволюционного процесса представляет собой последовательную смену одной временной популяции чередой последующих временных популяций.

- Вид состоит из множества соподчиненных, морфологически, физиологически, экологически, биохимически и генетически отличных, но репродуктивно не изолированных единиц — подвидов и популяций.

- Вид существует как целостное и замкнутое образование. Целостность вида поддерживается миграциями особей из одной популяции в другую, при которых наблюдается обмен аллелями («поток генов»).

- Макроэволюция на более высоком уровне, чем вид (род, семейство, отряд, класс и др.), идет путем микроэволюции. Согласно синтетической теории эволюции, не существует закономерностей макроэволюции, отличных от микроэволюции. Иными словами, для эволюции групп видов живых организмов характерны те же предпосылки и движущие силы, что и для микроэволюции.

- Эволюция имеет ненаправленный характер, т. е. не идет в направлении какой-либо конечной цели.

Современная теория эволюции имеет следующие особенности:

- она ясно выделяет элементарную структуру, с которой начинается эволюция – это популяция;

- выделяет элементарное явление (процесс) эволюции – устойчивое изменение генотипа популяции;

- шире и глубже истолковывает факторы и движущие силы эволюции;

- четко разграничивает микроэволюцию и макроэволюцию (впервые эти термины были введены в 1927 г. Ю.А. Филипченко, а дальнейшее уточнение и развитие получили в трудах выдающегося биолога-генетика Н.В. Тимофеева-Ресовского).

Микроэволюция – это совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов.

Макроэволюция связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период, которые приводят к возникновению надвидовых форм организации живого.

Изменения, изучаемые в рамках микроэволюции, доступны непосредственному наблюдению, тогда как макроэволюция происходит на протяжении длительного периода, и ее процесс может быть только реконструирован, мысленно воссоздан. Как микро- так и макроэволюция происходят, в конечном итоге, под влиянием изменений в окружающей среде.

Основные законы эволюции. Многочисленные исследования, проведенные в рамках вышеупомянутых наук, позволили сформулировать следующие основные законы эволюции.

1. Скорость эволюции в разные периоды неодинакова и характеризуется тенденцией ускорения. В настоящее время она протекает быстро, и это отмечается появлением новых форм и вымиранием многих старых.

Первые живые организмы возникли около 3,5 млрд. лет назад, многоклеточные – 2,5 млрд. лет назад, животные и растения – 400 млн. лет назад, млекопитающие и птицы – 100 млн. лет, приматы – 60 млн. лет, гомиды – 16 млн. лет, род человека – 6 млн. лет, Homo sapiens – 60 тыс. лет назад.

2. Эволюция различных организмов происходит с разной скоростью.

3. Новые виды образуются не из наиболее высокоразвитых и специализированных форм, а из относительно простых, неспециализированных форм.

4. Эволюция не всегда идет от простого к сложному. Существуют примеры «регрессивной» эволюции, когда сложная форма давала начало более простым (некоторые группы организмов, например, бактерии, сохранились только благодаря упрощению своей организации).

5. Эволюция затрагивает популяции, а не отдельные особи и происходит в результате мутаций, естественного отбора и дрейфа генов.

Последнее весьма важно для понимания различия между дарвиновской теории эволюции и современной теорией (неодарвинизмом).

Основные факторы эволюции. Современная теория эволюции, обобщая данные многочисленных биологических исследований, позволила сформулировать основные факторы и движущие силы эволюции.

1. Первым важнейшим фактором эволюции является *мутационный процесс*, который исходит из признания факта, что основную массу эволюционного материала составляют различные формы мутаций, т.е. изменений наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызываемых искусственно.

2. Второй важнейший фактор – популяционные волны, часто называемые «волнами жизни». Они определяют количественные флуктуации (отклонения от среднего значения) численности организмов в популяции, а также области ее обитания (ареала).

3. Третьим основным фактором эволюции признается обособленность группы организмов.

Эволюция путем естественного отбора — процесс, происходящий в два этапа. *Первый этап—это создание (в результате рекомбинации, мутационного процесса и случайных событий) генетической изменчивости; второй этап—упорядочение этой изменчивости путем отбора.* Большая часть изменчивости, возникающей на первом этапе, носит случайный характер, в том смысле что она не вызвана непосредственными потребностями организма или особенностями окружающей его среды и не связана ни с теми, ни с другими.

Второй этап естественного отбора, т.е. собственно отбор,— внешний упорядочивающий принцип. В популяции, состоящей из тысяч или миллионов отличающихся друг от друга особей, некоторые будут содержать наборы генов, лучше соответствующие преобладающим в данной местности сочетаниям экологических факторов. Статистическая вероятность выживания и оставления жизнеспособных потомков для таких особей выше, чем для других членов данной популяции. Именно этот второй этап естественного отбора

определяет направление эволюции, повышая частоту тех генов и тех генных сочетаний, которые адаптированы к условиям данного времени и места, повышая приспособленность, способствуя специализации и давая начало адаптивной радиации и тому, что можно несколько вольно назвать эволюционным прогрессом.

Иными словами, *эволюцию путем отбора нельзя рассматривать ни как случайное, ни как детерминированное явление; это процесс, состоящий из двух последовательных этапов и совмещающий преимущества явлений того и другого порядка*.

Силы, вызывающие генные мутации, действуют случайным образом в том смысле, что эти мутации возникают безотносительно к их будущему адаптивному значению в данной среде. Иными словами, вероятность появления мутантной особи в среде, в которой отбор будет ей благоприятствовать, не больше, чем в среде, в которой она подвергнется отрицательному отбору.

К перечисленным основным факторам эволюции добавляют такие как частота смены поколений в популяции, темпы и характер мутационных процессов и др. Важно помнить, что все перечисленные факторы выступают не изолированно, а во взаимосвязи и взаимодействии друг с другом. Все эти факторы являются необходимыми, однако, сами по себе они не объясняют механизма эволюционного процесса и его движущей силы. *Движущая сила эволюции заключается в действии естественного отбора, который является результатом взаимодействия популяций и окружающей среды. Результатом же самого естественного отбора является устранение от размножения (элиминация) отдельных организмов, популяций, видов и других уровней организации живых систем*. (Следует иметь в виду, что трактовка естественного отбора как процесса выживания сильнейших, наиболее приспособленных некорректна, так как, с одной стороны, в ряде случаев бессмысленно говорить о большей или меньшей приспособленности, с другой – даже при явно меньшей степени приспособленности, допускается возможность размножения).

Формы естественного отбора. Естественный отбор в процессе эволюции принимает различные формы. Можно выделить три основных формы: *стабилизирующий отбор, движущий отбор и дизруптивный отбор*.

Стабилизирующий отбор – форма естественного отбора, направленная на поддержание и повышение устойчивости реализации в популяции среднего, ранее сложившегося признака или свойства. При стабилизирующем отбо-

ре преимущество в размножении получают особи со средним выражением признака (по образному выражению, это «выживание заурядностей»). Эта форма отбора как бы охраняет и усиливает новый признак, устраняя от размножения все особи, фенотипически заметно уклоняющиеся в ту или другую сторону от сложившейся нормы.

Пример: после снегопада и сильных ветров было найдено 136 оглушенных и полуживых воробьев; 72 из них выжили, а 64 погибли. У погибших птиц были очень длинные или очень короткие крылья. Особи же со средними - «нормальными» крыльями оказались более выносливыми.

Упомянутое ранее биохимическое единство жизни на Земле - это один из результатов стабилизирующего отбора. Действительно, аминокислотный состав низших позвоночных и человека почти один и тот же. Биохимические основы жизни оказались надежными для воспроизведения организмов независимо от уровня их организации.

Стабилизирующий отбор в точение миллионов поколений оберегает сложившиеся виды от существенных изменений, от разрушающего действия мутационного процесса, выбраковывая уклонения от приспособительной нормы. Эта форма отбора действует до тех пор, пока не изменяются существенно условия жизни, в которых выработаны данные признаки или свойства вида.

Движущий (направленный) отбор - отбор, способствующий сдвигу среднего значения признака или свойства. Такой отбор способствует закреплению новой нормы взамен старой, пришедшей в несоответствие с изменившимися условиями. Результатом такого отбора является, например, утрата некоторого признака. Так в условиях функциональной непригодности органа или его части естественный отбор способствует их редукции, т.е. уменьшению, исчезновению.

Пример: утрата пальцев у копытных, глаз у пещерных животных, конечностей у змей и т.п. Материал же для действия такого отбора поставляется разного рода мутациями.

Дизруптивный (разрывающий) отбор – форма отбора, благоприятствующая более чем одному фенотипу и действующая против средних, промежуточных форм. Эта форма отбора проявляется в тех случаях, когда ни одна из групп генотипов не получает абсолютного преимущества в борьбе за существование из-за разнообразия условий, одновременно встречающихся на одной территории. В одних условиях отбирается одно качество признака, в других – другое. Дизруптивный отбор направлен против особей со средним, промежуточным характером признаков и ведет к установлению полимор-

физма, т.е. множества форм в пределах одной популяции, которая как бы «разрывается» на части.

Пример: В лесах, где почвы коричневого цвета особи земляной улитки чаще имеют коричневую и розовую окраску раковин, на участках с грубой и желтой травой преобладает желтая окраска и т.п.

9.6.3. Глобальный эволюционизм

Проникновение идеи развития в геологию, биологию, социологию, гуманитарные науки в XIX — первой половине XX в. происходило независимо в каждой из этих отраслей познания. Только к концу XX в. естествознание нашло теоретические и методологические средства для создания единой модели универсальной эволюции, выявления общих законов природы, связывающих в единое целое происхождение Вселенной (космогенез), возникновение Солнечной системы и нашей планеты Земля (геогенез), возникновение жизни (биогенез) и, наконец, возникновение человека и общества (антропосоциогенез). Такой моделью *является концепция глобального эволюционизма.* В этой концепции Вселенная предстает как развивающееся во времени природное целое, а вся история Вселенной от Большого Взрыва до возникновения человечества рассматривается как единый процесс, в котором космический, химический, биологический и социальный типы эволюции преемственно и генетически связаны между собой. Космохимия, геохимия, биохимия отражают здесь фундаментальные переходы в эволюции молекулярных систем и неизбежности их превращения в органическую материю.

В концепции глобального эволюционизма подчеркивается важнейшая закономерность — направленность развития мирового целого на повышение своей структурной организации. Вся история Вселенной — от момента сингулярности до возникновения человека — предстает как единый процесс материальной эволюции, самоорганизации, саморазвития материи.

Важную роль в концепции универсального эволюционизма играет идея отбора: новое возникает как результат отбора наиболее эффективных формообразований, неэффективные же инновации отбраковываются историческим процессом; качественно новый уровень организации материи окончательно само утверждается тогда, когда он оказывается способным впитать в себя предшествующий опыт исторического развития материи. Эта закономерность характерна не только для биологической формы движения, но и для всей эволюции материи. Принцип глобального эволюционизма требует не просто знания временного порядка образования уровней материи, а глубоко-

го понимания внутренней логики развития космического порядка вещей, логики развития Вселенной как целого.

Возникновение концепции глобального эволюционизма во многом связано с расширением границ эволюционного подхода, принятого в биологической и социальных науках. Сам факт исторического появления и эволюции видов движения заставляет усомниться в абсолютной статичности и вечности других видов движения. Загадочность качественных скачков к биологическому и от биологического к социальному миру, наверняка можно постичь только исходя из допущения необходимости подобных переходов между другими видами движения. То есть, исходя из факта наличия эволюции Мира на последних этапах его истории, можно сделать предположение, что Мир в целом является эволюционной системой, то есть и все другие виды движения (помимо биологического и социального) сформировались в результате эволюции. Это высказывание и есть самая общая формулировка парадигмы глобального эволюционизма.

Один из моментов критики глобального эволюционизма связан с абсолютной несхожестью процессов эволюции в биологической и социальной системах и проистечением космологических и геологических процессов. Отмечается их разное направление и результат – одни движутся в сторону усложнения структурной организации, что не скажешь о последних. Наиболее обще на эту критику можно ответить *исходя из понимания временности эволюционного развития* той или иной системы. Геологическая система была авангардом эволюции на вполне определенном этапе эволюции Мира. Именно в этот период происходили эволюционные процессы образования новых для Мира геологических объектов и структур. А дальнейшие процессы распада геологических объектов не имеют ничего общего с процессом эволюции. Тоже можно сказать и о космологических объектах. Образование астрономических элементов структуры Мира происходило на ранних этапах эволюции Вселенной, а современные процессы видоизменения астрономических объектов не носят эволюционного характера. И только в исторически последнем типе движения (авангарде эволюции) глобального эволюционизма реализуется в конкретном эволюционном процессе. (Имея в виду выше приведенные аргументы, можно сделать предположение, что современные научные эксперименты по синтезу живых систем обречены на неудачу. Возникновение первичных признаков биологических систем было возможно лишь на конкретном этапе эволюции Вселенной, при конкретных физических параметрах, которые не реализуемы в данный момент).

Прежде всего, говоря об общих принципах построения общей теории глобального эволюционизма следует исходить из представления, что сама теория, ее сущность, ее структура должны быть адекватны изучаемому, описываемому объекту – Миру, находящемуся в процессе эволюции. Какие выводы можно сделать исходя из этого самого общего взгляда?

Во-первых, общая теория глобального эволюционизма, прежде всего, должна быть сама эволюционной системой. А это значит, что для того, чтобы корректно описывать закономерности эволюционных переходов, она сама должна быть саморазвивающейся системой, продуцирующей категории, понятия и законы непосредственно в процессе своего развития.

Во-вторых, поскольку мы наблюдаем, что все виды движения в процессе эволюции обуславливают возникновение последующих систем, и не сводятся к ним, а продолжают функционирование в качестве равновесных систем, то и частные науки, описывающие эти движения (физика, химия, биология и др.) не должны быть сводимы друг к другу. И, следовательно, научное описание какого-либо вида движения (в частности, физического взаимодействия) не может рассматриваться как частный случай научной системы, описывающей последующий вид (а именное такой подход, направленный на представление тех или иных научных теорий как частных решений некой обобщенной системы практикуется в современной науке).

Общая теория глобального эволюционизма в полном законченном виде должна представлять собой философскую систему в которой прослеживается эволюция Мира, в форме последовательного вывода взаимообуславливаемых категорий (определений). Различные части (этапы) этой логической системы должны однозначно соответствовать различным этапам эволюции Мира (отдельным видам движения).

Общая теория глобального эволюционизма не включает в себя остальные наука в качестве «частных решений», а лишь определяет их логическую взаимосвязь, указывая, что в рамках каждой из этих научных систем, должен присутствовать механизм развития приводящий к внутренним противоречиям данной системы, которые разрешаются лишь при переходе к следующему этапу, к следующей системе.

9.7. Характерные черты эволюционного процесса

Эволюция есть, по-видимому, следствие принципа дополнительности Вселенной или является следствием принципа Ле Шателье (на любое изменение Вселенная откликается возникновением процессов, тормозящих данное изменение): рост энтропии Вселенной вызывает процессы, сдерживаю-

щие этот рост, то есть направленные на рост негэнтропии, а значит, на возникновение и усложнение упорядоченных структур (самоорганизация).

Для усложнения своей структуры природа задействует «взрывной механизм». То есть по мере расширения, являющегося результатом предыдущего взрыва, происходят локальные сжатия (консолидация) элементов (например, свободное расширение в пространстве облака водяного пара приводит к уменьшению его температуры и конденсацию молекул воды в капли), на более высоких стадиях эволюции консолидация принимает форму агрегации (например, рост численности людей на планете сопровождается тенденцией к концентрации людей в крупных городах). Сжатие останавливается внутренними процессами (например, сжатие звезды останавливается внутренним давлением разогретых недр; концентрация людей в городах сопровождается ростом их агрессивности, тормозящей дальнейшую консолидацию), после чего система стабилизируется.

В стабилизировавшейся системе происходит организация внутренней структуры, своего рода поиск энергетически выгодной внутренней организации, которая удовлетворяла бы принципу оптимальности (в недрах звезды идет синтез тяжелых элементов; в городах формируется инфраструктура, принимаются законы, регламентирующие внутренние отношения и снимающие остроту внутренних противоречий). За счет высвободившейся энергии происходит прогрессирующее усложнение форм организации. Когда резервы синтеза новых структур исчерпаны (например, звезда практически исчерпывает все термоядерное топливо) система становится нестабильной и взрывается. Социальные системы эволюционируют, по-видимому, аналогичным образом. На месте социального взрыва остается упорядоченная структура, хранящая в себе «достижения» целесообразности, найденные в предыдущем периоде. Именно по такому алгоритму формировались, муравейники, термитники, пчелиные семьи и т.п. Еще раньше по такому же алгоритму из одноклеточных существ формировались многоклеточные организмы. Сейчас мы являемся свидетелями формирования похожей структуры на базе людей.

Алгоритм поиска новых форм системной организации Тейяр де Шарден назвал «тактикой пробного нащупывания». Согласно Шардену жизнь действует путем создания множества различных вариантов (мутаций), которые, расширяясь во всех возможных направлениях, обязательно найдут наиболее удачную организации живых существ, отвечающих требованиям внешней среды в данный момент времени. В этом сочетаются слепая фантазия больших чисел и определенная целенаправленность. *Это не просто случай, с ко-*

торым его хотели смешать, но направленный случай. Все заполнить, чтобы все испробовать. Все испробовать, чтобы все найти».

Когда какой-то вид сталкивается с определенной проблемой, например с изменением условий существования, то в нем увеличивается количество мутаций, которые «прощупывают» все возможные варианты изменения структуры организма. Неудачные мутации «забраковываются» внешней средой. Среди огромного количества вариантов обязательно найдутся такие, для которых новые условия среды окажутся наиболее оптимальными. Такие решения получают преимущества во внутривидовой конкуренции, быстро заполняя собой имеющиеся экологические ниши. Остальные уходят с арены жизни, обогатив ее опытом ошибок. Они как бы отдает свою жизненную силу тем, кто «угадал» правильный путь. Все работает на благо выживания вида в целом, а не отдельной особи.

Если изобразить этот процесс в виде графа решений, то мы увидим, что из одной исходной точки выходит множество ветвей, большинство из которых оканчиваются достаточно быстро, другие же наоборот усиливаются и расширяются (рис. 9.2). Процесс завершается формированием нескольких устойчивых ветвей (фил), которые в дальнейшем структурно практически не изменяются. Происхождение видов обычно изображают в форме так называемого *филогенетического дерева*, построенного по оси времени (рис. 9.3). Ветви дерева называются *филами*. Точки разветвления фил называются *мутовками*. В мутовках берет начало целый букет новых видов. Некоторые уже вымерли, другие дошли до наших дней, третьи породили новые мутовки и ушли с арены жизни. Особенность мутовки в том, что в одно время рождаются самые непохожие друг на друга организмы. Будущее принадлежит лишь некоторым мутантам, которые появляются практически сразу же в законченном виде, то есть без каких либо промежуточных звеньев.

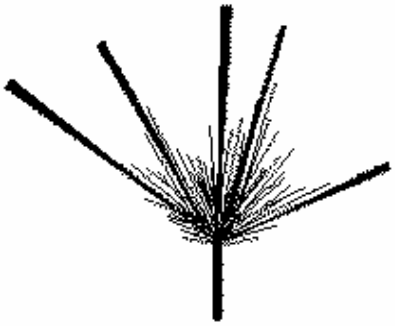

Рис. 9.2. Рождение фил

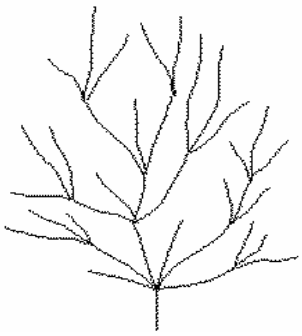

Рис. 9.3. Филогенетическое дерево

9.8. Структура живых существ. Деление клетки

Специфика жизненных процессов тесно связана с чрезвычайно сложными органическими соединениями: *белками и нуклеиновыми кислотами*. Взаимодействие с внешней средой осуществляется за счет обменных процессов. Единство живой материи на всех уровнях ее развития представлено этими двумя классами молекул. Именно они составляют основу жизни. Почти все живые организмы состоят из клеток (кроме вирусов и фагов). Вирусы занимают промежуточное положение между живым и неживым и сочетают в себе свойства и живого и неживого. Вирусы состоят из белковых молекул и нуклеиновых кислот и не имеют собственного обмена веществ.

Клетка состоит из оболочки (мембраны), наполненной протоплазмой, в которой происходят определенные процессы обмена веществ, синтез белка и т.д. и ядра (или нуклеотид) с генетическим аппаратом.

Уникальной особенностью живого является его самовоспроизведение, которое осуществляется на основе матричного принципа синтеза макромолекул. ДНК, хромосомы и гены как главные управляющие системы живых организмов обладают высокой стабильностью к идентичному самовоспроизведению, что обеспечивает передачу наследственных признаков ряду поколений. В изменяющихся условиях среды достаточно стабильное генное управление претерпевает некоторые структурные изменения. Эти изменения, мутации в выжившем и изменившемся в соответствии с условиями среды организме передаются по наследству по матричному признаку. Это приводит к разнообразию живой материи.

Вся наследственная информация у живых организмов заложена в молекулах ДНК (дезоксирибонуклеиновые кислоты), т.е. ДНК выполняет функции хранения информации и передачи потомкам. Реализация этой информации связана с участием молекул РНК (рибонуклеиновые кислоты) - РНК участвует в биосинтезе белков (трансляции и транскрипции). ДНК и РНК были выделены из ядер клеток и поэтому получили название нуклеиновых, то есть ядерных кислот. Наследственная информация передается с помощью *генов*, участков молекул ДНК.

Роль нуклеиновых кислот в хранении и передаче наследственности, а также участие их в синтезе белка и обмене веществ были окончательно выяснены лишь в середине 20-го века. Ф 1953 г. Американскими учеными Д. Уотстоном и Ф. Криком была предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о структуре молекулы ДНК как материального носителя генетической информации.

Строение и поведение организма в значительной мере определяется его генотипом, основу которого составляет набор *хромосом*. Каждая хромосома представляет собой свернутую молекулу *ДНК*, в структуре которой в зашифрованном виде хранится информация о структурах белков. Молекула белка представляет собой цепь из последовательно расположенных *аминокислот*, а молекула ДНК сложена из последовательно расположенных четырех видов *нуклеотидов*. Три нуклеотида (*триплет*) соответствуют определенной аминокислоте в составе белка. Последовательность таких триплетов на определенном фрагменте молекулы ДНК (данный фрагмент называется *геном*) кодирует последовательность соответствующих аминокислот в молекуле белка. Код этот в настоящее время расшифрован. Триплет позволяет реализовать 4^3 = 64 различных сочетаний нуклеотидов (всего используется 4 различных нуклеотида). Всего таким образом можно закодировать присутствие в молекуле белка до 64 различных видов аминокислот (задействовано всего 20).

Как рождалась таблица генного кода, нам неизвестно. Несомненно лишь то, что в принципах кодировки присутствует доля свободы выбора. Код ДНК также призван обеспечить совместимость (родство) биосистем.

Ген – это участок молекулы ДНК, хранящий и передающий наследственную информацию. Ген — материальный носитель наследственной информации, совокупность которых родители передают потомкам во время размножения. **Геном** – это совокупность всех генов организма.

Когда журналисты пишут о том, что недавно расшифрован *генетический код человека* – это грубая терминологическая ошибка. Генетический код человека расшифрован тогда же, когда и всех остальных живых существ – в 60-х годах XX века. Недавно расшифрован геном человека, то есть полная последовательность нуклеотидов всех молекул ДНК.

С химической точки зрения, ДНК — это длинная полимерная молекула, состоящая из повторяющихся блоков, *нуклеотидов*. В подавляющем большинстве случаев (кроме некоторых вирусов) макромолекула ДНК состоит из двух цепей. Эта двухцепочечная молекула спирализована. В целом структура молекулы ДНК получила название «двойной спирали». В ДНК встречается *четыре вида азотистых оснований* (аденин-А, гуанин-Г, тимин-Т и цитозин-Ц).

Чтобы лучше представить ДНК, можно вообразить длинную лестницу. Вертикальные стойки этой лестницы состоят из молекул сахара, кислорода и фосфора. Важную функциональную информацию в молекуле несут ступеньки лестницы. Они состоят из двух молекул, каждая из которых крепится к одной из вертикальных стоек. Эти молекулы — четыре азотистых основания

— представляют собой одиночные или двойные кольца, содержащие атомы углерода, азота и кислорода и способные образовывать две или три водородные связи с другими основаниями. Форма этих молекул позволяет им образовывать связи — законченные ступеньки — лишь определенного типа: между А и Т и между Г и Ц. Другие связи возникнуть не могут. Следовательно, каждая ступенька представлена либо А—Т либо Г—Ц. Теперь вообразите, что вы берете собранную таким образом лестницу за два конца и скручиваете — вы получите знакомую двойную спираль ДНК. Диаметр двойной спирали ДНК- 20 ангстрем (см. рис. 9.4).

Считывая ступеньки по одной цепи молекулы ДНК, вы получите последовательность оснований. Представьте, что это сообщение, написанное с помощью алфавита всего из четырех букв. Именно это сообщение определяет химические превращения, происходящие в клетке, и, следовательно, характеристики живого организма, частью которого является эта клетка. На другой цепи спирали никакой новой информации не содержится, ведь если вам известно основание, которое находится на одной цепи, вы знаете и то, какой должна быть вторая половина ступеньки. В некотором смысле две цепи двойной спирали относятся друг другу так же, как фотография и негатив.

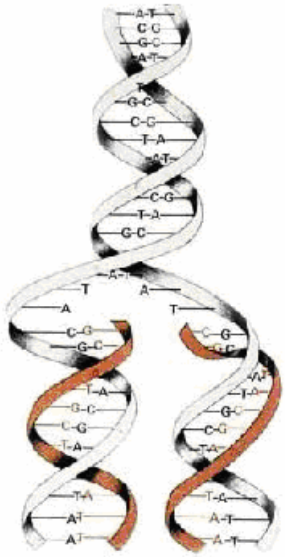

Рис. 9.4. Двойная спираль ДНК

Когда клетка приступает к делению ферменты начинают «расстегивать» лестницу ДНК, как застежку-«молнию», обнажая индивидуальные основания. Другие ферменты присоединяют соответствующие основания, находящиеся в окружающей жидкой среде, к парным «обнажившимся» основаниям — А к Т, Г к Ц и т. д. В результате на каждой из двух разошедшихся цепей

ДНК достраивается соответствующая ей цепь из компонентов окружающей среды, и исходная молекула дает начало двум двойным спиралям.

Таким образом, молекула ДНК, состоящая из двух спиралей, удваивается при делении клетки. Удвоение ДНК основано на том, что при расплетении нитей к каждой нити можно достроить комплементарную копию, таким образом получая две нити молекулы ДНК, копирующие исходную.

ДНК – единственное вещество, способное к самовоспроизведению своей структуры. ДНК, хранящаяся и работающая в клеточном ядре, копирует не только саму себя. В нужный момент определенные участки ДНК (гены) воспроизводят свои копии в виде химически подобного полимера – рибонуклеиновой кислоты (РНК), которые в свою очередь служат матрицами для производства всех необходимых организму белков. Именно белки, по мнению большинства ученых, определяют все признаки живых организмов. Также в начале 80-х установили способность РНК к саморепродукции в отсутствии белковых ферментов. ДНК – РНК – белок: вот центральная догма всей молекулярной биологии.

Процесс репликации происходит с большой точностью, но не абсолютной. Иногда бывают ошибки, то есть вставляет не тот нуклеотид, который был в матричной молекуле ДНК, примерно с частотой 10^{-6}. Уровень ошибок при репликации ДНК у человека оценивается как 10^{-7} – 10^{-8} . Точность репликации может быть разной на разных участках ДНК, есть участки с повышенной частотой мутаций и есть участки более консервативные, где мутации происходят редко. И в этом следует различать два разных процесса: *процесс появления мутации ДНК* и *процесс фиксации мутации*. Ведь если мутации ведут к летальному исходу, они не проявятся в следующих поколениях, а если ошибка не смертельна, она закрепится в следующих поколениях, и мы сможем ее проявление наблюдать и изучить.

Хромосомы человека в общей сложности содержат приблизительно 3 миллиарда пар оснований нуклеотидов ДНК, в которых по оценкам содержится 20000-25000 генов. В ходе исследований выяснилось, что человеческий геном содержит значительно меньшее число генов, нежели ожидалось. Интересно, что число генов человека не намного превосходит число генов у более простых модельных организмов, например, дрозофилы. Только для 1,5% всего материала удалось выяснить функцию, остальная часть составляет так называемую мусорную ДНК.

В процессе жизнедеятельности разные клетки оказываются в разных условиях внутренней среды организма. Поэтому у разных клеток активизиру-

ются различные фрагменты ДНК, что вызывает различную функциональную специализацию клеток, формируются различные органы, ткани и т.п. То есть строение и поведение любой биосистемы (например, клетки) определяется как ее наследственностью, так и составом среды, в которой она развивается. Генетическая программа представляет собой именно программу, которая не жестко направляет процесс эволюции, а регламентирует, что делать при возникновении тех или иных условий. В генетической программе биосистемы содержится достаточно исчерпывающий набор реакций на самые различные требования среды. В то же время иногда возникают ситуации, не предусмотренные программой. Тогда запускается механизм оптимизационного поиска верного решения. Если решение найдено, то механизмы отбора обязательно закрепят его в форме соответствующего фрагмента ДНК. Таким образом, генетическая программа постоянно развивается и совершенствуется.

Возможно, одним из механизмов клеточных мутаций является искажение генетической программы клетки совершенно чуждой информацией, поставляемой вирусами. Вирус представляет собой молекулу ДНК, окруженную белковой оболочкой. Попадая в клетку, ДНК вируса включается в ее работу, заставляя клетку синтезировать ДНК и белки вируса. Иногда вирус не подавляет клетку хозяина бурным размножением, а мирно существует в ней, то есть возникает *симбиоз*, который не только сглаживает конфликт между хозяином и паразитом, но и еще более укрепляет исходное единство, делая его более богатым и жизнеспособным. Симбиоз энергетически более выгоден, чем система «хозяин-паразит», поэтому такие системы очень часто эволюционируют к состоянию симбиоза.

Разные организмы, а тем более разные виды организмов содержат разные наборы ДНК. Каждый такой набор определяет специфику той функции, которую данный вид организмов будет выполнять в составе биосферы, участвуя тем самым в поддержании ее устойчивости. Тем не менее, в основе каждого генотипа любого вида живых организмов лежит нечто общее, что можно с полным правом назвать генетической программой жизни в целом, которая определяет набор возможных реакций на самые различные внешние воздействия, порождая в ответ на эти воздействия новые конкретные генотипы, соответствующие новым видам живых существ.

9.9. Генетика, генная инженерия, клонирование

Начало XX века ознаменовалось бурным ростом и серией фундаментальных открытий в области генетики. В это время были переоткрыты законы Менделя, обоснованы представления о носителях наследственной инфор-

мации – гене и хромосоме, законы доминирования, разработан гибридологический анализ. В середине XX века произошел революционный переход от белковой к нуклеиновой трактовке наследственности. Впервые перенос генов от одного организма к другому осуществили в 1944 году трое британских ученых: О. Эвери, К. Мак-Леод и М. Мак-Карти. Они взяли заразный штамм пневмококка, выделили из него ДНК, очистили ее и смешали с живыми клетками незаразного штамма другого типа. Потомство этих клеток получило признаки заразного пневмококка. Ученые научились расшифровывать не только структуру ДНК в целом (это сделали в 1953 году англичане Френсис Крик и Джеймс Уотсон), но и непосредственно последовательность нуклеотидов. В 2001 г. расшифрован геном человека.

В 1950-х годах выяснилось, что кроме клеточных генов в природе существуют и независимые гены – вирусы. Вирус – это упакованный в белковую оболочку генетический материал, природное биологическое оружие. Оболочка – лишь приспособление, упаковка, защита и механизм впрыскивания генов в клетку-хозяина. Там вирусные гены начинают воспроизводить на себе свои РНК и белки, постепенно переполняющие клетку. Она лопаясь, гибнет, а тысячи копий вируса освобождаются, заражая новые клетки. Болезнь и даже смерть обычно вызывают чужеродные вирусные белки. В других случаях человек не умирает, но может болеть всю жизнь. Например, вирус герпеса присутствует в организме 90% людей, он обычно заражает человека в детстве и живет в нем постоянно.

Ген – участок ДНК, передающий (отвечающий) за определенный признак растения или животного. Если убрать ген, отвечающий за определенный признак, то исчезнет и сам признак. И наоборот, если добавить, например, растению новый ген, то у растения появится и новый признак. Измененное растение может теперь называться мутантом. Вживая ген, одолженный у одного растения (или животного) другому, биотехнологи добиваются появления новых видов с определенными свойствами, в то время как обычными методами селекции этого можно добиться за достаточно длительный срок.

В 1944 году был создан первый прецедент получения трансгенного организма на уровне бактерий, несущего один или несколько генов другого организма. Затем научились делать подобные операции с животными. Вот один первых из опытов: раковая опухоль – это мутация гена, а значит ее можно перенести в другой организм. Выделили ДНК опухоли человека, обработали ею живые клетки здоровой мыши, и через некоторое время у мыши появлялась человеческая опухоль.

Генные инженеры пошли дальше, для получения интерферона, обладающего противораковой и противовирусной активностью, ген человеческого интерферона был введен в бактерию, которая размножаясь в больших количествах вырабатывала человеческий интерферон. Сейчас эта техника применяется во всем мире. Так же производится и инсулин. Позднее с помощью генной инженерии были выведены коровы, дающие молоко с необходимыми человеческими белками, пригодное для искусственного вскармливания младенцев.

Человечество научилось направленно, избирательно воздействовать на генетический аппарат различных организмов. Возникли методы, с помощью которых можно резать ДНК в нужных местах и «клеить» с любым другим кусочком ДНК, причем не только с готовыми генами, но и с искусственно созданных генов. Это направление получило название генной инженерии. На ее основе родились два больших практических направления. Одно – биотехнология. Второе связано с непосредственным вмешательством в самого человека.

Под биотехнологией понимают манипулирование блоками генетической информации с целью создания организмов, которые не могут появиться в природе естественным путем. Применение таких организмов уже необычайно широко.

В растениеводстве путем генетического модифицирования можно добиться устойчивости культурных растений к гербицидам, вредителям и болезням, увеличить сроки хранения. Способны генные инженеры и на улучшение пищевых и вкусовых качеств: большая часть работ в области генной инженерии растений направлена на улучшение баланса питательных веществ в кормах для животных и в пище, в целях исключения из рационов дорогостоящих добавок. Ведутся исследования по увеличению содержания сахара или крахмала в картофеле, кукурузе, горошке, томатах. Удалось увеличить содержание крахмала в некоторых сортах картофеля до 40%. Контролируемое превращение крахмала в сахар в кукурузе и горошке способствует сохранению их сладости в течение длительного периода после уборки. Получен первый генетически измененный томат с более длительным сроком хранения и вкусом созревшего винограда, а так же сорт моркови, который содержит 300 мг каротина в 1 кг, вместо обычных 70–90 мг. Чтобы ликвидировать дефицит витамина А, наблюдающийся в развивающихся странах, исследователи пытаются ввести механизм образования этого витамина в зернах риса. Появляется и модифицированные масличные культуры рапс, соя, лен для про-

изводства разных масел: с повышенным уровнем лауриновой и миристиновой кислот (для производства шампуней и мыла); затвердевающих при комнатной температуре (для производства маргарина); пищевого с пониженным содержанием насыщенных жирных кислот; заменителя кокосового масла при производстве шоколада, жидкого воска для смазочных масел и косметических средств. Из сои уже получают качественные чернила. Ведутся разработки новых генетически модифицированных растений для производства бумаги, природной резины, этанола. Проводятся опыты по получению дизельного топлива из животных и растительных жиров. Используя новые технологии, можно производить из крахмала разлагающуюся на воздухе биопластиковую упаковку, абсорбенты.

Генетический материал микроорганизмов часто изменяют для того, чтобы получить в большом количестве специальные белки, в частности, для животноводства. Один из них – гормон роста (бычий соматотропин – БСТ). Использование БСТ в молочном скотоводстве повышает продуктивность коров на 5–20%. Основная проблема, которая теперь волнует население – это влияние БСТ на здоровье людей. Разработан и свиной соматотропин (ССТ) для использования при откорме свиней. ССТ увеличивает привесы на 10–16%, при снижении кормовых затрат. Уменьшается и толщина сала в туше животных. Большое достижение – метод трансплантации эмбрионов крупного рогатого скота: эмбрион высокопродуктивной коровы пересаживают к другой и получают теленка с признаками первой матери и племенного быка-отца. Разработан и метод определения и управления полом на клеточной стадии, что позволяет получать выдающихся животных.

Ученые интенсивно работают над выявлением маркеров генов, которые контролируют важные функции у животных. Такое картирование генов помогает идентифицировать гены, отвечающие за рост, величину удоя, качество молока, соотношение жира и постного мяса, нежность мяса, устойчивость к болезням, к холоду, жаре. Введение генов с полезными признаками позволяет получать трансгенных животных с новыми наследственными признаками. Так, козам введен ген, стимулирующий образование в их молоке фермента тромбокиназы. Фермент способствует рассасыванию тромбов в кровеносной системе человека, что позволит решить проблему профилактики тромбофлебита. Генетически измененные козы могут вырабатывать эти белки на порядок быстрее и дешевле, чем культуры человеческих клеток.

Возможно применение биотехнологий и в технике: например, для создания макромолекулярных биосенсоров. Активно разрабатывается идея о кон-

струировании биологически возобновляемых источников энергии. С помощью биотехнологий возможно даже восстановление загрязненных бездумной деятельностью людей территорий.

Обобщая выше сказанное, можно выделить следующие направления современной биотехнологии:

1. В сельском хозяйстве увеличение производства продуктов питания за счет увеличения продуктивности, увеличения устойчивости к вредителям и увеличением сроков хранения.

2. Возможность влияния на качество продукции за счет возможности манипулировать составом (изменение соотношения между жирами, белками, сбалансированный аминокислотный состав и т.д.).

3. Разработка и удешевление новых высокоэффективных вакцин и лекарств (например, разработка и получение интеферона, инсулина, гормон роста).

4. Создание генно-инженерных (трансгенных) животных имеет те же преимущества и проблемы, что и создание трансгенных растений. В мире уже существуют сотни трансгенных овец и коз, которые способствуют получению как лекарств так и различные необходимые ферменты.

5. За счет генномодифицированных микроорганизмов открывается путь к промышленному микробиологическому синтезу новых материалов или к решению проблемы утилизации отходов.

Но к сожалению последствия использования геноомодифицированных продуктов до конца не исследованы. Есть сведения, что у людей, употребляющих такие продукты, увеличивается количество непонятных болезней, обостряется аллергия, растет число клиентов в онкодиспансерах, возникают проблемы с продолжением рода. Российский ученый доктор биологических наук Ирина Ермакова делала опыты: одну группу крыс кормили только продуктами с ГМ-соей, другой давали обычные продукты. В итоге у первых развились тяжелые патологии почек и печени и со второго поколения они утратили способность размножаться.

Большая проблема уже в настоящее время - это загрязнение трансгенным материалом. Оно происходит не только при переносе пыльцы ветром, но также посредством насекомых-опылителей, через загрязненные сельскохозяйственные машины, при ошибочном использовании семенного материала, при транспортировке и не в последнюю очередь благодаря “продовольственной помощи” США странам третьего мира. К тому же трансгенные конструкции и переносимые ими свойства распространяются в родственных дико-

растущих растениях. Например, генетически измененный материал из устойчивого к воздействию гербицидов рапса был найден в горчице полевой, которая является сорняком. Посредством такого скрещивания возникают “суперсорняки”. Когда сеют вместе ГМ-растения и обычные сорта, искусственные вытесняют из природы естественные. В Китае ГМ-рис стал вытеснять естественные сорта. А в Европе, где выращивают ГМ-сою и ГМ-свеклу, начали появляться “суперсорняки”. Трансгенная пыльца попадала на дикие виды близкородственных растений, передавая им “гены устойчивости” к гербицидам.

Основные проблемы, связанные с генной инженерией, можно сформулировать в следующем виде:

1. В настоящее время генная инженерия несовершенна, поэтому невозможно точно предвидеть место встраивания и эффекты добавленного гена и предсказать результат. Имеющиеся сведения о ДНК очень неполны, чтобы предсказать результаты. Известно о функциях лишь 3% ДНК.

2. Не существует совершенно надежных методов проверки на безвредность полученных продуктов и лекарств.

3. Знания о действии на окружающую среду генетически модифицированных продуктов и растений совершенно недостаточно.

4. Появление супервредителей – это уже факт.

5. Нарушение природного баланса и выход трансгенов из-под контроля. Уже доказано, что многие ГМ-растения (ГМ-табак, технический рис, применяемый для производства пластика и лекарств, смертельно опасны для живущих рядом грызунов).

Медицинские риски:

1. Опасность появления новых и опасных вирусов за счет взаимодействия встроенных генов вирусов с генами инфекционных вирусов.

2. Повышенная аллергеноопасность (например, при попытке повысить содержание белка в ГМ-сое, в нее был перенесен вместе с нужным геном аллерген). Возможная токсичность и опасность для здоровья.

3. Возрастает устойчивость к действиям антибиотиков.

В 1992 г. в США впервые была произведена геннотерапевтическая операция на человеке. Девушке (страдала инфарктами из-за отсутствия особого белка в печени) отрезали часть печени, с помощью специальных приемов ввели в клетки печени нормальный ген, и клетки вживили обратно в печень. Вырос кусочек печени, который вырабатывал нужный белок, и больная выздоровела. Это первый успешный пример излечения человека с помощью че-

ловеческого же гена. В ближайшие годы многие сердечно - сосудистые, раковые и наследственные заболевания будут лечиться похожими способами.

Основные проблемы генной инженерии, разработкой которых занято сейчас научное сообщество таковы:

- доставка генов к клеткам-мишеням организма;

- блокировка или разрушение вредного гена, либо продуцируемой им РНК. Это направление – стратегическая линия в борьбе с раковыми и вирусными заболеваниями, наряду с введением генов, блокирующих деление или вызывающих смерть клеток (средство кардинальной раковой терапии).

- введение регулятора активности генов или нового активного гена взамен поврежденного. От успехов этого направления целиком зависит лечение наследственных болезней и в большой степени инфекционных болезней.

- клонирование органов и тканей - задача номер один в области трансплантации, травматологии и в других областях медицины и биологии.

Ученые, занятые в глобальном проекте «Геном человека», полагают, что недалек час, когда станет технически возможной ДНК-паспортизация человека. И на этом пути сразу возникают серьезные социально-правовые, законодательные вопросы: право собственности индивида на информацию о его генетическом коде нарушение конфиденциальности при обнаружение патологического гена и с целью предотвращения возможного вреда обществу, возможное генетическое тестирование при приеме на работу и т.д.

В 1997г. шотландскому генетику Яну Вильмуту и его коллегам впервые удалось клонировать высшее животное – овцу. Если техника клонирования животных будет детально разработана, специалисты научатся размножать таким способом сельскохозяйственных животных.

Возможно, недалек час, когда клонированием удастся решить проблемы сохранения редких и исчезающих видов животных. Очевидно, можно будет восстанавливать даже вымершие виды: ведь в ископаемых останках сохранилась их ДНК. То, что еще 10 лет назад казалось фантазией Майкла Крайтона и Стивена Спилберга, создавших в книге и на киноэкране «Парк юрского периода», может стать обыденной реальностью. Однако, первый кандидат в этом списке не динозавры, а исчезнувший спутник человека – мамонт. На I Международном мамонтовом совещании в Санкт-Петербурге (1995) прозвучала серия докладов отечественных и зарубежных генетиков и цитологов о перспективах восстановления мамонта, как вида путем молекулярно-генетических исследований и манипуляций с мамонтовой ДНК. Вслед за мамонтом могут вернуться на нашу планету стеллерова корова, дронт, странст-

вующий голубь, тасманийский волк, тарпан – все биологические виды, варварски уничтоженные человеком в историческом прошлом.

Успехи в клонировании животных не оставляют сомнений в том, преодоление технических трудностей, связанных с клонированием человека, лишь дело времени. В первую очередь это даст возможность бездетным людям или страдающим тяжелыми генетическими болезнями иметь своих собственных детей. Перспектива клонирования выдающихся людей - также крайне захватывающая возможность.

Клонирование человека вызывает множество вопросов этико-правового характера и скорее философского характера. Имеет ли человек право на создание того, что создано природой за миллионы лет, имеет ли право изменять то, что создано природой, имеет ли право исправлять ее ошибки, и если да, то где та грань, которую нельзя преступить? Каковы будут последствия, особенно при первых экспериментах, учитывая ограниченность наших познаний в этом направлении? Мнения ученых по этому поводу разделились. Реакция церкви на эти открытия была однозначно отрицательной. В настоящее время законодательно практически во всех развитых странах запрещены работы по клонированию человека, но это, надо полагать, не остановит работы в этом направлении.

9.10. Движение вещества и энергии в природе. Энергетическая функция жизни

Вещество, необходимое для жизни, может использоваться многократно. Эти процессы называются *круговоротами веществ* или *биогеохимическими циклами*. Часть вещества уходит из круговорота в *захоронения* в виде угля, торфа, нефти, осадочных пород и т.п. Примерно столько же поступает в биосферу из недр планеты в процессе вулканической деятельности.

Жизнь на Земле всегда существовала в форме сложно организованных комплексов разнообразных организмов (биоценозов). Вместе с тем живые организмы и среда их обитания образуют целостные системы - биогеоценозы. Питание, дыхание и размножение организмов и связанные с ними процессы создания, накопления и распада органического вещества обеспечивают постоянный круговорот вещества и энергии. С этим круговоротом связана миграция атомов химических элементов через живое вещество. Так, весь атмосферный кислород оборачивается через живое вещество за 2000 лет, углекислый газ за 300 лет. Большим разнообразием органических и вообще химических соединений характеризуется состав самих организмов. Благодаря

живому веществу на планете образовались почвы и органическое минеральное топливо (торф, уголь, возможно – нефть).

Энергия для круговоротов веществ поставляется от Солнца. Механизмы круговоротов основаны главным образом на биологических процессах. По сути дела, жизнь аккумулирует энергию Солнца в круговоротах вещества подобно тому, как турбулентный поток аккумулирует энергию в вихревых движениях газа или жидкости. Энергетическая функция (аккумулирование энергии) является важнейшей функцией жизни на планете.

Для жизни важно не столько количество энергии, сколько ее качество, антиэнтропийность, информационное содержание. Энергия потребляется от Солнца растениями в процессе фотосинтеза в достаточно рассеянном (некачественном) виде. *Главная особенность жизни в способности концентрировать энергию*, передавая ее вдоль пищевой (трофической) цепи.

Трофическая цепь иерархична, то есть состоит из последовательности уровней, называемых *трофическими*. Организмы, стоящие на каждом трофическом уровне приспособлены природой для потребления определенного вида пищи, в качестве которой выступают организмы предыдущих трофических уровней. В начале пищевой цепи стоят *автотрофы* (самопитающиеся), или *продуценты* (создающие первичную продукцию), как правило, это растения. Ниже идут *гетеротрофы* (питающиеся другими), или *консументы* (потребители). Травоядные животные – консументы 1-го порядка поедают растения – продуценты, первичные хищники – консументы 2-го порядка поедают травоядных, вторичные хищники – консументы 3-го порядка поедают хищников – консументов 2-го порядка и консументов 1-го порядка. Таким образом, создаются пищевые цепи из продуцентов и консументов. И продуценты и консументы на разных этапах своего жизненного цикла смыкаются с *редуцентами*, или *деструкторами* (т.е. разрушителями): микроорганизмами, бактериями, грибами. Редуценты разлагают выделения животных, микроорганизмов, мертвые организмы и минерализуют их до воды, CO_2 и минеральных удобрений. Таким образом, в сообществе живых организмов от звена к звену циркулируют питательные вещества и энергия (см. рис. 9.5).

С каждого трофического уровня на следующий передается только около 10% энергии, потребляемой на данном уровне. Поэтому количество живого вещества на каждом последующем уровне меньше, чем на предыдущем. Вместе с тем каждый следующий уровень трофической цепи аккумулирует в себе более качественную энергию, что позволяет ему играть регулирующую функцию по отношению к нижним уровням. Здесь *качество (информатив-*

ность) энергии, как меры ее концентрации, становится синонимом осмысленности, а понятие информации приобретает общепринятый смысл.

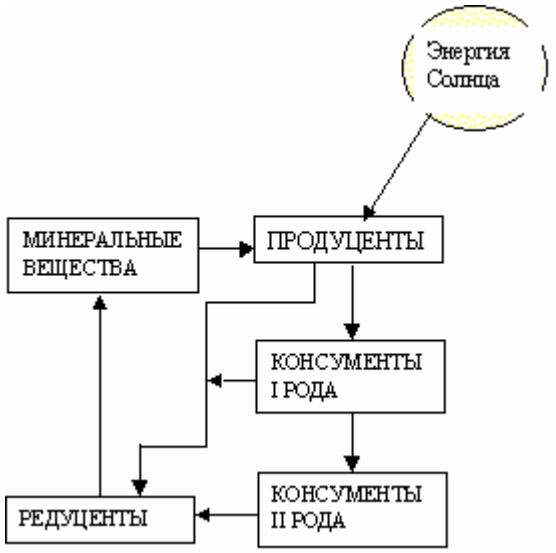

Рис. 9.5. Трофическая цепочка

Вывод энтропии (неупорядоченности) из организма есть непременное условие его существования. Для этого обычно используется энергия химических реакций. Нужно взять из окружающей среды необходимые компоненты (пища) и создать условия для протекания реакции, продуктами которой должны стать вещества с большей энтропией, чем исходные компоненты. Обычно в этих реакциях разрушаются структуры более сложных молекул, например, белков, жиров или углеводов. Затем продукты распада удаляются из организма. Часть свободной энергии используется на организацию ряда эндотермических реакций, то есть связывается в сложных молекулярных структурах. В первую очередь это реакции синтеза необходимых белков, нуклеиновых кислот и т.п. Эта доля свободной энергии идет на строительство и «ремонт» организма, то есть на упорядочение внутренней структуры.

Ввиду наличия в своей структуре сложномолекулярных соединений, данный организм может служить пищей для другого организма. При этом его структура подвергается механическому и химическому разрушению, а высвободившаяся свободная энергия используется для упорядочения собственной структуры другого организма. Таким образом формируется трофическая цепь, в которой происходит перенос энергии через ряд организмов путем поедания одних организмов другими.

В настоящее время наиболее мощные управляющие функции в биосфере несет на себе человек. Следуя по логике рассуждений, мы должны стоять в пищевой цепи после всех хищников. Однако мы вовсе не питаемся хищника-

ми. Анатомическое строение человека (строение зубов, пищеварительной системы и т.п.) свидетельствует, что человек вообще не является хищником. Скорее всего, мы должны питаться плодами и семенами растений. Главная *особенность энергетики современного человека* в том, что она в большей части вынесена за пределы человеческого тела. Так мясо мы едим только после предварительной термической обработки. По сути дела, кухня является продолжением нашего желудка, существенно облегчая его работу.

Но еще более сильно наша энергетика вынесена в сферу производственной деятельности. *Мы продолжаем тенденцию к концентрации энергии, которая прослеживается в пищевых цепях, но для этого мы используем не свое тело, а плоды своих рук*. Например, мы концентрируем массивы угля в одном месте, где непрерывно его сжигаем, концентрируя высвободившуюся тепловую энергию, преобразуя ее в электроэнергию, за счет которой мы упорядочиваем минеральное царство, придавая ему форму жилых домов, машин, произведений искусства и т.п.

Именно в сфере энергетики наиболее ярко проявляется роль человека на планете. Долгое время жизнь на Земле развивалась, по-видимому, за счет внутреннего тепла планеты. Затем земная жизнь «изобрела» хлорофилл и переключилась на энергетику Солнца. Вполне возможно, что в лице человека Жизнь ищет новый, более мощный источник энергии. Неслучайно поэтому поиск новых источников энергии является одним из основных направлений развития цивилизации. Концентрируясь в человеческой цивилизации, энергия дает человеку силу для управления природой. Именно здесь, по-видимому, лежат основные механизмы перехода биосферы в состояние ноосферы, когда человек перестанет противопоставлять себя природе и из «покорителя» превратится в главное звено управления природными процессами на планете.

ГЛАВА 10. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА. АНТРОПОСОЦИОГЕНЕЗ

За прошедшие годы было получено огромное множество подтверждений идеи Дарвина о происхождении человека путем постепенной эволюции от общего предка с современными обезьянами. В последнее время наибольший вклад в развитие представлений об антропогенезе внесли следующие направления:

1) палеоантропология;

2) генетика;

3) эволюционная психология (включая этологию человека и других животных, экспериментальную психологию и т.д.).

Интересно, что сам Дарвин вообще не имел в своем распоряжении первых двух пунктов этого списка, а что касается третьего, то он фактически сам и начал закладывать его основы. Дарвин полагался на сравнительную анатомию и эмбриологию – и этого ему вполне хватило, чтобы убедительно обосновать свою теорию происхождения человека.

10.1. Достижения палеоантропологии

В 20 веке было сделано множество находок, на основе которых сложилась сначала довольно стройная картина линейной эволюции гоминин: от австралопитеков произошел человек умелый, от него – архантропы, от них – палеоантропы (неандертальцы), а от них – современные люди.

Однако в последние 15 лет произошел настоящий «прорыв» в палеоантропологии. Был открыт целый ряд новых ветвей эволюционного древа гоминин, которое оказалось гораздо более разветвленным, чем считалось ранее. За последние 15 лет число описанных видов гоминин увеличилось вдвое. Новые данные во многих случаях заставили отказаться от прежних взглядов.

Во-первых, стало ясно, что эволюция гоминин вовсе не была линейной, она была скорее кустообразной. Во многих случаях одновременно существовало по три, четыре вида гоминин и может быть даже больше, в том числе на одной и той же территории. Например, еще 40-50 тысяч лет назад на земле одновременно существовало, по-видимому, целых четыре вида людей: современный человек, неандерталец, реликтовые эректусы в Восточной Азии и карликовые люди с острова Флорес. Есть основания полагать, что сокращение разнообразия гоминин было связано с конкурентным вытеснением архаичных видов более продвинутыми, и в первую очередь современным человеком.

Во-вторых, в целом на сегодняшний день стало ясно, что двуногость была свойственна гомининам изначально, то есть практически сразу после разделения линий человека и шимпанзе представители «нашей» линии уже ходили на двух ногах. И эта адаптация не была напрямую связана с жизнью на совершенно открытых пространствах. Существует целый ряд теорий, объясняющих происхождение двуногости. Двуногое хождение, возможно, следует выводить не из манеры шимпанзе или горилл ходить, опираясь на костяшки пальцев, а из тех способов передвижения, которые сложились у наших предков еще на стадии жизни на деревьях.

Этапы становления человека. Линия человека отделилась от общего с обезьянами ствола не ранее 10 и не позднее 6 млн. лет назад. Первые представители рода Homo появились около 2 млн. лет, а современный человек - не позднее 50 тыс. лет назад. Древнейшие следы трудовой деятельности датируются 2,5 - 2,8 млн. лет. Многие популяции человека разумного не сменяли друг друга, а жили одновременно, ведя борьбу за существование и уничтожая более слабых.

В эволюции человека (Homo) различают три этапа (некоторые ученые выделяют в отдельный вид еще и вид Homo habilis – человек умелый):

1. *Древнейшие* люди: питекантроп, синантроп и гейдельбергский человек (вид – человек прямоходящий – *Homo erectus*), *2 млн. - 500 тыс. лет назад*.

2. *Древние* люди – неандертальцы (первые представители вида человек разумный – *Homo sapiens), 200 - 35 тыс. лет назад*. Неандертальцы жили в ледниковую эпоху в пещерах, где постоянно поддерживали огонь, одевались в шкуры. Часть ученых считают неандертальцев тупиковой ветвью эволюции, не участвовавшей в формировании современного человека. Последние неандертальцы жили среди первых людей, а затем были ими окончательно вытеснены.

3. *Современные* (новые) люди, включающие ископаемых кроманьонцев и современных людей (вид человек разумный – *Homo sapiens*). Возникновение их произошло относительно недавно, около *50 тыс. лет назад*. Их останки найдены в Европе, Азии, Африке и Австралии.

Рассмотрим *антропогенез - процесс исторического развития человека*, того биологического вида, к которому принадлежим мы все подробнее.

Современные человекообразные обезьяны – не предки человека, они происходят как и человек от вымерших предков – наземных человекообразных обезьян, которых ученые назвали *дриопитеками* (по-латыни – «древесная обезьяна»), т.к. он обитали на деревьях. Дриопитеки появились 17-18

млн. лет назад в Африке. Здесь же появились примерно 4,2 млн лет назад первые представители рода **Australopithecus (австралопитеки).** *В целом данные палеоантропологии показывают, что в период примерно от 6 до 1 млн назад*, то есть в течение пяти миллионов лет в Африке жила и процветала довольно большая и разнообразная группа двуногих человекообразных обезьян, которые своей манерой передвижения на двух ногах сильно отличались от всех других обезьян. Однако по размеру мозга эти двуногие обезьяны не отличались от современного шимпанзе. И нет оснований предполагать, что они превосходили шимпанзе по своим интеллектуальным способностям.

Примерно 2,4 миллиона лет назад в одной из линий этой группы двуногих обезьян наметились новые эволюционные тенденции:

- увеличение мозга: первый представитель гоминин, у которого объем мозга превысил типичные для шимпанзе и австралопитеков 400-450 куб см., - это **Homo habilis (человек умелый).** Размер головного мозга у хабилисов составлял в среднем 650 см^3.

- изготовление простейших каменных орудий. Современные обезьяны не способны изготовить такие орудия, даже самые талантливые из них добились лишь очень скромных успехов в этом, хотя экспериментаторы пытались их научить.

- эти гоминины начали включать в свой рацион мясо крупных мертвых животных, а свои каменные орудия они, возможно, использовали для разделки туш или соскребания мяса с костей. Причем хабилисы скорее всего были падальщиками.

Второй период роста мозга (и размеров тела) совпадает с увеличением доли мясной пищи в рационе. Почему возросла доля мясной пищи? Возможно, гоминины научился охотиться на крупную и среднюю дичь. Этому периоду соответствует следующая стадия эволюции гоминид – **Homo erectus (человек выпрямленный)**, (1,75 млн. л.н. – 50 000 л.н.), иногда фигурирующий в популярной литературе под старыми синонимами «питекантроп», «синантроп», «гейдельбергский человек». Homo erectus сумел достичь многого: он научился пользоваться огнем, создал ашельскую культуру (культуру ручных рубил). Объем мозга эректусов достигал 900 см^3, рост – 170 см.

Именно в этот период люди впервые вышли за пределы родного континента. Начиная с 1,75 млн лет назад эректусы (в широком смысле) заселили обширные территории Евразии. Это была первая волна расселения людей за пределами Африки. 1,6 млн лет назад эректусы появляются на юго-востоке

Азии, где они продержались очень долго – последние эректусы здесь доживали свой век, по-видимому, всего лишь 50 тысяч лет назад.

1,3 млн лет назад эректусы объявляются в Северном Китае, в районе с гораздо более прохладным климатом, что говорит о хорошей приспособляемости. Здесь на 40 градусах северной широты местная форма эректусов, известная под названием синантропов, существовала вплоть до 400 тыс лет назад.

Около 1,1-1,2 млн. лет назад продвинутые потомки эректусов появляются и в Западной Европе. Эти люди, остатки которых найдены в Испании, описаны как особый вид Homo antecessor. По-видимому, они близки к общему предку неандертальцев и современных людей.

Когда появился огонь? Древнейшее бесспорное кострище обнаружено в Палестине и имеет возраст 790 тыс. лет. Но есть и более древние, хотя и более спорные кострища в Африке возрастом свыше 1,5 млн. лет. Эти кострища ассоциированы с костными остатками Homo erectus, однако не удалось пока доказать, что эректусы контролировали этот огонь, что это были не какие-то естественные пожары.

На основе генетических и археологических данных удалось восстановить пути расселения Homo sapiens и примерную хронологию событий. Предковая популяция нашего вида, судя по результатам анализа митохондриальной ДНК, жила в Восточной Африке более 160 000 лет назад. И очень интересно, что самые древние ископаемые остатки анатомически современных людей обнаружены как раз в этом районе и имеют как раз примерно такой возраст. Они были открыты в 1967 г на юге Эфиопии Ричардом Лики, однако возраст этих костей удалось точно определить лишь недавно. Оказалось, что этим черепам 195 тысяч лет.

Около 160 000 - 200 000 лет назад происходит революционное событие в антропогенезе. На территории Африки формируется новый вид гоминид – **Homo sapiens** (**Человек разумный**). Об этом свидетельствует сравнительный анализ митохондриальной ДНК и Y-хромосом современных людей. Homo sapiens оказался молодым видом с очень низким уровнем генетического полиморфизма; генетические различия между расами оказались меньше, чем между разными особями шимпанзе из одной популяции (это результат «бутылочных горлышек» в ранней истории человечества). Его объем черепа уже 1000-1600 см^3. При этом выделяются две его расы – более архаичная *неандертальская* (по месту первой находки в долине Неандерталь близ Дюссельдорфа), первой распространившаяся по просторам Евразии, и прогрес-

сивная – *кроманьонская* (по пещере Кро-Маньон во Франции), покинувшая Африку почти на 100 000 лет позже. Неандертальцы создали так называемую мустьерскую культуру, где основой для изготовления всех орудий служил отщеп. Кроманьонцы были более умелы и способны, более «цивилизованны», основной каменной заготовкой в их культурах была уже длинная и хорошо ограненная ножевидная пластинка. Еще недавно кроманьонцев и неандертальцев считали сначала ступенями единой эволюционной лестницы, затем основной и тупиковой ветвями эволюционного древа. Теперь многие склоняются к гипотезе о том, что пришедшие в Евразию позже кроманьонцы поглотили, ассимилировали неандертальское население. Процессы слияния двух рас завершились, по данным палеоантропологии, между 40 000 и 25 000 лет назад.

В настоящее время практически доказано, что среди современных людей нет потомков неандертальцев по прямой материнской линии. Многие генетические данные, в том числе новейшие данные по геному неандертальца, свидетельствуют против гипотезы о том, что вышедшие из Африки сапиенсы скрещивались с другими видами людей, населявших Европу и Азию. Однако есть и такие данные, которые указывают на возможность такой гибридизации.

Первый выход сапиенсов из Африки – по археологическим данным – состоялся около 135-115 тыс лет назад. Первый выход не привел к далеко идущим последствиям, сапиенсы в Передней Азии вскоре исчезают.

90-85 тыс лет назад произошел второй выход сапиенсов из Африки. И от этой небольшой группы эмигрантов впоследствии произошло все внеафриканское человечество.

Люди расселялись сначала вдоль южного побережья Азии.

Около 74 000 лет назад произошло грандиозное извержение вулкана Тоба на Суматре, которое привело к ядерной зиме и резкому похолоданию, которое длилось несколько веков. Популяция людей резко сократилась, по некоторым оценкам до 20 000 особей.

Примерно в этот момент впервые в большом количестве появляются украшения (ожерелья из продырявленных ракушек) и геометрические узоры, выцарапанные на камнях или скорлупе страусиных яиц. Это считают признаком развития символического мышления и речи.

Выяснилось, что высокая культура впервые появилась около 72 000 лет назад, просуществовала очень недолго — менее тысячелетия — и исчезла. После долгого перерыва она появилась снова около 65 000 лет назад.

Тем временем расселение людей продолжалось. Люди проникают в Австралию. Кстати, сегодня уже практически общепризнано, что деятельность первобытных охотников в Австралии стала главной причиной массового вымирания фауны крупных сумчатых животных, которое произошло примерно 40 000 лет назад. Похоже на то, что древние австралийцы охотились путем выжигания растительности, что привело к истреблению мно-

гих животных и к опустыниванию больших территорий. До прихода человека в Австралии водилось много удивительных крупных сумчатых, таких как сумчатый лев, например. В Австралии экологическая катастрофа произошла около 40 000 лет назад. Много позже, около 12 000 лет назад, такая же катастрофа, связанная с очень быстрым истреблением почти всех крупных животных, произошла в Северной и Южной Америке – вскоре после того, как там появились люди.

Следующее важное событие – приход сапиенсов в Европу, населенную неандертальцами. Надо отметить, что в последние годы быстро развиваются методы радиоуглеродного датирования. Это позволило уточнить датировку событий, связанных с заселением сапиенсами Европы.

Вот эти даты:

- Колонизация Центральной и Западной Европы: 46–41 тыс. лет назад.
- Начало эпохи Ориньяк, когда появляется пещерная живопись: 41 000 лет назад
- Совместное проживание с неандертальцами в большинстве районов: не более 6 000 лет, на западе Франции – 1 000-2 000 лет.

Сравнительный анализ генома человека и других приматов (шимпанзе, макака резуса) показал, что молекулярная эволюция приматов вообще и гоминин в частности имела очень неравномерные темпы, то есть периоды быстрых изменений чередовались с периодами стабильности.

10.2. Достижения эволюционной психологии

В последнее время быстро накапливаются факты, свидетельствующие о том, что даже самые «высшие» проявления нашей психики, такие как мораль, имеют вполне материальную основу; что соответствующие психологические механизмы возникли *в результате биологической эволюции.* Хотя никто, конечно, не отрицает роль воспитания и культурного наследования.

Например, выявляются конкретные области мозга, отвечающие за те или иные аспекты наших моральных суждений. В частности, обнаружилось, что у людей с двусторонним повреждением вентромедиальной префронтальной коры исчезает способность испытывать сопереживание и чувство вины, при полном сохранении интеллекта и всех остальных функций мозга. Эти люди на сознательном уровне прекрасно отличают добро от зла, но на практике отсутствие эмоциональной составляющей в механизме формирования моральных суждений приводит к характерным искажениям, отклонениям в работе этого механизма. Такие люди выносят моральные суждения только на основе холодного расчета: какой из двух вариантов в итоге даст максимум пользы и минимум вреда. Здоровые люди учитывают еще и свои эмоции.

В последние годы получены подтверждения возможной роли полового отбора в развитии многих особенностей человеческого разума и поведения (от речи до чувства юмора). Обычно в таких исследованиях речь идет о про-

верке тех или иных проверяемых следствий, вытекающих из эволюционных моделей. Например, человеческие языки содержат гораздо больше слов, чем необходимо для полноценного общения. Есть гипотеза, согласно которой избыточные лингвистические способности человека развилась под действием полового отбора как средство демонстрации интеллекта. Если эта гипотеза верна, то люди, особенно мужчины, при виде привлекательных особей противоположного пола, должны чаще использовать в своей речи редкие слова. И проводятся эксперименты, чтобы выяснить, так это или не так. В данном случае эксперименты дали положительный результат. Аналогичным образом проверяются и получают подтверждение гипотезы о происхождении чувства юмора, щедрости, и так далее.

Блестяще подтвердились догадки Дарвина о важнейшей роли общественного образа жизни в развитии разума. Развитие мозга и умственных способностей у приматов неразрывно связано с общественным образом жизни, с необходимостью предвидеть поступки соплеменников, манипулировать ими, учиться у них, а также оптимально сочетать в своем поведении альтруизм с эгоизмом. Такова точка зрения большинства антропологов на сегодняшний день. Идея о том, что разум у приматов развился для эффективного поиска фруктов или, скажем, выковыривания пищи из труднодоступных мест («гипотеза экологического интеллекта»), сейчас имеет мало сторонников. Она не может объяснить, зачем приматам такой большой мозг, если другие животные (скажем, белки) отлично справляются с похожими задачами по добыче пропитания, а мозг у них при этом остается маленьким. Напротив, «гипотеза социального интеллекта» подтверждается многими фактами.

Например, антрополог Робин Данбар обнаружил у обезьян положительную корреляцию между размером мозга и размером социальной группы. Приматы, в отличие от большинства стадных животных, знают всех своих соплеменников «в лицо» и с каждым имеют определенные взаимоотношения. А личные отношения – это самый ресурсоемкий вид интеллектуальной деятельности. Характер этой корреляции таков, что можно рассчитать, какой максимальный размер группы мог быть у наших предков. Для современного человека получается, что максимальный размер группы – 150 человек. В такой группе мы способны поддерживать индивидуальные отношения с каждым членом группы, знать его репутацию и так далее. Для более крупных социумов необходимы какие-то дополнительные механизмы поддержания целостности.

Почему же именно люди стали самыми умными из всех приматов? Согласно одной из наиболее правдоподобных гипотез, дело тут в том, что люди — животные не просто социальные, а «ультрасоциальные». Только люди способны формировать принципиально разные по своей структуре коллективы, различающиеся своими традициями, нормами поведения, способами добычи пропитания, системой внутригрупповых отношений, устройством семьи и т. д.

Чтобы эффективно функционировать в сложном социальном окружении, у людей должны были с некоторых пор развиться интеллектуальные способности совершенно определенного плана. Речь идет о способностях к эффективной коммуникации, обучению, а главное — к пониманию не только поступков, но и мыслей и желаний своих соплеменников (такое понимание называют «теорией разума»).

Каким образом появились у людей эти способности? На этот счет предложены две альтернативные гипотезы. Либо они возникли в результате равномерного развития интеллекта в целом («гипотеза общего интеллекта»), либо это было специфическое, узконаправленное развитие именно социально-культурных способностей, а все прочие (например, способности к логическому мышлению, выявлению причинно-следственных связей в физическом мире и т. п.) развились позже, как нечто дополнительное, вторичное («гипотеза культурного интеллекта»).

Речь идет, таким образом, о магистральном направлении эволюции нашего разума. Становились ли мы «вообще умнее», или у нас совершенствовались в первую очередь строго определенные, социально-ориентированные умственные способности, а все остальные — постольку - поскольку.

Некоторые экспериментальные данные свидетельствуют в пользу второй версии. Например, показано, что дети в возрасте двух с половиной лет справляются с задачами «социального» характера гораздо лучше обезьян, хотя в решении «физических» задач шимпанзе и орангутанги нисколько не уступают им.

Интересный вопрос – есть ли у человека такие эмоции, которых нет или почти нет у животных? Мы знаем, что даже такие чувства, как сильная привязанность к сексуальному партнеру, у животных есть, и даже регулируются они теми же нейропептидами и медиаторами, что и у человека. Однако у человека есть одна эмоция, почти не свойственная животным. Это отвращение. И есть основания полагать, что развитие чувства отвращения было тесно связано с парохиализмом, т.е. с враждебностью к чужакам. Например, было по-

казано, что приверженность «своей» социальной группе (в частности, патриотизм) — коррелирует с развитостью чувства отвращения; показано также, что боязнь инфекции, страх заболеть коррелирует с ксенофобией, негативным отношением к иностранцам. Может быть, в этом состоит одно из важных отличий человека от других животных в области эмоциональной регуляции поведения. Может быть, острая межгрупповая конкуренция у наших предков привела к комплексному развитию альтруизма и парохиализма, как мы уже говорили, причем это было связано с определенными изменениями эмоциональной сферы, в частности, развитие парохиализма могло быть связано с развитием чувства отвращения.

Так вот, экспериментально показано наличие у животных многих аспектов мышления и поведения, ранее считавшихся чисто человеческими. Это зачатки логики; способность выполнять простейшие арифметические действия; зачатки «теории разума», способность понимать мотивы чужих поступков; интриги и внутригрупповые альянсы, настоящие межплеменные войны у обезьян, зачатки бескорыстной взаимопомощи и эмпатии, то есть сочувствия, и многое другое.

Есть у животных и культурное наследование – например, умение колоть орехи камнями передается из поколения в поколение в некоторых популяциях шимпанзе, причем в разных популяциях существуют разные традиционные методы колки орехов. И эти традиции передаются и сохраняются в популяциях шимпанзе тысячелетиями. И колка орехов – это не врожденное поведение, ему обучаются в первые годы жизни, причем обучаются долго и с большим трудом.

Дарвин размышлял и о возможности эволюционного объяснения происхождения религий. Сегодня «эволюционное религиоведение» стало признанным научным направлением, которое быстро развивается. В рамках этой дисциплины можно выделить два основных направления:

1) Религия — «случайный» побочный продукт (не обязательно полезный) эволюционного развития каких-то других свойств психики.

2) Склонность человеческого мозга к генерации и восприятию религиозных идей – полезная адаптация, развившаяся в ходе эволюции наряду с другими адаптивными свойствами мышления.

Эти два подхода не являются взаимоисключающими. Ведь нередко побочный продукт какого-либо эволюционного изменения одновременно оказывается (или впоследствии становится) полезной адаптацией.

В рамках первой идеи – «религия как побочный продукт каких-то адаптивных свойств психики» – получены интересные экспериментальные данные, которые говорят о том, что важной предпосылкой распространения религий могли стать адаптивные особенности детской психики, направленные на быстрое восприятие знаний от взрослых; побочным эффектом этих адаптаций могла стать повышенная склонность к индоктринации.

Адаптивная роль такой особенности детской психики совершенно очевидна. Но при этом оказывается, что дети с большей готовностью верят тому, что сообщают им взрослые, чем своим собственным глазам. Совершенно ясно, что неизбежным побочным продуктом этого становится склонность к индоктринации. Фактически дети готовы безоговорочно принять любую информацию об устройстве мира, которую им передают взрослые. То есть возникает идеальная питательная среда для появления и распространения всевозможных эгоистических фрагментов информации, своего рода «информационных вирусов», в том числе нелепых суеверий, бессмысленных ритуалов и так далее.

Рассматривается и еще целый ряд свойств психики, побочным продуктом которых могли бы стать религиозные верования. Например, такая черта нашей психики, как умение мысленно вступать в «социальные отношения» с лицами, в данный момент отсутствующими. Без этого не смогли бы существовать большие организованные коллективы. Какой может быть порядок в племени, если люди выполняют свои обязанности только в присутствии вождя или родителя? Способность поддерживать отношения с «идеальным образом» отсутствующего человека — полезнейшая адаптация, но у нее есть неизбежные побочные следствия. Среди них — такие распространенные явления, как реалистичные и эмоционально насыщенные «взаимоотношения» людей (особенно детей) с вымышленными персонажами, героями, умершими родственниками, воображаемыми друзьями. Отсюда до религии — один шаг.

Люди отличаются от других приматов способностью образовывать очень большие коллективы неродственных индивидуумов. Это чрезвычайно «ресурсоемкое» в интеллектуальном плане поведение. Мы говорили, что у обезьян имеется положительная корреляция между размером мозга и максимальным размером социальной группы. Но мозг человека не мог увеличиваться до бесконечности, поэтому пришлось вырабатывать специальные адаптации, чтобы сделать возможным функционирование больших коллективов, в которых не все знают друг друга лично. Одной из таких адаптаций стала способность подавать, распознавать и высоко ценить сложные, дорого-

стоящие и трудно подделываемые сигналы, смысл которых — «я свой», «я один из вас», «мне можно доверять».

Религии могли использовать это свойство психики для своего распространения. Не случайно во многих религиях придается большое значение самым «дорогостоящим», изнурительным ритуалам, а также верованиям, которые кажутся чуждыми и нелепыми представителям всех прочих религиозных групп. Часто считается доблестью верить во что-то особенно нелепое как раз потому, что в это так трудно поверить. Люди таким образом доказывают другим членам группы собственную лояльность и готовность следовать групповым нормам невзирая ни на что.

Тут мы уже близко подходим к другой идее, о том, что определенные аспекты религиозного мышления могли сложиться в качестве полезных адаптаций. Прежде всего – как средство повышения сплоченности коллективов, как средство укрепления парохиального альтруизма.

Интересные результаты дал сравнительный анализ разнообразных замкнутых общин, которых очень много возникло в США в XIX веке. Среди них были как религиозные, так и светские (например, основанные на идеях коммунизма). Оказалось, что религиозные общины в среднем просуществовали гораздо дольше, чем светские. Это хорошо согласуется с идеей о том, что религия способствует просоциальному поведению (верности общине, готовности жертвовать личными интересами ради общества). Более детальный анализ показал, что выживаемость религиозных общин напрямую зависит от строгости устава. Чем больше ограничений накладывала община на своих членов, чем более «дорогостоящие» ритуалы им приходилось выполнять, тем дольше просуществовала община. Это означает, что именно ритуалы и ограничения, а не какие-то другие аспекты религии, играют главную роль в обеспечении устойчивости общины. Это исследование, как и ряд других, указывает на то, что изнурительные обряды, посты и тому подобное, во-первых, являются эффективными средствами убеждения окружающих в собственной лояльности (и поэтому община со строгим уставом надежно защищена от притворщиков и нахлебников).

Во-вторых, ритуалы, особенно коллективные ритуалы, являются мощным сплачивающим фактором и способствуют укреплению парохиального альтруизма. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты четырех исследований, проведенных недавно среди представителей шести религиозных концессий. Эти исследования показали, что люди, регулярно посещающие богослужения, в большей степени склонны к проявлениям религиозного фанатизма и ненависти к иноверцам, вплоть до одобрения террористов-самоубийц. Частота молитв, однако, не имеет такого эффекта. Эти результаты подтверждают идею о том, что совместные религиозные действа — но не религиозные верования как таковые — являются мощным фактором укрепления «парохиального альтруизма», то есть преданности «своим» в сочетании с ненавистью к «чужакам».

10.3. Различные гипотезы возникновения человека

Одной из самых фундаментальных нерешенных проблем современного научного познания является постижение генезиса человека. Поскольку человек, представляя собой часть живой природы (биосферы) наиболее перспективным является подход, рассматривающий человека как продукт длительной биологической эволюции. В ходе эволюции остаются те организмы, которые своей жизнедеятельностью увеличивают свободную химическую энергию в биосфере, то есть эволюция идет в определенном направлении. Американский геолог Д. Дана утверждает, что в ходе геологического времени наблюдается скачками усовершенствование, рост центральной нервной системы (мозга), начиная от ракообразных и от моллюсков и кончая человеком. *Раз достигнутый уровень мозга (центральной нервной системы) в достигнутой эволюции идет уже не вспять, а только вперед.* В таком ракурсе появление человека есть закономерный результат развития биосферы, функционирования ее космопланетарных механизмов. В свете последнего положения и следует рассматривать проблему происхождения человека, относящуюся к числу важнейших вопросов мировоззрения и науки.

Согласно современным научным данным, наиболее адекватной действительности является эволюционная теория происхождения человека от животного предка — гоминид. Эволюцию мозга гоминид следует считать весьма особым процессом, по крайней мере, по двум причинам. *Во-первых*, в связи с ее темпами: это был один из наиболее бурно протекающих процессов макроэволюции в истории позвоночных, если не в истории животного мира вообще. *Во-вторых*, в связи с его феноменальным последствием: этот процесс привел к возникновению уникального в животном мире биосферы явления, каковым является возникновение *сознания* и человеческой *психики*. Здесь речь идет о следующих связанных между собой ее свойствах: 1) оперирование образами и понятиями, содержание которых может относиться к воображаемым, никогда и нигде не существующим событиям; 2) познавательная способность, основанная на проникновении в структуру мира и построении модели мира; 3) способность как соблюдения существующих моральных норм поведения, так и разрушения и саморазрушения; 4) самосознание и рефлексия, проявляющиеся в способности созерцать собственное существование и осознавать смерть. Возникает проблема объяснения особенностей эволюции мозга гоминид, а также наличия колоссальных различий между мозгом человека и современных человекообразных обезьян, например шимпанзе.

Как известно, в человеческом мозгу уже давно установлен регион коры больших полушарий, управляющий понятийной стороной речи (точнее говоря, регион, повреждение которого или электростимуляция вызывают нарушения в семантической или грамматической структуре высказывания). Однако мозг человека в сравнении с мозгом шимпанзе не содержит ни одного нового типа клеток, тканей или органов, к тому же отдельные его части имеют аналогичные пропорции. Различие состоит в основном в меньшей у человека плотности упаковки нейронов в коре, в большем числе дендритов (следовательно, более плотной сети межнейронных связей), в большем числе нейронов коры с короткими аксонами и большем количестве (на единицу объема коры) нейроглиальных клеток. Наконец, соотношение абсолютного числа нейронов коры человеческого мозга и коры мозга шимпанзе равно 1,4:1,0. В сумме известные до сих пор структурные и физиологические различия между мозгом человека и мозгом шимпанзе кажутся тривиальными, поэтому возникает проблема объяснения генезиса принципиальных различий в сфере психики и поведения между этими двумя видами.

В науке выдвинут ряд гипотез, которые пытаются разрешить эту проблему: человек возник благодаря тому, что его древнейшие предки в большей степени были падальщиками, чем охотниками; мутации в клетках мозга гоминид, вызванной жесткими излучениями вспышки Сверхновой звезды, либо инверсиями геомагнитного поля; либо мутант среди гоминид появился в результате теплового стресса.

Рассмотрим эти гипотезы в изложенном порядке.

1. В научной литературе имеются данные о том, что употребление в пищу мяса крупных животных способствовало формированию физических и природных условий, которые привели к появлению характерных особенностей, отличающих человека от обезьян. Обычно считается само собой разумеющейся формула «человек-охотник» — именно в силу занятия ранними гоминидами охотой, а не собиранием падали появился человек. Американские ученые Р. Блюменшцйн и Дж. Кавалло считают, что теория «человек-охотник» основана на «более предрассудках, чем на ископаемых находках и экологических аспектах добывания пищи». Они выдвинули гипотезу, согласно которой подбирание падали, вероятно, было более распространенным способом добывания пищи, нежели охота 2 млн. лет назад: «Охота на очень мелких животных, возможно, была древнейшей стратегией гоминидов, а с появлением метательного оружия Homo Sapiens стал намного более искусным, охотником, чем любой другой примат. Тем не менее такой способ добывания пищи, как подбирание падали, оказал более заметное влияние на эволюцию человека, чем до этого было принято думать». И хотя эта гипотеза не получила широкого резонанса в сообществе ученых, ее неправомерно сбрасывать со счетов, когда дело касается такой весьма сложной проблемы, как генезис человека.

2. В рамках сформировавшегося в последнее время такого направления научных исследований, как «космический катастрофизм», выдвинута гипотеза о возникновении современного человека (и человеческой цивилизации) в связи со вспышкой близкой Сверхновой звезды. Зафиксировано то весьма удивительное обстоятельство, что вспышка близкой Сверхновой звезды по времени (один раз в 100 млн. лет) приблизительно соответствует возрасту древнейших останков человека разумного (порядка 35-60 тыс. лет назад). К тому же ряд антропологов считает, что появление современного человека обусловлено мутацией. А импульс гамма- и рентгеновского излучения от вспышки близкой Сверхновой звезды мог вызвать необратимые изменения в клетках мозга некоторых животных, в том числе гоминид или рост самого мозга, что привело к формированию разумных мутантов вида человека разумного. Во всяком случае, со вспышкой Сверхновой звезды связано: 1) образование Солнечной системы; 2) происхождение жизни и 3) возможно, происхождение современного типа человека с его цивилизацией.

3. Третья гипотеза исходит из того, что современный человек — мутант, возникший вследствие инверсии земного магнитного поля. Установлено, что земное магнитное поле, которое в основном задерживает космические излучения, по неизвестным до сих пор причинам иногда ослабевает; тогда и происходит перемена магнитных полюсов, то есть геомагнитная инверсия. Во время таких инверсий степень космических излучений на нашей планете резко возрастает. Исследуя историю Земли, ученые пришли к выводу, что в течение последних 3 млн лет магнитные полюса Земли четырежды менялись местами. Некоторые обнаруженные останки первобытных людей относятся к эпохе четвертой, геомагнитной инверсии. Такое необычное стечение обстоятельств приводит к мысли о возможном влиянии космических излучений на появление человека. Эту гипотезу усиливает следующий факт: человек появился в то время и в тех местах, в которых сила радиоактивного излучения оказалась наиболее благоприятной для изменения человекообразных обезьян. Именно такие условия возникли около 3 млн. лет назад в Южной и Восточной Африке — в период отделения человека от мира животных. По мнению геологов, в этом регионе в силу сильных землетрясений обнажились залежи радиоактивных руд. Это, в свою очередь, вызвало мутацию у определенного вида обезьян, который был наиболее предрасположен к изменению генетических черт. Вполне возможно, что около 3 млн. лет назад длительное воздействие радиоактивного излучения настолько глубоко изменило австралопитека, что он стал способен совершать действия, необходимые для его безопасности и обеспечения пищей. В соответствии с этой гипотезой питекантроп появился около 690 тыс. лет назад, когда наступило второе изменение геомагнитных полюсов.

При третьей инверсии магнитных полюсов Земли (около 250 тыс. лет назад) мы имеем дело с неандертальцем, возникновение же современного человека приходится на четвертую геомагнитную инверсию. Такой подход вполне правомерен, ибо известна роль геомагнитного поля в жизнедеятельности организмов, в том числе и человека (следует отметить тот примечательный факт, что магнитное поле определенной конфигурации и напряженности становится непроницаемым для радиоактивного излучения).

4. Оригинальна и интересна четвертая гипотеза о росте массы мозга у гоминидов в силу адаптации к экстремальному тепловому стрессу. Ее содержание сводится к следующим положениям.

а) Вполне вероятно, что наиболее ранняя форма охоты у гоминидов — это охота индивидуальным способом, «состязание на выносливость», применяемым до сих пор, например бушменами. Такая охота требует многочасовых марш-бросков в тропической саванне и должна вызывать сильный тепловой стресс, который угрожает расстройством деятельности нейронов коры, весьма чувствительных к росту температуры. В итоге наступает временное нарушение пространственной ориентации и памяти. Человек обладает характерной и не встречающейся у других приматов адаптацией, предохраняющей тело от перегрева и облегчающей потерю тепла через выделение и испарение (отсутствие волосяного покрова, исключительно богатая система потовых желез). Однако такого рода адаптации, вероятно, было недостаточно для устранения угрозы перегрева крови в сосудах мозга в условиях «состязания на выносливость».

б) У быстробегающих млекопитающих тропической зоны имеются специальные приспособления для поддержания постоянной температуры в сосудах мозга, например, сети сосудов у газели Томпсона, благодаря которым температура после 7-минутного бега со скоростью 40 км/час возрастает только на 1 градус, тогда как температура крови в периферических сосудах поднимается на 5 градусов. Поэтому адаптация гоминидов к этому стрессу была иной, основывалась именно на создании дополнительных нейронов коры и увеличении числа связей между ними.

в) Подобного рода естественный отбор рассчитан на создание мозга не столько «разумного», сколько устойчивого к периодическим, экстремальным сильным тепловым стрессам. Возникший таким образом мозг, имеющий избыток нейронов и связей, приобрел усиленный интеллектуальный потенциал, однако последний является только побочным эффектом устойчивости к тепловому стрессу (в последнее время внимание генетиков, физиологов, биохимиков привлечено к синтезу в клетках многих организмов так называемых стрессовых белков, особый интерес представляют белки теплового шока).

г) Эти новые потенции мозга были потом использованы для целей, к которым он первоначально вовсе не был предназначен, то есть к «абстрактному мышлению», символической коммуникации и пр., а также"одновременно к совершенствованию техники охоты. Последнее сделало охоту занятием менее тяжелым физически и тем самым сначала уменьшило, а затем и окончательно устранило действие отбора для адаптации к перегреву. С этого момента дальнейшая эволюция мозга гоминидов происходила уже путем отбора на «разумность».

д) Если бы гоминиды не стали использовать полученного в результате тепловой адаптации избытка нейронов коры мозга весьма рано «человеческим способом», то мозг стал бы преобразователем информации с еще большими возможностями. Это значит, что действие отбора на устойчивость к «перегреву» более длительное время привело бы к еще большим потенциям разума современного человека. В целом эта гипотеза может быть весьма плодотворной в выяснении происхождения человека, ибо она связана с процессами тепле-регуляции живого вещества биосферы.

В целом следует отметить, что проблема происхождения человека весьма сложна и до сих пор окончательно не решена.

Человек является высшим, но не обязательно последним звеном эволюции жизни на Земле. По мнению ряда ученых человек, как биологический вид, вследствие углубляющихся противоречий между состоянием окружающей среды с возможностями и потребностями человека, находится в кризисе, который может завершиться постепенным его вырождением. В этих условиях, по мнению этих ученых, началось формирование нового биологического вида, который, в конечном счете, вытеснит человека и займет его место на планете. Важнейшим его свойством может стать отказ от речи и переход к телепатическому общению. При этом все особи вида будут использовать единое информационное поле, что позволит создать интеллектуально единое общество и избавиться от использования подавляющего числа технических средств, компенсирующих наше несовершенство. Другие исследователи полагают, что биологическая эволюция человека полностью прекратилась, сменившись эволюцией социальной. Но, так или иначе, эволюция всегда шла таким образом, что в ее процессе возникали все более сложные системы. Наиболее сложной из них является мозг человека. Именно мозг генерирует все рациональные схемы, к которым человек приспосабливает себя, свою деятельность и окружающий его мир.

10.4. Человек: мозг, сознание. Искусственный интеллект

В течение многих веков не смолкают горячие споры вокруг сущности сознания и возможностей его познания. Сознание, как и материя, это реальность. Оно не существует само по себе, а связано с материей. Положение К.Маркса о том, что нельзя отделить сознание от материи, которая мыслит, о том, что сознание производно от материи, предельно просто и понятно. И возникает основной вопрос что первично? Дух породил материю или материя дух, и если последннее верно но как это произошло?

Сознание - это в первую очередь *совокупность знаний о мире*. Следующими важными элементами сознания являются *внимание*, способность сознания *концентрироваться на познавательной* и любой *иной деятельности*, и *память*, способность сознания накапливать информацию, хранить, а при необходимости и воспроизводить ее, а также использовать ранее приобретенные знания в деятельности.

Сознание – это высшая, свойственная только человеку и связанная с речью функция мозга, состоящая в *обобщенном и целенаправленном отражении действительности*, в предварительном мысленном построении действий и предвидении их результатов, в разумном регулировании и самоконтролировании поведения человека. **Сознание есть функция мозга**. Этот тезис на-

дежно подкрепляется и данными физиологии и патологии высшей нервной деятельности, в частности, тем, что нарушения в психике часто связаны с повреждением определенных участков мозга.

Сознание – важнейшая сфера человеческой психики, но не единственная, поскольку последняя включает в себя и бессознательное. Так, многие привычные действия мы выполняем без контроля сознания, бессознательно, а сознание, освобожденное от решения этих задач, может быть направлено на иные предметы.

Считается, что определяющую роль в процессе формирования человека и его сознания сыграли *совместный труд* и складывающиеся на этой основе общественные отношения между людьми. Ведь важнейшая особенность труда в том и состоит, что его результат еще до начала деятельности должен присутствовать в голове человека идеально, как внутренний образ, как побуждение и как цель. Этим в первую очередь и объясняется, что сознание могло сложиться лишь в процессе труда. А из этого следует, что сознание как свойство высокоорганизованной материи есть *общественный продукт*, возникший в обществе и непрестанно развивающийся на базе труда и всей системы общественных отношений между членами общества. Но труд с самого начала был коллективным трудом и его развитие тесно связаны с развитием языка. Язык возник из потребности общения.

Если подойти к проблеме возникновения сознания в крупном, глобальном плане, то этот процесс органически связан с двумя качественными сдвигами, скачками в развитии материального мира. Первый из них – скачок от неживого к живому. Второй качественный сдвиг – переход от животного состояния к человеку и человеческому обществу, который одновременно был скачком от психики животных к человеческому сознанию.

Но в чем суть второго скачка? Для ответа на этот вопрос, очевидно, следует выяснить, чем отличается сознание человека от психики животных. Эти отличия можно свести к трем основным: 1) человеку свойственно абстрактное, понятийное мышление, отсутствующее у животных; 2) человек пользуется языком, второй сигнальной системой, которой нет у животных; 3) человек способен не только отражать мир в своем сознании, но и целенаправленно его преобразовывать.

Возникает следующая проблема: как известно, труд представляет собой целесообразную деятельность, это значит, что «в конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, то есть идеально» (К. Маркс). Другими словами, сознание

предшествует труду; аналогичная картина и с обществом. Как целесообразная деятельность немыслима без сознания, так и сознание предполагает в качестве предпосылки социальную связь людей, основанную на трудовой деятельности. Получается, что все три стороны собственно человеческой реальности — сознание, общество и труд — взаимно предполагают друг друга, получается своего рода замкнутый круг. Возникает вопрос об их исходном единстве — их общем корне, уходящем в биологию предка человека.

Оригинальное решение этого вопроса предлагает отечественный философ Ю.М. Бородай, занимающийся исследованием проблемы происхождения и функционирования человеческого воображения. Он исходит из фундаментального открытия И. Канта: *человеческое сознание начинается с произвольного (продуктивного) воображения*, причем многочисленные исследования свидетельствуют о том, что как раз воображение служит «пусковой пружиной» подавляющего большинства психических процессов человека, в том числе и мыслительных актов. Следовательно, *выяснение происхождения воображения* означает фактически получение ответа на вопрос: как и почему возникают сознание, психика человека. Исток воображения и следует искать в биологической эволюции некоторых видов приматов. Их эволюция зашла в тупик непреодолимого противоречия между сексуальными побуждениями и инстинктом самосохранения в сообществах эротически возбужденных и уже вооруженных примитивными орудиями хищников, которые прекрасно владели навыками убийства себе подобных.

Наш мозг состоит из 10^{11} нейронов, связанных между собой десятками тысяч нитей-аксонов. Информационный объем человеческого мозга, по мнению фон Неймана, превышает 10^{16} гигабайт. Это на несколько порядков выше объема винчестера самых мощных современных компьютеров, несмотря на малый объем черепной коробки.

Одна из основных функций человеческого мозга – высшая нервная деятельность. Высшая нервная деятельность включает в себя *сознание, подсознание и интуицию*. Изучением высшей нервной деятельности человека занимается психология.

Сознание – высшая, свойственная только человеку, функция головного мозга. Функции сознания – отражение объективных свойств внешнего мира, предварительное мысленное построение действий и предвидение их результатов, регулирование и саморегулирование взаимоотношений с обществом и природой. Сознание глубоко индивидуально.

Подсознание – это психические процессы, возникшие в результате влияния сложных поведенческих программ и доведенные до автоматизма, став навыками. Интуиция или сверхсознание – не контролируемый волей и сознанием первоначальный этап творчества, прорыв микрокосмоса (нашего сознания) на уровень космоса. Как образно писал в своих стихах физик И. Блюменфельд «Ясно, что Вселенная – конечная, раз она легко влезает в голову».

Человек способен сознательно влиять на состояние своего тела, своего организма. Такого рода саморегуляция широко используется в аутогенной тренировке, в хатха-йоге, в дзэн-буддизме. Границы возможностей «властвования собой» пока совершенно неясны. Так, йоги способны находиться под водой по несколько часов, затормаживая дыхание и сердцебиение, проходить за одну ночь по 100 км без внешних признаков усталости, месяцами не принимать пищу. Один из фактов влияния самовнушения на организм – возникновение стигматов у глубоко верующих христиан – кровоточащих ран на месте гвоздей, вбитых в тело Христа при распятии. Не менее известны примеры внушения в состоянии гипноза. Холодный карандаш способен вызвать ожог с омертвением тканей, если внушить загипнотизированному человеку, что это не карандаш, а раскаленный добела металлический пруток.

Академик Наталья Петровна Бехтерева – один из ведущих специалистов мира по исследованиям мозга. Она продолжает работу, начатую ее дедом – академиком Владимиром Михайловичем Бехтеревым (1857-1927). Коллективу талантливых ученых под ее руководством удалось достичь эпохальных результатов. Выяснилось, что с помощью *физического и химического* воздействия на мозг можно искусственно вызывать определенные эмоции (страха, тревоги, наслаждения и пр.), галлюцинации, навязчивые идеи. Можно и лечить таким путем психические заболевания. Ни один *поведенческий акт невозможен без возникновения отрицательных потенциалов на клеточном уровне, которые сопровождаются электрохимическими изменениями и деполяризацией клеточной мембраны*. Маркирование мозга (браинметрика) – то есть обозначения того, какая область мозга за что отвечает – возникла ещё в прошлом столетии. Однако, как выяснилось, этот метод не даёт однозначной информации о мозге: если проводить подобные опыты день ото дня, то окажется, что есть много участков мозга, которые сегодня ведут себя одним образом, назавтра могут отключиться, послезавтра могут снова включится. Удалось доказать, что система обеспечения мозговой деятельности состоит из так называемых *жёстких и гибких звеньев*. Жёсткие звенья себя ведут одинаково, вне зависимости от условий, а гибкие – по-разному в разных ус-

ловиях. Последние – это резерв, из которого мозг может черпать тогда, когда приходится решать задачу при неблагоприятных условиях. В нормальных условиях мозг работает с помощью жёстких звеньев и небольшого количества гибких звеньев. Гибкие звенья так же дают мозгу возможности восстановить свои функции при повреждениях.

Есть люди, обладающие феноменальными способностями к счёту и запоминанию. По мнению Н.П. Бехтеревой быстрый счет получается потому, что их мозг начинает работать в другом режиме времени. Режим, по которому мы живём – это адаптивный режим времени, наиболее удобный на нашей планете. А мозг способен работать в разных режимах, что доказывается экстремальными ситуациями, когда человек в деталях видит процесс разрыва снаряда, словно на очень замедленной киносъемке, или за секунды буквально продумывает всю жизнь.

Профессор Р. Сперри (США) в 1950-х гг. установил, что мозг функционально ассиметричен. Левое полушарие – аналитическое, рациональное. Правое – синтетическое, интуитивное, эмоциональное. У одних людей доминирует правое полушарие (у них более развито художественное мышление, эмоциональная сфера, часто это левши), у других – левое (это более рациональные люди, четко подчиненные логике). Исследователи Н.Н. Брагина и Т.А. Доброхотова выяснили, что в определенных ситуациях (в связи с нарушением или изменением некоторых функций мозга, причем, гораздо чаще – именно у левшей) возникают измененные состояния сознания. Иногда это может проявляться в кожно-оптическом чувстве (чтение и видение кожей), расширении зрительного пространства (видение за пределами досягаемого зрением пространства), предвосхищение (восприятие событий будущего, как правило на подсознательном уровне). Детальней этими явлениями занимается парапсихология.

Основной задачей парапсихологии было исследование интуиции. Кроме того парапсихология, занимается изучением так называемых экстрасенсорных способностей: экстрасенсорной перцепции (внечувственного восприятия) и психокинеза (воздействия на ход физических процессов и предметы без прямого контакта и применения технических средств). Среди особо известных людей-экстрасенсов Ури Геллер, Роза Кулешова, Вольф Мессинг, Владимир Сафонов, Виктор Балашов. Многие данные парапсихологии из разряда мифов уже переходят в разряд знаний, подтвержденных экспериментально, но не нашедших пока объяснения в рамках господствующей парадигмы, например – наличие биополя. Биополе или аура – система физических

полей, генерируемых организмом. При их определенном сочетании, по мнению некоторых специалистов, могут возникать качественно новые явления, порождающие парапсихологические феномены.

Отличительное свойство мышления заключено, наверное, в способности *достигать определенной цели*, то есть находить нужный вариант среди других, в принципе допустимых, но не приводящих к требуемому результату. Допустимые варианты – это комбинации элементов: действий в практических вопросах, умозаключений в доказательствах, красок и звуков в искусстве. Может быть, чтобы получить искомое сочетание, надо просто перебрать варианты один за другим, отбрасывая негодные? Бесплодность такого подхода доказывает комбинаторный взрыв: если элементы могут свободно группироваться друг с другом, то общий набор сочетаний растет с увеличением числа элементов крайне быстро. При алфавите всего из 10 символов можно составить 10^{100} текстов по 100 букв в каждом! Фантастическому сверхбыстрому компьютеру, просматривающему 10^{18} текстов в секунду, для полного их обозрения понадобится около 10^{74} лет. А после Большого взрыва прошло лишь 10^{10}. Выходит, что испытать все варианты не под силу никому.

И все же как-то возникают уникальные тексты из сотен и тысяч знаков. В поиске новых и незаменимых комбинаций и состоит, как правило, суть творчества. Значит, должны существовать способы отыскания «иголки» без полного перебора «стога сена» возможного. Но как?

Можно ли создать машину, которая мыслила бы как человек – то есть обладающую искусственным интеллектом? Компьютер уже моделирует такие процессы, как обучение, абстрагирование, обобщение. Программа Ван Хао (США) не только сумела самостоятельно доказать 200 существующих теорем по математической логике, но и сформулировала и доказала еще 10 новых теорем – а это уже моделирование творческих процессов. Наконец, машины уже самостоятельно пишут стихи и музыку, а суперкомпьютер выигрывал в шахматы у чемпиона мира Гарри Каспарова. По мнению большинства ученых, теоретически можно моделировать любые функции мозга. Вопрос в том осуществимо ли это практически (это, видимо, вопрос времени) и нужно ли вообще такое моделирование, не берем ли мы на себя несвойственные нам функции создания разума (а это уже вопрос научной этики, как и, к примеру, клонирование человека).

В связи с бурным развитием информационных, компьютерных, виртуальных, генных технологий сейчас необычайно усилился интерес к выяснению природы сознания в ее полноте. Само сознание является наиболее таин-

ственной «вещью» в мире на данный момент, потому что до сих пор нет ответа на следующие вопросы: Почему оно существует? Что оно делает? Как оно могло возникнуть на основе биохимических процессов мозга.

10.5 Человек и биосфера. Концепция В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере

Биосфера является самой крупной, глобальной экосистемой планеты. Понятие биосфера было введено в 1875 году Э. Зюссом. Но наибольшее развитие это понятие получило в трудах В.И. Вернадского. Под биосферой он понимал все пространство литосферы (верхняя часть твердой поверхности земной коры), гидросферы (моря, реки, озера и Мировой океан) и нижние слой атмосферы, где существует или когда-либо существовала жизнь, то есть где встречаются организмы или продукты их жизнедеятельности.

Нижняя граница биосферы опускается на 2-3 км на суше и на 1-2 км ниже дна океана, а верхней служит так называемый озоновый экран на высоте 20-25 км, выше которого жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца убивает все живое. Человеческое общество с его производством и созданной им искусственной средой – техносферой также является частью биосферы. Суммарная биомасса живых организмов Земли оценивается примерно в $2{,}4\times10^{12}$ т, причем основная ее часть (более 99%) образована наземными животными, растениями и организмами. Биомасса организмов океана ничтожно мала по сравнению с биомассой наземных организмов.

В процессе создания концепции биосферы В.И. Вернадский приходит к выводу огромного мировоззренческого значения, по существу, определяющему стратегию будущего развития естествознания. Он говорит о том, что в современное научное мировоззрение должно войти представление о геохимических функциях живого вещества и человечества как основных геологических сил, определяющих как само существование биосферы, так и формы и вектор ее развития. Концепция биосферы стала точкой отсчета нового этапа развития общего естествознания. Современное общее естествознание — это биосферное естествознание, в основе которого лежит представление о биосферных, то есть геохимических функциях живого вещества и человечества. Без этого представления в настоящее время невозможен «гармоничный ход научного и философского мышления».

В «Мыслях и набросках» он пишет: «Сознание человечества становится той «силой», тем фактором, который мы должны принимать во внимание, когда изучаем всякий природный процесс». Это общетеоретическое положение

сформулировано в 1920 году. А сейчас оно перешло из области теории в практику. Например, прежде чем новый технологический процесс получит «путевку в жизнь», он должен пройти экологическую экспертизу.

Одновременно с Вернадским концепцию биосферы развивали французские ученые. Так, само понятие «ноосфера» впервые прозвучало на лекциях 1927/28 учебного года из уст философа и математика, последователя Бергсона, *Эдуарда Леруа*. При этом соавтором ноосферной концепции был объявлен его друг и единомышленник *Пьер Тейяр де Шарден*, палеонтолог и философ. Причем, оба француза строят свою мысль, опираясь на понятие биосферы и живого вещества в том духе, как они были развиты Вернадским в его знаменитых лекциях в Сорбонне в 1922-1923 годах.

По В.И. Вернадскому, вещество биосферы разнородно по своему физико-химическому составу, а именно:

1) *живое вещество* как совокупность "живых организмов;

2) *биогенное вещество* — непрерывный биогенный поток атомов из живого вещества в косвенное вещество биосферы и обратно;

3) *косное вещество* (атмосфера, газы, горные породы и пр.);

4) *биокосное вещество*, например, почвы, илы, поверхностные воды, сама биосфера, т. е. сложные закономерные косно-живые структуры;

5) *радиоактивное вещество*;

6) *рассеянные атомы*;

7) *вещество космического происхождения*.

Основные положения теории Вернадского:

1) *жизнь есть неизбежное следствие мирового эволюционного процесса*, любые теории случайного зарождения жизни не выдерживают критики;

2) *возникновение Земли как космического тела и появление на ней жизни произошло практически одновременно*, следы жизни обнаруживаются в самых глубоких геологических слоях;

3) *наша планета и космос есть единая система, в которой жизнь связывает все процессы в единое целое*;

4) *количество живого вещества на Земле является постоянной величиной*, то есть во все времена с начала существования Земли в круговорот жизни было вовлечено то же количество вещества, что и сегодня;

5) биосфера – это «*организованная, определенная* оболочка земной коры, сопряженная с жизнью. Пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни»;

6) форма деятельности живого его биогеохимическая работа в биосфере (новое понятие, введенное В.И. Вернадским) и заключается *в осуществлении необратимых и незамкнутых круговоротов вещества и потоков энергии* между основными структурными компонентами биосферной целостности: горными породами, природными водами, газами, почвами, растительностью, животными, микроорганизмами (биогеохимическая цикличность);

7) *жизнь является главной геологической силой* на планете (не вулканизм и не процессы выветривания определяют лик планеты; ее ландшафты, химизм океана, структура атмосферы и т.п. - это порождение жизни);

8) *человек есть неизбежное следствие эволюции* планеты, на которого возложена определенная роль в ее жизни;

9) в настоящее время именно человек *превращается в главную геологическую силу на планете*;

10) однажды *развитие биосферы и общества сделается неразрывным*, и биосфера перейдет в новое состояние – *ноосферу* (сфера разума). В общепринятом понимании под ноосферой подразумевают такое состояние взаимоотношений человека и природы, в котором развитие планеты будет подчинено управляющей силе Разума Человека в интересах Человека.

Известно, что недра планеты и космические процессы активно влияют на процессы в биосфере. Таким образом, сфера жизни оказывается плотно вплетенной в единую ткань Вселенной, поэтому границы ее весьма условны.

Основные свойства биосферы

1. Биосфера – это централизованная система. Центральным ее звеном выступают все живые организмы (живое вещество), в том числе и человек.

2. Биосфера – это открытая система. Ее существование немыслимо без поступления энергии извне, прежде всего от Солнца.

3. Биосфера – это саморегулирующаяся система. Это свойство называют гомеостазом, понимая под ним способность гасить возникающие возмущения и приходить в исходное состояние включением ряда механизмов.

4. Биосфера – это система, характеризующаяся большим разнообразием. Это повышает ее устойчивость за счет дублирования функций.

5. Наличие механизмов, обеспечивающих круговорот веществ. Это гарантирует неисчерпаемость отдельных химических соединений.

Жизнь распространена по земной поверхности крайне неравномерно и в различных природных условиях принимает вид относительно независимых комплексов – биогеоценозов или экосистем. Живая часть биогеоценоза носит название биоценоза.

Разнообразные процессы и явления, протекающие в биосфере, являются объектом исследований различных наук. Особое место при этом отводится экологии. Э. Геккель, впервые применивший этот термин (греч. ойкос – дом, жилище, логос – наука) определил экологию «…как науку, изучающую все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы за существование». В результате деятельности человека экология, дифференцируясь на множество самостоятельных наук, все больше приобретает политический и социальный оттенок, включая в себя вопросы права, экономики, социологии, технологии и др.

10.6. Антропогенный фактор и глобальные экологические проблемы

Человек появился в ходе эволюции биосферы. Он – ее элемент. Появление разума, по-видимому, закономерный этап в развитии живой материи, коренной перелом в ее эволюции, ибо она получила способность мыслить и познавать себя. Все необходимое для жизни человек получает из биосферы. Туда же он сбрасывает бытовые и промышленные отходы. Долгое время Природа справлялась с теми нарушениями, которые человек вносил в ее деятельность и сохраняла равновесие. В настоящее время деятельность человека стала соизмеримой с силами Природы и она уже не способна выдерживать напор преобразующей деятельности человека. Это приводит к формированию глобального экологического кризиса, сопровождающегося обострением так называемых глобальных экологических проблем, к которым относятся проблема народонаселения («демографический взрыв»), изменение состава атмосферы и климата, изменение состояния водных систем, истощение природных ресурсов. Рассмотрим эти проблемы подробнее.

1. *Рост народонаселения.* Сейчас на Земле – 5,5 млрд. человек. В 20-м веке темп роста народонаселения резко увеличился и только за последние 40 лет человечество выросло более чем в два раза. Если рассматривать темы роста человечества за всю его историю, то четко прослеживается экспоненциальный характер зависимости численности населения от времени (см. рис. 10.1). В настоящее время появились тенденции к сокращению темпа роста населения (пунктирная кривая), однако он все еще продолжает оставаться высоким. По прогнозам демографов, к 2025 г. на Земле будет от 7,6 до 9,4 млрд. человек. Это еще больше обострит существующие на сегодняшний день экологические проблемы. Дело в том, что у всех живых организмов существуют пределы роста, обусловленные т.н. экологической емкостью территорий, и человек не является исключением. Каковы эти пределы для человека? К настоящему времени разработаны так называемые *ресурсная* и *био-*

сферная модель мировой системы. По ресурсной модели население Земли не должно превышать 7,0 –7,5 млрд. человек, а по биосферной – 10 млрд.

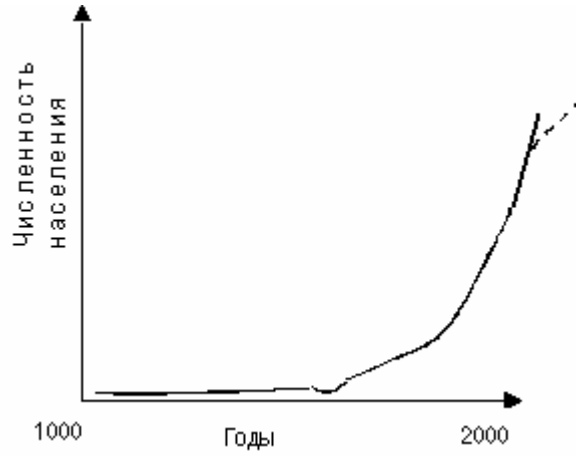

Рис. 10.1. Рост населения Земли

2. *Изменение состава атмосферы*. На первом месте среди загрязнителей атмосферы стоит энергетика. Энергетика – основа цивилизации и без производства достаточного количества энергии человечество не сможет существовать и развиваться. Сегодня главный производитель энергии – теплоэлектростанции (ТЭС), их доля в общем производстве энергии составляет около 63%. Доля ГЭС составляет около 20%, доля АЭС – около 17%. Существенную роль в загрязнении атмосферы играет транспорт и выбросы промышленных предприятий. Вносят свою лепту и лесные пожары, до 95% которых обусловлено человеческой неосторожностью. Загрязнение атмосферы, в свою очередь порождает такие проблемы, как парниковый эффект и потепление климата, истощение озонового слоя, закисление природных сред.

Парниковый эффект. Ежегодно в атмосферу выбрасывается 1,5 млрд. т аэрозолей (пыль, дым, туман), миллиарды тонн CO_2 и CO. Углекислый газ пропускает к Земле тепло Солнца, но хуже пропускает в космос тепло Земли. Аналогично влияние метана, который также выбрасывается в атмосферу. Результат – повышение температуры на Земле (потепление). За последние 100 лет оно составило 0,5 – 0,6^{o}C. Это приводит к усилению процессов опустынивания и повышению уровня Мирового океана.

До конца роль техногенной деятельности человека в повышении температуры на Земле не выяснена. Многие ученые считают, что это естественный процесс, связанный с активностью Солнца и другими космологическими факторами.

3. *Закисление природных сред.* Выбрасываемые в атмосферу диоксиды серы и азота доокисляются в атмосфере и, растворяясь в воде, образуют серную и азотную кислоты, выпадая затем на землю с дождем, снегом, туманом. Кислотные дожди губительны для растений, лесов и рыбных водоемов. Попадая на почву, они вызывают повышение ее кислотности, что нарушает жизнедеятельность микроорганизмов. Кислотные свойства среды определяются ионами водородов. Чем больше концентрация водородных ионов в растворе, тем выше его кислотность. Для выражения концентрации ионов водорода используют единицы водородного показателя, или pH. Шкала pH содержит величины от 0 (крайне высокая кислотность) через 7 (нейтральная среда) до 14 (крайне сильная щелочность).

Кислотные дожди угнетают растительность, снижают прирост леса и урожайность сельскохозяйственных культур, являются причиной закисления озер, что приводит к гибели икры, мальков, планктона, водорослей и рыб. Отрицательные последствия кислотных дождей зафиксированы в США, Европе, Канаде, России, на Украине, в Белоруссии и других странах.

4. *Истощение озонового слоя.* Как было сказано ранее, озоновый слой находится на высоте 20 – 25 км над поверхностью Земли и защищает нас от губительного ультрафиолетового излучения Солнца. В последние годы наблюдается циклический процесс снижения концентрации озона в приполярных областях (вначале над Антарктидой, а затем и в северном полушарии). Это явление получило название «озоновых дыр». Оно носит сезонный характер, до сих пор нет четкого описания его механизма. Главными «виновниками» разрушения озонового слоя на сегодняшний день считаются хлорфторуглероды, которые используются в холодильной промышленности (фреон) и в производстве аэрозолей. Они разлагаются с выделением атомов хлора, которые ускоряют превращение озона в молекулярный кислород O_2.

Однако ряд ученых продолжают настаивать на естественном происхождении «озоновой дыры». Причины ее возникновения они видят в естественной изменчивости озоносферы, циклической активности Солнца, процессах дегазации Земли и др. Истощение озонового слоя приводит к более высоким уровням ультрафиолетового излучения на поверхности Земли, что способствует увеличению случаев заболеваний раком кожи, снижению продуктивности сельскохозяйственных культур, замедлению процесса фотосинтеза в растениях и др.

5. *Истощение ресурсов.* Среди разнообразных ресурсов нашей планеты в рамках этой лекции отметим леса – одно из величайших богатств Земли. На протяжении последних 50 лет наблюдается уменьшение площади лесов на 1-

2% ежегодно, а за последние 200 лет их количество уменьшилось вдвое. Особенно быстро идет разрушение тропических лесов, в которых сосредоточено до 60% существующих видов растений и животных. Этот процесс чрезвычайно опасен еще и потому, что тропические леса Амазонки, Юго-Восточной Азии, а также леса Сибири называют легкими планеты – настолько велик их вклад в образование атмосферного кислорода.

Истощение грозит и водным ресурсам планеты. Потребление воды постоянно растет, однако использование и охрана водных ресурсов далеки от оптимальных решений. Так, большой отбор воды на орошение из рек Средней Азии привел к катастрофе Аральского моря. Соль со дна высохшего моря разносится ветром на сотни километров, вызывая засоление почв. За последние годы высохли сотни естественных водоемов Приаралья. Подобные проблемы существуют и на других территориях. Беспокойство вызывает загрязнение водоемов сточными водами – отходами промышленных предприятий. Из-за аварий танкеров и нефтепроводов в окружающую среду ежегодно попадает более 5 млн. тонн нефти. Нефтяные пленки, кроме прямого вреда, замедляют обмен гидросферы и атмосферы, что приводит к гибели жизни в океане.

Несовершенство сельскохозяйственной технологии ведет к сокращению площадей плодородных земель. Распаханный плодородный слой смывается сточными водами и сильно развеивается ветром, если вспашка произведена с переворотом пласта. Распашка обширных степных земель в СССР и США стала причиной пыльных бурь и гибели миллионов гектаров плодородных земель.

Огромные отрицательные последствия для окружающей среды связаны с военной активностью. Здесь сказывается разрушительное влияние как непосредственно военных действий, так и гонки вооружений, сопряженной с изготовлением и хранением химически, биологически и энергетически опасных веществ.

6. Загрязнение почвы. Почва — рыхлый поверхностный слой земной коры, образовавшийся в результате длительного воздействия на литосферу атмосферы, воды, животных и растений. По распространенности и токсикологическому воздействию различается загрязнение почв неорганическими и органическими токсикантами. В группе *неорганических токсикантов* особое место занимают тяжелые металлы, к которым условно относят химические элементы с атомной массой более 50. Считается, что среди химических элементов тяжелые металлы являются наиболее токсичными, так как обладают большим сродством с фи-

зиологически важными органическими соединениями, способны к медленному накоплению в живых организмах, вызывают отрицательное воздействие на рост и развитие. Например, избыточное количество марганца, меди, хрома, свинца, никеля и других элементов, содержащихся в почвах вблизи крупных промышленных предприятий, снижает урожайность зерновых на 20-30%, картофеля — на 47%, бобовых — на 40%. Поэтому борьба с выбросами промышленных предприятий является одновременно способом борьбы за плодородие почв. Основными *органическими* загрязнителями почвы являются бензапирен, полихлорированные бифенилы, хлорорганические пестициды и нефтепродукты.

Следует отметить, что почвы вокруг больших городов и крупных предприятий цветной и черной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, машиностроения, ТЭЦ на расстоянии в несколько десятков километров загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами, соединениями серы, свинца и другими токсичными веществами, которые в совокупности с бытовыми отходами существенно влияют на химический состав почвы, вызывая ухудшение ее качества. Также в почве присутствуют канцерогенные вещества, вызывающие опухолевые заболевания у живых организмов, в том числе раковые. Основными источниками загрязнения почвы канцерогенными веществами являются выхлопы автотранспорта, выбросы предприятий, продукты нефтепереработки.

К особо опасным последствиям влияния человека на почвы следует отнести эрозию, загрязнение химическими веществами, засоление, заболачивание, изъятие почв под различные сооружения. Под *эрозией* почв понимается разрушение и снос верхних, наиболее плодородных горизонтов и подстилающих пород ветром (ветровая эрозия) или потоками воды (водная эрозия). Эрозия — это естественный процесс, существующий в природе, который протекает очень медленно, поэтому разрушение и потери почвы от выдувания и смыва уравновешиваются процессами почвообразования. Однако наряду с естественной, или геологической, эрозией существует ускоренная (разрушительная), возникающая под влиянием антропогенной деятельности. Отрицательное влияние на почву оказывают пестициды. Они вызывают изменения в экосистеме, действуя на все живые организмы, в то время как используются для уничтожения весьма ограниченного числа видов. В итоге наблюдается интоксикация огромного числа других биологических видов вплоть до их исчезновения. Среди пестицидов наибольшую опасность представляют стойкие хлорорганические соединения, которые сохраняются в почвах в течение многих лет и в результате биологическо-

го накопления могут стать опасными для жизни многих организмов, так как обладают мутагенными и канцерогенными свойствами.

7. Загрязнение атмосферного воздуха. Атмосферный воздух — это смесь газов, из которых состоит атмосфера Земли. Основными составными частями атмосферы являются: азот, кислород, аргон и углекислый газ. Кроме аргона в малых концентрациях содержатся другие инертные газы. В атмосферном воздухе всегда присутствуют пары воды и твердые частицы — пыль.

Загрязнение атмосферного воздуха — это поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха. Оно может быть естественным (природным) и антропогенным (техногенным). Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами: вулканической деятельностью, ветровой эрозией, дымом от лесных пожаров, массовым цветением растений и др. Антропогенное загрязнение связано с выбросом загрязняющих веществ в результате деятельности человека. По масштабам оно значительно превосходит природное и может быть местным, которое характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ на небольших территориях, региональным — когда под воздействие попадают большие пространства планеты, и глобальным - связано с изменениями во всей атмосфере. Степень загрязнения атмосферного воздуха зависит от количества выбросов вредных веществ и их химического состава, от высоты, на которой осуществляются выбросы, от климатических условий, определяющих перенос, рассеивайте и превращение выбрасываемых веществ.

Особое место среди источников загрязнения атмосферы занимает химическая промышленность. Она поставляет диоксид серы, сероводород, оксиды азота, углеводороды, галогены и другие вещества, которые могут вступать в химические реакции друг с другом, образуя высокотоксичные соединения. Вместе с туманом и некоторыми другими природными явлениями в местах повышенной концентрации химических веществ возникает *фотохимический смог.* Он образуется при интенсивном воздействии солнечной радиации на воздух, насыщенный выхлопными газами автомобилей. При безветрии в воздухе идут сложные реакции с образованием новых высокотоксичных загрязнителей — фотооксидантов, которые раздражают слизистые оболочки желудочно-кишечного тракта, легких и органов зрения. В некоторых городах, расположенных в низинах, в связи с быстрым увеличением автотранспортных средств вероятность образования фотохимического смога весьма велика.

Повышенное содержание в атмосферном воздухе взвешенных веществ может привести к некоторому увеличению смертности населения (главным образом от болезней органов дыхания), а загрязнение атмосферного воздуха бензапиреном определяет высокую канцерогенную опасность атмосферного воздуха в городах, где расположены алюминиевые, сталеплавильные производства и нефтеперерабатывающие заводы. Во многих городах обнаружено превышение в воздухе концентрации фенола, диоксида азота, аммиака, стирола и др. Необходимо отметить, что все проанализированные загрязняющие вещества воздуха входят в состав автотранспортных выбросов, которые составляют более 75% общего валового выброса вредных веществ в атмосферу.

8. Загрязнение гидросферы. Вода — комплексный природный ресурс, состоящий из вод Мирового океана (94%), подземных вод (4%), льда и снега (2%), воды рек, озер и болот (0,4%). Водные пространства занимают большую часть поверхности земного шара: акватория Мирового океана составляет 70,8%, а на долю суши приходится лишь 29,2% поверхности Земли. Масштабная эксплуатация Мирового океана оказывает сильное воздействие на его экосистему. Однако имеются мощные внешние источники загрязнения — атмосферные потоки и материковый сток. В результате на сегодняшний день можно констатировать наличие загрязняющих веществ не только в зонах, прилегающих к материкам, и в районах интенсивного судоходства, но и в открытых частях океанов, включая Арктику и Антарктику. Интенсивное развитие промышленности, транспорта, перенаселение ряда регионов планеты привело к значительному загрязнению гидросферы. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 80% всех инфекционных заболеваний в мире связано с неудовлетворительным качеством питьевой воды и нарушением санитарно-гигиенических норм водоснабжения. По экспертным оценкам, до 80% всех химических соединений, поступающих во внешнюю среду, попадают в водоисточники.

Наиболее интенсивному антропогенному воздействию подвергаются воды суши. Однако загрязнению подвержены не только поверхностные воды, но и подземные, которые загрязняются нефтяными промыслами и предприятиями горнодобывающей промышленности шлаконакопителями и отвалами металлургических заводов, хранилищами химических отходов и удобрений, свалками, животноводческими комплексами, канализационными стоками населенных пунктов. Из загрязняющих воды веществ преобладают нефтепродукты, тяжелые металлы (медь, кадмий, свинец, цинк, ртуть, никель), фенолы, хлориды, сульфаты, соединения азота.

Основными источниками загрязнения гидросферы являются: хозяйственно-бытовые сточные воды, промышленные сточные воды, водный транспорт, сельскохозяйственные поля и крупные животноводческие фермы, утечки нефти и нефтепродуктов, сток с территорий населенных пунктов и промышленных площадок, дренажные воды с орошаемых земель. Основными видами загрязнений гидросферы считаются: механическое, физическое, химическое, органическое, биологическое, тепловое, радиоактивное. К наиболее существенным загрязнениям гидросферы в 2005 г. относится авария, произошедшая 13 ноября на химическом заводе в КНР, в результате которой в р. Сунгари (приток р. Амур) было сброшено 100 т бензола и нитробензола. Возникла реальная угроза загрязнения р. Амур — источника водоснабжения городов Хабаровска, Амурска, Комсомольска-на-Амуре.

9. Проблема утилизации отходов. Отходы — неиспользуемые остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий и продуктов, образующиеся в процессе производства продукции или ее потребления и утратившие свои потребительские свойства. Наиболее серьезные экологические проблемы связаны с опасными отходами, содержащими в своем составе вещества, которые обладают одним из опасных свойств (токсичность, взрывчатость, инфекционность, пожароопасность и т. д.) и присутствуют в количестве, опасном для здоровья людей и окружающей природной среды. Выделяют четыре класса опасности отходов: первый — вещества (отходы) чрезвычайно опасные, второй — вещества (отходы) высоко опасные, третий — умеренно опасные, четвертый — малоопасные.

Отходы являются источником загрязнения атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почв и растительности. Первоначально решение проблемы отходов виделось преимущественно в их уничтожении — закапывании или сжигании, но с увеличением загрязнения окружающей среды на первый план вышли экологически более приемлемые меры устранения отходов — их сортировка и повторное использование, то есть *рециклинг*, а также использование малоотходных технологий. Малоотходным считается такое производство, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами, при этом часть сырья и материалов переходит в отходы, которые направляются на переработку или захоронение. Минимизация отходов в различных отраслях промышленности может быть достигнута следующими способами: усовершенствованием технологических процессов в направлении сокращения количества образующихся отходов; рециклизацией отходов, предпочтительно в процессе их образования, пе-

реработкой отходов в полезные побочные продукты; снижением объемов и токсичности отходов для облегчения последующего удаления и переработки.

В настоящее время биосфера стала утрачивать свои компенсационные свойства и не успевает залечивать раны, наносимые ей. Выход из экологического кризиса видится в реализации понятия «ноосфера», введенного В.И. Вернадским для обозначения биосферы, преобразованной трудом человека и измененной научной мыслью. Главные компоненты ноосферы – это человечество, производство и Природа, составляющие единую систему, так как человечество не может отказаться от научно-технического прогресса и вернуться в первобытное состояние. Общий подход к решению экологических проблем – достижение сбалансированного развития человечества путем реализации программ по предотвращению экологических катастроф. К таким программам можно отнести сдерживание роста населения, развитие новых малоотходных технологий производства, поиск новых, более «чистых» источников энергии и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Современная наука – это наука, связанная с квантово-релятивистской картиной мира. Почти по всем своим характеристикам она отличается от классической науки, поэтому современную науку иначе называют неклассической наукой. Как качественно новое состояние науки она имеет свои особенности.

1. Отказ от признания классической механики в качестве ведущей науки, замена ее квантово-релятивистскими теориями привели к разрушению классической модели мира-механизма. Ее сменила модель мира, основанная на идеях всеобщей связи, изменчивости и развития. Механистичность и метафизичность классической науки сменились новыми диалектическими установками:

- классический механический детерминизм, абсолютно исключающий элемент случайного из картины мира, сменился современным вероятностным детерминизмом, предполагающим вариативность картины мира;

- пассивная роль наблюдателя и экспериментатора в классической науке сменилась новым деятельностным подходом, признающим непременное влияние самого исследователя, приборов и условий на проводимый эксперимент и полученные в ходе него результаты;

- стремление найти конечную материальную первооснову мира сменилось убеждением в принципиальной невозможности сделать это, представлением о неисчерпаемости материи вглубь;

- новый подход к пониманию природы познавательной деятельности основывается на признании активности исследователя, не просто являющегося зеркалом действительности, но действенно формирующего ее образ;

- научное знание более не понимается как абсолютно достоверное, но только как относительно истинное, существующее во множестве теорий, содержащих элементы объективно-истинного знания, что разрушает классический идеал точного и строгого (количественно неограниченно детализируемого) знания, обусловливая неточность и нестрогость современной науки.

2. Картина постоянно изменяющейся природы преломляется в новых исследовательских установках:

- отказ от изоляции предмета от окружающих воздействий, что было свойственно классической науке;

- признание зависимости свойств предмета от конкретной ситуации, в которой он находится;

- системно-целостная оценка поведения предмета, которое признается обусловленным как логикой внутреннего изменения, так и формами взаимодействия с другими предметами;

- динамизм – переход от исследования равновесных структурных организаций к анализу неравновесных, нестационарных структур, открытых систем с обратной связью;

- антиэлементаризм – отказ от стремления выделить элементарные составляющие сложных структур, системный анализ динамически действующих открытых неравновесных систем.

3. Усиление математизации современной науки, сращивание фундаментальных и прикладных исследований, изучение крайне абстрактных, абсолютно неведомых ранее науке типов реальностей - реальностей потенциальных (квантовая механика) и виртуальных (физика высоких энергий), что привело к взаимопроникновению факта и теории, к невозможности отделения эмпирического от теоретического.

Современную науку отличает повышение уровня ее абстрактности, утрата наглядности, что является следствием математизации науки, возможности оперирования высокоабстрактными структурами, лишенными наглядных прообразов.

4. Развитие биосферного класса наук, переход от антропоцентризма к биосфероцентризму. В основе биосферных наук лежит естественноисторическая концепция, идея всеобщей связи в природе. Жизнь и живое понимаются в них как существенный элемент мира, действенно формирующий этот мир, создавший его в нынешнем виде.

Развитие концепции самоорганизации материи доказывают неслучайность появления Жизни и Разума во Вселенной; это на новом уровне возвращает нас к проблеме цели и смысла Вселенной.

Современная научная картина мира как целостная система представлений о мире, его общих свойствах и закономерностях, возникла в результате обобщения основных естественно-научных теорий. Основой для формирования научной картины мира является естествознание.

Современное естествознание представляет собой разветвленную область научного знания о природе, характеризующуюся одновременно идущими процессами научной дифференциации и создания синтетических дисциплин и ориентированную на интеграцию научных знаний. Каждая дисциплина естествознания видит в природе свой аспект изучения. Это многообразие нашло свое отражение в большом количестве концепций, посвященных практически всем

природным объектам, явлениям и процессам. Его отличают ясное понимание целостности природы, эволюционный подход к ее изучению и к осмыслению результатов исследований, интенсивно идущие процессы интеграции разных научных направлений. В то же время общее состояние знаний о природных объектах еще далеко до законченности, мир до конца не познан и многие природные явления еще не получили свое объяснение.

Усиливающая тенденция к интеграции естественных наук позволяет предположить, что в дальнейшем на какой-то более глубокой основе будут объединены все науки о неживой и живой природе. Естествознание, вероятно, будет выступать как единая и многогранная наука о природе.

ГЛОССАРИЙ

Абстрагирование — мысленное отвлечение от всех свойств, связей и отношений изучаемого объекта, которые считают несущественными.

Австралопитеки (буквально – южные обезьяны) – ископаемые человекообразные обезьяны, передвигавшиеся на двух ногах.

Автотрофы (фототрофы) – организмы, использующие лучистую энергию, преобразующие ее при помощи фотосинтеза.

Аддитивность – свойство, состоящее в том, что некоторая составная величина сводится к сумме всех частей.

Адроны – тяжелые частицы вещества (барионы, мезоны), состоящие из кварков.

Аксио́ма – утверждение, в определённых рамках (теории, концепции, дисциплины) принимаемое истинным без доказательств, которое в последующем служит «фундаментом» для построения доказательств.

Актуализм – метод научного познания, использующий знания современности для объяснения процессов, происходивших в прошлом.

Аллели – альтернативные формы одного гена.

Аллотропия – способность некоторых элементов существовать в виде различных простых веществ, отличающихся как по химическим, так и по физическим свойствам.

Анализ – метод научного познания, в основе которого лежит процедура мысленного или реального разделения объекта на составляющие его части и их отдельное изучение.

Античастица – у каждой частицы материи есть соответствующая античастица (электрон – позитрон и т.д.). При соударении частицы и античастицы происходит их аннигиляция, в результате которой выделяется энергия и рождаются другие частицы.

Антропный принцип – мы видим Вселенную такой, как она есть потому что, будь она другой, нас бы здесь не было и мы бы не могли ее наблюдать.

Антропогенный – вызванный человеческой деятельностью.

Антропоиды – человекообразные обезьяны, по другим источникам все двуногие.

Антропоморфизм – уподобление человеку, наделение человеческими свойствами предметов неживой природы, растений, животных, мифических существ.

Антропосоциогенез (антропогенез) – процесс исторического развития человека и общества.

Антропоцентризм – мировоззрение, принимающее в качестве исходного факта реальное существование человека.

Ассимиляция – поглощение, растворение, слияние.

Аттра́кторы – множество состояний (точнее – точек фазового пространства) динамической системы, к которым она стремится с течением времени.

Барионы – группа тяжелых элементарных частиц с полуцелым спином и массой не меньше массы протона: протоны, нейтроны, гипероны, барионные резонансы. Барионы (кроме протона) нестабильные частицы.

Биосфера – область активной жизни, охватывающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть почвы.

Био́та – совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, объединенных общей областью распространения.

Биоценоз – исторически сложившаяся совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих участок суши или водоёма и характеризующихся определёнными отношениями как между собой, так и с абиотическими факторами окружающей среды.

Бозоны – частицы с целым значением спина, которые подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна: гипотетический гравитон, фотон, мезоны и мезонные резонансы, а также античастицы всех перечисленных частиц.

Бозо́н Хи́ггса, – теоретически предсказанная элементарная частица, отвечает за массу элементарных частиц.

Валентность – мера реакционной способности в химии, способность присоединять или отдавать электроны с внешней орбиты.

Верификация – процесс установления истинности гипотезы или теории в результате их эмпирической проверки.

Ген – материальный носитель наследственной информации, совокупность которых родители передают потомкам во время размножения, участок молекулы ДНК, хранящий и передающий наследственную информацию.

Геном – это совокупность всех генов организма, которая характеризует вид.

Генотип – совокупность генов данного организма, который, в отличие от понятий генома характеризует особь.

Генофонд – совокупность генов популяции.

Гетеротрофы – организмы, использующие для жизнедеятельности в качестве энергии готовые органические вещества, накопленные другими живыми организмами (все животные, человек, некоторые растения).

Глюоны – кванты-переносчики сильного взаимодействия, относятся к бозе-частицам.

Гносеология (эпистемология) – теория познания.

Гомеоста́з – саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия.

Гомеостаз популяции – способность популяции поддерживать определённую численность своих особей длительное время.

Гоминиды – семейство отряда приматов. Включает людей современного типа, а также ископаемых предшественников.

Гомология – сходство структур или функций.

Гравитация – тяготение, притяжение в физическом смысле.

Гравитон – гипотетическая частица, квант – переносчик гравитационного взаимодействия, элементарная частица без электрического заряда со спином 2.

Движение – способ существования материи.

Деградация – разрушение, потеря организационных качеств, рассеивание энергии.

Дедукция – метод, противоположный индукции, от общего к частному; метод, объясняющий или предсказывающий факты на основе уже имеющейся теоретической конструкции.

Демография – наука о населении, динамике роста численности людей в социальном и географическом пространстве.

Деструктивный – разрушительный.

Детерминизм – учение о причинной обусловленности всех явлений.

Дивергенция – расхождение признаков и свойств у первоначально общих групп организмов.

Диверсификация – рост разнообразия.

Дилемма – выбор их двух альтернатив.

Дискретность – прерывность.

Диссимиляция – распад.

Диссипативная структура (система) – это открытая система, которая находится в устойчивом состоянии, возникающее в неравновесной среде при условии диссипации (рассеивания) энергии, которая поступает извне.

Дифракция – огибание физическими волнами различных препятствий.

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота, которая обеспечивает сохранение информации.

Догматизм – неизменность, неизменяемость, абсолютность суждений, утверждений.

Дуализм – равноправие и независимость двух начал (например, волновых и корпускулярных свойств в физике, материи и сознания в философии).

Жизнь – этап универсальной эволюции, сигнальная, активная форма существования и самовоспроизводства клеток, организма, популяций, биосферы.

Изомерия – явление, когда одной химической формуле органического соединения соответствуют разные соединения с разными физическими и химическими свойствами из-за разной пространственной структуры молекул этих соединений.

Изото́пы – разновидности атомов (и ядер) одного химического элемента с разным количеством нейтронов в ядре.

Инвариантность – неизменность, независимость от физических условий, или (в математическом смысле) неизменность какой-либо величины по отношению к некоторым преобразованиям.

Индукция – метод, связанный с движением мысли от данных опыта, фактов (полученных в наблюдении или эксперименте) к их обобщению в выводах, заключениях.

Инерциальные системы отсчета – системы отсчета в которых выполняется первый закон Ньютона (принцип инерции). Все другие системы отсчета называются неинерциальными.

Информация – в широком смысле абстрактное понятие, имеющее множество значений, в зависимости от контекста. В узком смысле этого слова – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления. В настоящее время не существует единого определения термина *информация*. Например, «информация» может трактоваться, как совокупность данных, зафиксированных на материальном носителе, сохранённых и распространённых во времени и пространстве.

Катаклизмы – катастрофы.

Квант – дискретная порция.

Кванты полей – переносчики взаимодействия: фотоны, гравитоны, бозоны и глюоны.

Кварки – элементарные фундаментальные частицы, имеющие электрический заряд, кратным *e*/3, не наблюдаются в свободном состоянии. Из кварков состоят адроны, в частности протоны и нейтроны.

Кибернетика – наука об управлении и информации.

Когерентность – согласованность, непротиворечивость.

Концепция – это совокупность основных идей, определенная трактовка, основная точка зрения на какое-либо явление или совокупность явлений.

Корреляция – соответствие.

Коэволю́ция – совместная эволюция видов, взаимодействующих в экосистеме. Изменения, затрагивающие какие-либо признаки особей одного вида, приводят к изменениям у другого или других видов.

Креационизм – учение о сотворении мира, жизни и сознания.

Латентный – скрытый, не имеющий пока явного выражения.

Лептоны – фундаментальные частицы с полуцелым спином: электрон и электронное нейтрино, мюон и мюонное нейтрино, τ – лептон и соответствующее нейтрино. Лептоны вместе с кварками относятся к фермионам – частицам, из которых состоит вещество и у которых, насколько это известно, отсутствует внутренняя структура.

Макромолекулы – "живые" молекулы: белки, углеводы и нуклеиновые кислоты.

Макроэволюция – эволюция больших групп (родов, семейств, отрядов или типов).

Мезон – сильно взаимодействующий бозон. В стандартной модели, мезоны – это составные (не элементарные) частицы, состоящие из четного числа кварков и антикварков.

Метаболизм – обмен веществ между организмом и средой.

Механицизм – объяснение сложных явлений жизни, общества, мышления по аналогии с механическими взаимодействиями.

Микроэволюция – эволюция в пределах локальных воспроизводящихся популяций, самый низкий уровень эволюции.

Мировоззрение – это система взглядов человека, определяющая его отношение к миру.

Молекула – это электронейтральная наименьшая совокупность атомов, образующих определенную структуру посредством химических связей. Молекула является наименьшей частицей, обладающей свойствами какого-либо вещества.

Мутация – внезапное изменение наследственности из-за искажения в структуре генов, условие изменчивости.

Нанотехнологии – процессы и объекты с характерной длиной менее 100 нм.

Научная теория – обобщенная система знаний, дающая целостное отображение закономерных и существенных связей в определенной области объективной реальности.

Негэнтропия – отрицательная энтропия, мера упорядоченности.

Нелинейность – свойство систем или процессов, заключающееся в отсутствии линейной зависимости одних параметров от других.

Неолит – новый каменный век, сменивший палеолит, от 11 до 5 тыс. лет назад. Развитие каменных орудий и изделий, появление земледелия и скотоводства.

Ноосфера – сфера разума.

Нуклеосинтез – формирование атомных ядер.

Нуклеотиды – соединения, из которых состоят многие биологически активные соединения и, в частности нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). Каждый нуклеотид построен из азотистого основания, углевода и остатка фосфорной кислоты.

Нуклоны – общее название протонов и нейтронов.

Онтогене́з – индивидуальное развитие организма от оплодотворения (при половом размножении) или от момента отделения от материнской особи (при бесполом размножении) до смерти.

Онтология – учение о бытии.

Открытая система – система, способная обмениваться с окружающей средой веществом и энергией.

Отражение – всеобщий атрибут (свойство) материи.

Палеолит – древний каменный век, около 1,75 млн лет назад – 10,5 тыс. лет. назад: эра хабилисов, архантропов и неоантропов (род гоминидов, к которому относятся и современные люди).

Панспермия – гипотеза возникновения жизни, считающая, что жизнь занесена на нашу планету извне, и основанная на предположении, что жизнь столь же вечна и повсеместна, как материя, и зародыши ее постоянно путешествуют по космосу.

Парадигма – господствующая в определенный исторический период научная картина мира и методология.

Популяция – совокупность особей одного вида.

Постулат – утверждение (суждение), принимаемое в рамках какой-либо научной теории за истинное, хотя и недоказуемое ее средствами, и поэтому играющее в ней роль аксиомы.

Прагматизм – концепция, считающая, что истинно то, что полезно.

Прокариоты – доядерные клетки: самые примитивные организмы, бактерии, сине-зеленые водоросли.

Редукционизм – научная парадигма, суть которой в том, что более сложные явления объясняются путем сведения (редукции) к более простым.

Редукция – сведение сложного к простому.

Релятивистский – относящийся к теории относительности А. Эйнштейна.

РНК – рибонуклеиновая кислота, принимающая участие в процессах генной экспрессии и биосинтеза белка.

Самоорганизация – процессы спонтанного упорядочивания (перехода от хаоса к порядку), образования и эволюции структур в открытых нелинейных средах.

Семантика – наука о значении знаков.

Симметрия – как философская категория означает процесс существования и становления тождественных моментов в определенных условиях и определенные отношения между различными и противоположными состояниями явлений мира.

Сингулярность – гипотетическое состояние Вселенной до Большого взрыва, точка с бесконечной плотностью.

Синергетика – междисциплинарное научное направление, изучающие общие и универсальные механизмы самоорганизации структур самой различной природы.

Синтез – метод научного познания, в основе которого лежит объединение выделенных анализом элементов.

Спекуляции – непроверяемые теоретические конструкции.

Стохастичность – случайность.

Субстрат – вещественная основа.

Табу – запрет, одна из первых форм нравственности (небиологические механизмы регуляции).

Трофический – принадлежащий к системе питания.

Фальсификация– процедура, устанавливающая ложность теории (гипотезы) в результате экспериментальной или теоретической проверки.

Фатализм – предопределенность событий, предписанность судьбы, финализм.

Феномен – явление.

Фенотип – совокупность внешних и внутренних признаков организма, приобретённых в результате индивидуального развития, присущих индивиду на определённой стадии развития.

Фермионы – частицы вещества, подчиняющиеся статистике Ферми-Дирака и имеют полуцелое значение спина (одна из квантовых характеристик элементарных частиц).

Филогенез – история развития биологического вида.

Флуктуация – случайное колебание, отклонение от средних значений.

Фотон – квант электромагнитного поля, частицы с нулевой массой покоя, участвует в электромагнитном взаимодействии.

Фотосинтез – превращение растениями и некоторыми микроорганизмами энергии Солнца в энергию химических связей макромолекул.

Футурология – наука о будущем.

Химический элемент – это определенный вид атомов, характеризующийся одинаковым зарядом ядра.

Хиральность (хиральная чистота) – фундаментальная характеристика живого, заключающаяся в том, что все белки живого на нашей планете построены только из левовращающих аминокислот, а нуклеиновые кислоты – из правовращающих сахаров, т.е. являются строго определенными изомерами.

Экстраполяция – распространение выводов, полученных при изучении одного предмета, на другой предмет.

Элементаризм – учение, согласно которому мир состоит из неделимых частиц.

Эмансипация – освобождение, независимость.

Эмпирический – основанный на опыте.

Энтропия – функция состояния системы, противоположная ее упорядоченности, мера хаоса, беспорядка, дезорганизации систем.

Эукариоты – клетки, имеющие ядро и более сложную, чем у прокариот мембрану.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брайн, М. Большой взрыв! Полная история Вселенной / М. Брайн, М. Патрик, Л. Крис. – М.: Никола–Пресс, 2007.– 192 с.
2. Бриллюэн, Л. Новый взгляд на теорию относительности / Л. Бриллюэн.– М., Мир: – 1972. – 161 с.
3. Быков, В.В. Методы науки / В.В. Быков. – М.: Наука, 1983. – 227 с.
4. Вернадский, В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – М., Наука, 1965. – 129 с.
5. Вернадский, В.И. Живое вещество и биосфера / В.И. Вернадский.– М.: Наука, 1994.– 56 с.
6. Винер, Н. Кибернетика / Н. Винер.– М., Советское радио. – 1968.– 115 с.
7. Водопьянов, П.А. Устойчивость и динамика биосферы / П.А. Водопьянов.– Минск: Наука и техника, 1981. – 126 с.
8. Войткевич, Г.В. Химическая эволюция солнечной системы / Г.В. Войткевич.– М., Наука, 1979. – 167 с.
9. Войткевич, Г.В. Происхождение и химическая эволюция Земли / Г.В. Войткевич.– М., Наука, 1983. – 191 с.
10. Воронцов, Н.Н. Синтетическая теория эволюции: ее источники, основные постулаты и нерешенные проблемы / Н.Н. Воронцов // Журн. Всес. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева. – 1980. Т.25, №3. – С. 293–312.
11. Грант, Д. Эволюционный процесс. Критический обзор эволюционной теории / Д. Грант.– М., Наука, 1991. – 432 с.
12. Грин, Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории / Б. Грин; пер. с англ. под общ. ред. В.О. Малышенко. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
13. Дэвис П. Случайная Вселенная / П. Дэвис. – М., Мир, 1985.– 256 с.
14. Джеймс, Т. Стандартная модель / Т. Джеймс // Природа науки. 200 законов мироздания [Электронный ресурс]. 1961. – Режим доступа: http://elementy.ru/trefil/85.html. – Дата доступа: 12.06.2009.
15. Дмитриев, А.Н. Техногенное воздействие на природные процессы Земли. Проблемы глобальной экологии / А.Н. Дмитриев, А.В. Шитов. – Новосибирск: Издательский дом "Манускрипт", 2003. – 140 с.
16. Дмитриев, Г.А. Учение о симметрии как общий метод познания закономерностей развития Земли / Г.А. Дмитриев, М.С. Потапов. – М., Наука, 1971. – 59 с.
17. Дубнищева, Т.Я. Концепции современного естествознания / Т.Я. Дубнищева. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. — 608 с.

18. Завадский, К.М. Эволюция эволюции / К.М. Завадский, Э.И. Колчинский. – Л., 1977. – 211 с.
19. Зельдович, Я.Б. Строение и эволюция вселенной / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков. – М., Наука, 1975. – 123 с.
20. Зельманов, А.Л. Бесконечность и Вселенная / А.Л. Зельманов // Многообразие материального мира и проблемы бесконечности Вселенной / А.Л. Зельманов.– М., Наука, 1969. – С. 203 –289.
21. Кадацкий, В. Б. К вопросу о взаимоотношении общества и природы (междисциплинарный синтез): учеб.–метод, пособие / В.Б. Кадацкий. – Мн.: РИВШ, 2006. – 36 с.
22. Казначеев, В.П. Учение Вернадского В.И. о биосфере и ноосфере / В.П. Казначеев. – Новосибирск, 1989. – 177 с.
23. Казначеев, В.П. Феномен человека: космические и земные истоки / В.П. Казначеев. – Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1991.–128 с.
24. Касперович, Г.И. Концепции современного естествознания: учебное пособие / Г.И. Касперович. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2004. – 405 с.
25. Кемпфер, Ф. Путь в современную физику / Ф. Кемпфер. – М.: Мир, 1972. – 129 с.
26. Концепции современного естествознания / М.И. Басаков [и др]; под общ. ред. М.И. Басаков. – Ростов н/Д: Феникс, 1997. – 236 с.
27. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / А.А. Горелов [и др.]; под общ. ред. А.А. Горелова. – М.: АСТРЕЛЬ, 2004.–384 с.
28. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / В.О. Голубинцев [и др]; под общ. ред. С.И. Самыгина. – Изд.10–е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008.– 412 с.
29. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / С.Х. Карпенкова [и др.]; под общ. ред. С.Х. Карпенкова.– 6–е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003.– 488с.
30. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / В.Н. Лавриненко [и др.]; под общ. ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова.– 3–е изд., перераб. и доп. – М.:ЮНИТИ–ДАНА, 2003.– 317 с.
31. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / Л.А. Михайлов [и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. – СПб: «Питер», 2008. – 335с.

32. Кочергин, А.Н. Научное познание: формы, методы, подходы / А.Н. Кочергин. – М.: Наука, 1991.– 223 с.
33. Кузин, Л. Т. Основы кибернетики / Л.Т. Кузин. – М., Наука, 1973. – 98 с.
34. Кузнецов, В.И. Естествознание / В.И. Кузнецов, Г.М. Идлис, В.Н. Гутина. – М.: Агар, 1996. – 384 с.
35. Кузнецова, Л.Ф. Картина мира и ее функция в научном познании / Л.Ф. Кузнецова. – Минск, 1994. – 121 с.
36. Куражковский, Ю.Н. Проблемы всемирной экологической катастрофы и путь к устойчивому развитию человечества / Ю.Н. Куражковский. – Ростов н/Д, Изд. Ростгор, 1998. – 256 с.
37. Лукьянец, В. Г. Интеграционные тенденции в развитии естественно–научных, и гуманитарных наук: учеб.–метод. пособие / В.Г. Лукьянец. – Мн.: РИВШ, 2006. – 70 с. – (Серия «Концепция современного естествознания»).
38. Линде, А.Д. Многоликая Вселенная / А.Д. Линде // Элементы: научно – популярная библиотека [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://elementy.ru/lib/25560.html. – Дата доступа: 02.09.2009.
39. Марков, А.В. Происхождение и эволюция человека. Обзор достижений палеоантропологии, сравнительной генетики и эволюционной психологии / А.В. Марков // Проблемы эволюции [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://evolbiol.ru/markov_anthropogenes.htm. – Дата доступа 25.07.2009.
40. Медников, Б.М. Аксиомы биологии / Б.М. Медников. – М.: Знание, 1986. – 162 с.
41. Моисеев, Н.Н. Универсальный эволюционизм (позиция и следствие) / Н.Н. Моисеев //Вопросы философии. – 1991. – № 3. – С.3-28.
42. Моисеев, Н.Н. Коэволюция природы и общества. Пути ноосферогенеза / Н.Н. Моисеев // Экология и жизнь. – 1997. – № 2. – С.2-36.
43. Мычко, Д.И. Химия и возможности устойчивого развития в эпоху глобализации: учеб.– метод, пособие / Д.И. Мычко. – Мн.: РИВШ, 2006. – 28 с. – (Серия «Концепция современного естествознания»).
44. Найдыш, В.М. Концепции современного естествознания: учебн. пособие / В.М. Найдыш. – М.: Гардарики, 2002. – 476с.
45. Новиков, И.Д. Черные дыры и Вселенная / И.Д. Новиков. – М., Наука, 1985 – 98 с.

46. Нудельман, Р. Кембрийский парадокс / Р. Нудельман // Библиотека по эволюции [Электронный ресурс]. – 1988. – Режим доступа: http://evolbiol.ru/paperlist.htm – Дата доступа: 12.01.2009.
47. Опарин, А.В. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие / А.В. Опа–рин. – М., Наука, 1968. –
48. Павлова, О. С. Развитие биологических концепций: учеб.–метод. пособие/ О.С.Павлова. – Мн.: РИВШ, 2006. – 71 с. – (Серия «Концепция современного естествознания»).
49. Потапов, И.И. Геология и экология сегодня: учебн. пособие / И.И. Потапов. – Ростов на Дону/Новочеркасск, 1999. –
50. Пригожий, И. Порядок из хаоса / И. Пригожий, И. Стенгерс. – М., Прогресс, 1986. – 112 с.
51. Пригожин, И. Время, хаос, квант / И. Пригожий, И. Стенгерс. – М., Прогресс, 1994. – 154 с.
52. Рубаков, В.А. Темная материя и темная энергия во Вселенной / В.А. Рубаков // Элементы: научно – популярная библиотека. [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: http://elementy.ru/lib/25560.html. – Дата доступа: 02.09.2009.
53. Рузавин, Г.И. Концепции современного естествознания / Г.И. Рузавин. – М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1997. – 288 с.
54. Рыбалкина, М.Н. Нанотехнологии для всех / М.Н. Рыбалкина. – М.: Наука, 2005. – 438 с.
55. Савельев, И.В. Курс общей физики: в 3 т. / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1984 г. – 3 т.
56. Свирежев, Ю.М. Коэволюция человека и биосфера / Ю.М. Свирежев / Онтогенез, эволюция, биосфера // Ю.М. Свирежев. – М., Наука,1989. – С. 254–264.
57. Стивен, В. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной / В. Стивен.– М.: Энергоиздат, 1981. – 164 с.
58. Стражев, В.И. К тайнам Вселенной: учеб.– метод. пособие / В.И. Стражев. – Минск: РИВШ, 2006. – 160 с. – (Серия «Концепция современного естествознания»).
59. Толкачев, Е. А. Современная концепция естествознания: общественное понимание: учеб.– метод. пособие / Е.А.Толкачев, В.И. Дынич. – Мн.: РИВШ, 2006.–144 с. – (Серия «Концепция современного естествознания»).

60. Эйнштейна, А. О науке / А.Эйнштейна // Российская наука в интернете [Электронный ресурс]. – 1950. – Режим доступа: http://www.rusnauka.narod.ru – Дата доступа 20.08.2009.
61. Франциско, Х. А Эволюция / Х.А. Франциско / Механизмы эволюции // Х.А. Франциско. – М.: Мир, 1981. – С.33–65.
62. Хакен, Г. Тайны природы. Синергетика – наука о взаимодействии / Г. Хакен. – М., Ижевск, 2003. – 320 стр.
63. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 363 с.
64. Хасанов, И.А. Антропосоциогенез и происхождение сознания: некоторые методологические вопросы / И.А. Хасанов. – М.: ИПК госслужбы, 2006. – 44 с.
65. Хокинг, С. Кратчайшая история времени / С. Хокинг, Л. Млодинов. – СПб.: Амфора. ТИД Амфора, 2006. – 180 с.
66. Хокинг, С. Черные дыры и молодые вселенные / С. Хокинг. – СПб.: Амфора. ТИД Амфора, 2006. – 189 с.
67. Хоффман, Р. Такой одинаковый и разный мир / Р. Хоффман. – М.: Мир, 2001. – 294 с.
68. Чипак, Ю.А. Экзамен по курсу "Концепции современного естествознания" / Ю.А. Чипак [и др]; под общ. ред. Ю.А. Чипак. – М.: Просвещение, 2004. – 112 с.
69. Шкловский, И.С. Существуют ли внеземные цивилизации? / И.С. Шкловский // Земля и Вселенная. – 1985. – № 3. – С. 41–68.
70. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд. иностр. лит., 1963. – 830 с.
71. Эйнштейн, А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М., Наука, 1965 – 125 с.
72. Эрнст, М. Эволюция / М. Эрнст / Эволюция // М. Эрнст. – М.: Мир, 1981. – С.11–31.
73. Юсфин, Ю.С. Промышленность и окружающая среда / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: Академкнига, 2002. – 469 с.
74. Яблоков, А.В. Эволюционное учение / А.В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. – М.: Высшая школа, 1998. – 214 с.