

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российский государственный профессионально-педагогический университет
Уральское отделение Российской академии образования
Академия профессионального образования

Д. А. Скрябин

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением по профессионально-педагогическому образованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальностям 030500.04 Профессиональное обучение (дизайн) и 030500.18 Профессиональное обучение (экономика и управление)

Екатеринбург
2004

УДК 5(075.8)

ББК Бя 73–1

С 45

Скрябин Д. А. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие.
Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2004. 104 с.
ISBN 5-8050-0167-5

В учебном пособии освещаются важнейшие концепции современного естествознания, имеющие важное значение для формирования научного мировоззрения и общей культуры студентов. Пособие подготовлено в соответствии с Государственным стандартом высшего профессионального образования.

Предназначено для студентов гуманитарных специальностей вузов, а также может быть полезно для широкого круга читателей, интересующихся формированием современной научной картины мира.

Научный редактор д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Борухович

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. П. С. Попель (Уральский государственный педагогический университет); д-р физ.-мат. наук, проф. Г. К. Смолин (Российский государственный профессионально-педагогический университет)

ISBN 5-8050-0167-5

© Российский государственный
профессионально-педагогический
университет, 2004

© Скрябин Д. А., 2004

Оглавление

Введение	5
1. Естественнаучная и гуманитарная культуры.....	7
1.1. Единство и взаимосвязь естественнонаучных и гуманитарных наук (культур)	7
1.2. Основные характерные черты естествознания	10
1.3. Структуры естественнонаучного познания.....	11
2. Этапы развития естественнонаучной картины мира.....	13
2.1. Картина мира античных философов	13
2.3. Современная картина мира	23
2.4. Иерархия материального мира	26
3. Строение материи	31
3.1. Фундаментальные взаимодействия.....	31
3.2. Законы сохранения и превращения	35
3.3. Особенности микромира	37
3.3.1. Радиоактивность.....	38
3.3.2. Корпускулярно-волновой дуализм микромира	41
4. Процессы в веществе.....	47
4.1. Методы описания систем и процессов	47
4.1.1. Термодинамический метод описания систем и процессов	48
4.1.2. Первое начало термодинамики	50
4.1.3. Второе начало термодинамики	50
4.1.4. Статистическая природа второго начала термодинамики	52
4.2. Устойчивость, неустойчивость, бифуркация	55
5. Биологический уровень жизни.....	63
5.1. Основные понятия.....	63
5.2. Предмет биологии, ее структура и этапы развития. Критерий жизни	64
5.3. Структурные уровни живого	66
5.3.1. Молекулярно-генетический уровень	67
5.3.2. Клеточный уровень живого	70
5.3.3. Организменный уровень живых систем.....	71

5.3.4. Популяционно-видовой уровень	73
5.3.5. Биоценоз, биогеоценоз	74
5.3.6. Биосферный уровень. Ноосфера	75
5.4. Проблемы происхождения жизни	79
6. Науки о Земле	83
6.1. Образование планет	83
6.1.1. Планеты земной группы	87
6.1.2. Планеты-гиганты	88
6.2. Строение Земли	89
6.3. Водная оболочка Земли (гидросфера)	92
6.4. Атмосфера	95
6.5. Климат Земли	97
Заключение	101
Библиографический список	103

Введение

Научное естествознание, будучи сложнейшей совокупностью наук о природе, является одним из важнейших достижений человечества. Выработанные в процессе длительной эволюции способы, методы и приемы познания позволяют овладеть современной естественнонаучной картиной мира, синтезировать в единое целое так называемые гуманитарную и естественнонаучную культуры.

Усвоение, даже в общем виде, основных принципов и методов исследования, применяемых в современном естествознании, дает возможность формировать у будущих специалистов естественнонаучный способ мышления, целостное мировоззрение, что поможет им лучше овладеть профессией.

Многие исследования в области современного естествознания приобретают значение общенаучных и широко применяются в общественных и гуманитарных отраслях знания. Основы универсального эволюционизма, системного метода, синергетики, антропогенного и других принципов исследования способствуют более эффективному их изучению.

Картина мира, рисуемая современным естествознанием, необыкновенно сложна и проста одновременно. Сложна, так как включает в себя не согласующиеся со здравым смыслом классических научных представлений идеи корпускулярно-волнового дуализма квантовых объектов, внутренней структуры вакуума, виртуальных частиц и др. В то же время эта картина проста по ведущим построениям и организации современного научного знания (системность, глобальный эволюционизм, самоорганизация, историчность).

Так, эффект системности обнаруживается в появлении у целостной системы новых свойств, возникающих в результате взаимодействия ее элементов (атомы водорода и кислорода после объединения образуют молекулы воды с совершенно иными свойствами). Другой важной характеристикой системной организации является иерархичность, субординация – последовательное включение систем нижних уровней в системы все более высоких уровней.

Системный способ объединения элементов выражает их принципиальное единство: каждый элемент любой системы связан со всеми элементами всех возможных систем (например, человек – биосфера – планета Земля – Солнечная система – галактика и т. д.). Именно такой единый ха-

рактик демонстрирует нам окружающий мир. В связи с этим особую актуальность приобретает старая философская проблема соотношения части и целого.

Попытки понять целое путем сведения его к анализу частей оказываются несостоятельными, так как игнорируется синтез, который играет решающую роль в возникновении системы. Свойства любого сложного вещества отличаются от свойств составляющих его простых веществ или элементов. Таким образом, всякая система характеризуется особыми целостными, интегральными свойствами, которых нет у ее компонентов. Наиболее актуальными эти вопросы становятся при рассмотрении социальных систем (социумов), очень важную роль играет и внутренний (духовный) мир человека.

Понимание места и роли человека в целостном процессе развития общества, влияния общества на разных уровнях своей иерархии на формирование самого человека, учет особенностей всех взаимосвязей, использование современных научных методов позволят молодым специалистам правильно и продуктивно применять свои знания при решении профессиональных задач.

Поскольку современное естествознание, как и любая другая наука, носит плюралистический характер, постольку искать абсолютные истины и применять категорические суждения в науке – дело и бесполезное, и вредное. Естествознание стремится отразить объективные особенности развивающегося мира, незавершенность и открытость процесса решения проблем современности.

1. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ КУЛЬТУРЫ

1.1. Единство и взаимосвязь естественнонаучных и гуманитарных наук (культур)

Культура – одна из важнейших характеристик человеческой жизнедеятельности. Каждый индивид представляет собой сложную биосоциальную систему, существующую за счет взаимодействия с окружающей средой. Необходимые закономерные связи с окружающей средой определяют его потребности, которые важны для его нормального функционирования, жизнедеятельности и развития. Большинство потребностей человек удовлетворяет посредством труда.

Таким образом, под системой человеческой культуры можно понимать мир вещей, предметов, созданных человеком (его деятельностью, трудом) в ходе его исторического развития. Оставляя в стороне вопрос о сложности и неоднозначности понятия культуры, можно остановиться на одном из самых простых его определений. Культура – это совокупность созданных человеком материальных и духовных ценностей, а также сама человеческая способность эти ценности производить и использовать.

Как мы видим, понятие культуры очень широкое. Оно, по сути, охватывает бесконечное множество самых разнообразных вещей и процессов, связанных с деятельностью человека и ее результатами. Многообразную систему современной культуры в зависимости от целей деятельности принято подразделять на две большие и тесно связанные области – материальную (естественнонаучную) и духовную (гуманитарную) культуру [9].

Предметная область первой – чисто природные явления и свойства, связи и отношения вещей, «работающие» в мире человеческой культуры в виде естественных наук, технических изобретений и приспособлений, производственных отношений и т. д. Второй тип культуры (гуманитарный) охватывает область явлений, в которых представлены свойства, связи и отношения самих людей, как социальные, так и духовные (религия, мораль, право и т. д.).

Явления человеческого сознания, психики (мышление, знание, оценка, воля, чувства, переживания и т. д.) относятся к миру идеального, ду-

ховного. Сознание, духовное – это очень важное, но лишь одно из свойств сложной системы, которой является человек. Однако человек должен материально существовать для того, чтобы проявились его способности к производству идеальных, духовных вещей. Материальная жизнь людей – это область человеческой деятельности, которая связана с производством предметов, вещей, обеспечивающих само существование, жизнедеятельность человека и удовлетворяющих его потребности (пища, одежда, жилье и т. д.).

На протяжении человеческой истории многими поколениями создан колоссальный мир материальной культуры. Дома, улицы, заводы, фабрики, транспорт, коммуникационная инфраструктура, учреждения быта, снабжение продуктами питания, одеждой и др. – все это важнейшие показатели характера и уровня развития общества. По остаткам материальной культуры археологам удается достаточно точно определить этапы исторического развития, особенности обществ, государств, народов, этносов, цивилизаций.

Духовная культура связана с деятельностью, направленной на удовлетворение не материальных, а духовных потребностей личности, т. е. потребностей в развитии, совершенствовании внутреннего мира человека, его сознания, психологии, мышления, знаний, эмоций, переживаний и т. д. Существование духовных потребностей и отличает человека от животного. Эти потребности удовлетворяются в ходе не материального, а духовного производства, в процессе духовной деятельности.

Продуктами духовного производства являются идеи, понятия, представления, научные гипотезы, теории, художественные образы, моральные нормы и правовые законы, религиозные воззрения и др., которые воплощаются в своих особых материальных носителях. Такими носителями выступают язык, книги, произведения искусства, графики, чертежи и т. д.

Анализ системы духовной культуры как целого позволяет выделить следующие ее основные компоненты: политическое сознание, мораль, искусство, религию, философию, правосознание, науку. Каждый из этих компонентов имеет определенный предмет, свой способ отражения, выполняет в жизни общества конкретные социальные функции, содержит познавательные и оценочные моменты – систему знаний и систему оценок.

Наука является одним из важнейших компонентов материальной и духовной культуры. Ее особое место в духовной культуре определяется

значением познания в способе бытия человека в мире, в практике, материально-предметном преобразовании мира.

Наука представляет собой исторически сложившуюся систему познания объективных законов мира. Научное знание, полученное на основе проверенных практикой методов познания, выражается в различных формах: в понятиях, категориях, законах, гипотезах, теориях, научной картине мира и др. Оно дает возможность предвидения и преобразования действительности в интересах общества и человека.

Современная наука – сложная и многообразная система отдельных научных дисциплин, которых насчитывается несколько тысяч и которые можно объединить в две сферы: фундаментальные и прикладные науки.

Фундаментальные науки имеют целью познание объективных законов мира, существующих безотносительно к интересам и потребностям человека. К ним относятся математические науки, естественные (механика, астрономия, физика, химия, геология, география и т. д.), гуманитарные (психология, логика, лингвистика, филология и др.). Фундаментальные науки потому и называются фундаментальными, что своими выводами, результатами, теориями определяют содержание научной картины мира.

Прикладные науки нацелены на разработку способов применения полученных фундаментальными науками знаний об объективных законах мира для удовлетворения потребностей и интересов людей. К прикладным наукам относятся кибернетика, технические науки (прикладная механика, технология машин и механизмов, сопромат, металлургия, горное дело, электротехника, ядерная энергетика, космонавтика и др.), сельскохозяйственные, медицинские, педагогические науки. В прикладных науках фундаментальные знания приобретают практическое значение, используются для развития производительных сил общества, совершенствования предметной сферы человеческого бытия, материальной культуры.

Широко распространены представления о «двух культурах» в науке – естественнонаучной и гуманитарной. По мнению английского историка и писателя Ч. Сноу, между этими культурами существует огромная пропасть, а ученые, изучающие гуманитарные и точные отрасли знания, все более не понимают друг друга (диспуты между «физиками» и «лириками»).

В отмеченной проблеме выделяются два аспекта. Первый связан с закономерностями взаимодействия науки и искусства, второй – с проблемой единства науки.

В системе духовной культуры наука и искусство не исключают, а предполагают и дополняют друг друга там, где речь идет о формировании целостной, гармоничной личности, о полноте человеческого мироощущения.

Естествознание, являясь основой всякого знания, всегда оказывало влияние на развитие гуманитарных наук (через методологию, общемировоззренческие представления, образы, идеи и т. д.). Без применения методов естественных наук были бы немыслимы выдающиеся достижения современной науки о происхождении человека и общества, истории, психологии и т. д. Новые перспективы взаимообогащения естественнонаучного и гуманитарного знания открываются с созданием теории самоорганизации – синергетики.

Таким образом, не конфронтация различных «культур в науке», а их тесное единство, взаимодействие, взаимопроникновение является закономерной тенденцией современного научного познания.

1.2. Основные характерные черты естествознания

В настоящее время под термином «естествознание» понимается прежде всего точное естествознание – вполне оформленное (чисто в математических формулах) точное знание обо всем, что действительно существует или может существовать во Вселенной. Однако очевидно, что это знание является не окончательным итогом знаний о природе, а лишь тем, что известно человечеству на данном этапе его развития.

Естествознание – это совокупность наук о природе, рассматриваемых как единое целое.

Отличие естествознания как науки от специальных естественных наук заключается в том, что оно исследует одни и те же природные явления сразу с позиции нескольких наук, определяя наиболее общие закономерности и тенденции, рассматривает природу как бы сверху.

С точки зрения истории науки человечество в своем познании природы прошло три стадии и вступает в четвертую [5].

На первой из них формировались *общие представления* об окружающем мире как о чем-то целом, едином. Появилась натурфилософия – совокупность идей и догадок.

С XV–XVI вв. началась *аналитическая* стадия, т. е. расчленение и выделение частных, приведшее к возникновению и развитию отдельных наук: физики, химии, биологии, а также других естественных наук.

Наконец, в настоящее время делаются попытки обосновать *принципиальную целостность* всего естествознания. Одновременно происходит и дифференциация науки, т. е. создание узких областей какой-либо отрасли знания, однако общая тенденция ведет все-таки к интеграции науки. Поэтому четвертую стадию развития естествознания называют *интегрально-дифференциальной*.

1.3. Структуры естественнонаучного познания

Большую роль в научном познании играет научный метод. Метод вообще – это способ организации средств (инструментов, приемов, операций и т. д.) теоретической и практической деятельности. Метод оптимизирует деятельность человека, позволяет выполнять ее наиболее рациональными способами. Понятие метода тесно связано с понятием методологии.

Методология – наука о закономерностях, которым подчиняется метод деятельности, о происхождении, сущности методов, их эффективности.

Научный метод – это способ организации средств познания для достижения научной истины. Он рационализирует и оптимизирует научное знание. Научный метод выступает и как форма опосредования познания и практики, так как он объединяет теорию и практику, аккумулируя обобщенный практикой исторический опыт познания мира. Такой опыт и позволяет методу направлять процесс познания, построение научных теорий.

В естествознании исторически сложились и в настоящее время применяются много научных методов познания: наблюдение, эксперимент, индукция, дедукция, анализ, синтез, моделирование и т. д. Обычно методы подразделяют на эмпирические и теоретические.

К эмпирическому уровню относятся такие методы, как наблюдение, эксперимент, моделирование, измерение и т. д. На эмпирическом уровне познания складываются основные формы знания – научный факт и закон. Закон – высшая цель эмпирического уровня познания. Он отражает устойчивое, повторяющееся в явлении.

К теоретическому уровню относятся все те формы и методы познавательной деятельности, а также способы организации знания, которые обес-

печивают создание, построение и разработку научной теории. Сюда относится теория, ее элементы и составные части: абстракции, идеализации и мысленные модели, научные идеи и гипотезы, логика и т. д. Теория – высшая форма познания. Она обладает особым достоинством – позволяет получать знания об объекте, не вступая с ним в непосредственный контакт.

Являясь результатом многократного обобщения знаний и абстрагирования действительности, теория находится в очень непростых отношениях со своим объектом. Поэтому любая теория должна дополняться логико-гносеологической процедурой, процедурой интерпретации. Для понимания единства естественнонаучного и социально-гуманитарного знания особое значение имеют междисциплинарные методы исследования. Речь идет о *системном методе*, *новой концепции самоорганизации*, возникшей в рамках синергетики, а также *общей теории информации*.

При системном подходе объекты исследования рассматриваются как элементы некоторой целостности или системы, связанные между собой определенными отношениями, которые образуют *структуру системы*. В результате взаимодействия этих элементов свойства системы будут качественно отличаться от свойств составляющих ее элементов. Другими словами, свойства системы как целого не сводятся к сумме свойств частей. Например, свойства воды как жидкости качественно отличаются от свойств ее составных частей: кислорода и водорода, которые в свободном состоянии представляют собой газообразные вещества.

Системы, встречающиеся в природе и обществе, имеют разное строение и характеризуются различными признаками. Среди них следует выделить *иерархически организованные системы*, которые содержат в своем составе подсистемы разной степени общности и автономности. Особенно ярко это прослеживается на примере живых организмов, элементами которых служат клетки. Последние образуют подсистемы, называемые тканями, которые, в свою очередь, составляют органы живого тела. Каждая из этих подсистем обладает относительной автономностью, но подсистемы низшего уровня подчинены подсистемам высшего уровня. В целом же они составляют единый, целостный живой организм.

Для понимания процессов эволюции исключительно важное значение приобретают исследования, проводимые в рамках новой концепции самоорганизации, которая была названа *синергетикой*. Результаты, полученные

в этой области, показывают, что при наличии определенных условий процессы самоорганизации могут происходить и в системах неорганической природы, что раньше отрицалось. Опираясь на эту концепцию, можно весь окружающий нас мир рассматривать как самоорганизующуюся гиперсистему, что позволит лучше понять современную естественнонаучную картину мира.

2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА

2.1. Картина мира античных философов

Из истории человечества известно, что космологические представления (космология – наука о строении, происхождении и эволюции Вселенной как целого), наиболее были развиты в древних цивилизациях – в Египте, Китае, Индии, Греции. В Европе наука о космосе берет свое начало в Древней Греции, куда, в свою очередь, знания пришли из Египта, Вавилона и Древней Индии [4].

Одним из первых дошедших до нас космологических взглядов является высказывание поэта Гесиода (725–650 гг. до н. э.). В его поэме «Теогония» говорится, что весь мир и бессмертные боги возникли одновременно из вечного, бесконечного, темного хаоса: богиня земли – Гея; могучая, созидательная и преобразующая сила – Любовь (Эрос); вечный мрак – Эреб; вечная ночь – Нюкта; вечный свет – Эфир; бесконечно-голубое небо – Уран и т. д.

Таким образом, было определено первичное состояние Вселенной – хаос (хаотичность, бессистемность, аморфность). Затем последовало преобразование, упорядоченность, появилась системность, разумность, справедливость и т. д.

Возникновение европейской науки принято связывать с милетской школой (Фалес, Анаксимандр, Анаксимен). Представители этой школы впервые сформулировали наиболее фундаментальную проблему – проблему первоначала, из которого возникают все вещи и в которое они со временем превращаются.

На уровне чувственного восприятия люди осознают, что окружающий мир представляет собой многообразие самых разнообразных вещей. Есте-

вознание начинается тогда, когда сознание человека поднимается до уровня выработки высокой абстракции субстанции, позволяющей сформулировать вопрос, существует ли за многообразием вещей некое единое начало.

Основатель милетской школы естествоиспытатель-философ, математик, экономист, политик Фалес (625–547 гг. до н. э.) из Милета (греческая колония на западе Малой Азии) выделил четыре материальные сущности: землю, воду, воздух и огонь, что соответствует по современным представлениям четырем агрегатным состояниям вещества. Из этих сущностей главной, первоначальной Фалес считал воду¹. Земля, по Фалесу, плавает в Океане, имея форму круглой плиты диаметром 8 000 км.

Продолжателем идей милетской школы был ученик Фалеса Анаксимандр (610–546 гг. до н. э.), который развил представления учителя. Источником всего сущего он считал нечто вечное, бесконечное начало – апейрон (т. е. «беспредельное»). По Анаксимандру, четыре стихии образуются из апейрона, находящегося в вечном движении, и весь мир периодически зарождается и возвращается в первовещество. Впервые было выдвинуто утверждение, что Земля никем и ничем не поддерживается и что таких миров, как Земля, существует множество. По своей форме Земля представлялась в виде цилиндра, на торце которого и располагалось человечество. Сферическую форму Земли, предполагается, ввел и обосновал Пифагор.

Гераклит из Эфеса (544–470 гг. до н. э.) – один из самых глубоких мыслителей Греции, оказавший огромное влияние на развитие науки и философии. С милетскими учеными его связывала проблема субстанции, первоосновы бытия. По его мнению, мир един, не создан ни богами, ни людьми, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим.

Другая важнейшая идея в учении Гераклита – идея безостановочной изменчивости вещей, их текучести. В мире все изменчиво, «все течет», т. е. происходит постоянное изменение, преобразование, движение, ведущее к созданию новых форм (независимо от того, какими эти формы являются – более сложными или простыми, прогрессивными или регрессивными).

¹ Вода является основой и первопричиной существования как живого, так и неживого. «Посади зерно в землю – ничего не вырастет, а если полить водой, то появится росток, а затем и колос. Все живое без воды – ничто», – примерно такие слова приписывают Фалесу.

Развитие древнегреческой астрономии шло по пути как накопления эмпирических наблюдений, так и разработки теоретических моделей структуры, организации космоса. Первые натурфилософы (VI–V вв. до н. э.) имели весьма слабые представления об устройстве Вселенной. Только пифагорейцами было осознано различие между звездами и планетами («блуждающие светила»). Под Вселенной ученые понимали Солнечную систему, в которой было известно 5 видимых невооруженным глазом планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Исходя из принципа «Мир таков, каким я его вижу», они полагали, что Вселенная устроена следующим образом: в центре находится Земля (шар в пустом пространстве), вокруг которой вращаются Луна, Солнце и пять указанных выше планет. Над ними – купол неба в виде хрустальной сферы с прикрепленными к ней звездами. Такая модель называется геоцентрической.

Одной из первых моделей мира была модель Пифагора (570–500 гг. до н. э.), которая имела подробную математическую проработку и отличалась музыкальностью.

По Пифагору, в центре мира находится шарообразная Земля, никем и ничем не поддерживаемая. Каждая планета, Солнце, Луна расположены на своих сферах, которые вместе с планетами вращаются вокруг Земли. При вращении с определенным периодом (частотой) у каждой планеты возникает звучание, образующее так называемую «гармонию сфер», или звучание «небесного органа», которое, по преданию, слышал сам Пифагор. Расстояния между сферами, т. е. различия радиусов сфер, соответствуют тонам и полутонам. За один тон было взято расстояние до Луны, соответственно расстояние до Солнца было равно четырем тонам, до сферы неподвижных звезд – семи тонам. Конечно, значения расстояний до планет были неточными. Так, расстояние до Луны (20 000 км) было определено в 20 раз меньше, чем на самом деле. Но музыкальность, а точнее октава, в Солнечной системе действительно существует.

В основе музыки, т. е. приятного звучания звуков и интервалов, лежит гамма. Октава – это интервал, через который частота или период звуковых колебаний изменяется в 2 раза. Так, нота ля малой октавы имеет частоту колебаний 220 Гц, нота ля 1-й октавы – 440 Гц, 2-й октавы – 880 Гц и т. д. (имеем показательную функцию 2^n).

Пифагор пытался получить математическую формулу радиусов сфер движения материи, но не успел. Октава в Солнечной системе была открыта

немецким астрономом И. Д. Тициусом в 1766 г. и носит название закона планетных расстояний:

$$r_n = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n \text{ а. е.},$$

где $n = 0, 1, 2, 3 \dots$;

а. е. – астрономическая единица, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца.

Другой особенностью музыкальности (гармонии) мира, по мнению Пифагора, является наличие аккордов (резонансов) у планет и их спутников. Для «правильного» звучания тех или иных аккордов необходимо определенное соотношение участвующих в них звуков (частот или периодов). Эти соотношения должны соответствовать целочисленному ряду чисел: $1 : 2 : 3 : 4 : 5 \dots$. Так, возможны следующие парные отношения: $1 : 1$ – прима; $1 : 2$ – октава; $2 : 3$ – квинта; $3 : 4$ – кварта; $4 : 5$ – терция и т. д.

При наблюдении за движением планет (известных ранее пяти и девяти в настоящее время) были действительно обнаружены парные резонансы (аккорды) между всеми планетами и их спутниками. Так, Луна и Земля находятся в резонансе $1 : 1$ (прима), имея собственный (спиновый) период 24 ч у Земли и орбитальный период у Луны. В таком же резонансе находятся крупные спутники Юпитера и Сатурна. В резонансе $2 : 3$ (квинта) находится Меркурий по отношению к Солнцу. За два оборота вокруг Солнца Меркурий делает три оборота вокруг собственной оси. В соотношении $4 : 5$ (терция) с Солнцем находится Венера.

Резонансные отношения, как показали современные исследования, наблюдаются как между планетами и их спутниками, так и между спутниками крупных планет.

Наиболее важными для Солнечной системы являются чисто орбитальные резонансы между большими планетами, благодаря которым и объясняется устойчивость самой системы. Так, Нептун и Плутон имеют орбитальные резонансы $2 : 3$, Уран и Нептун – $1 : 2$, Юпитер и Сатурн – $2 : 5$.

Проблема механической устойчивости Солнечной системы решается с учетом резонансов. В частности, взаимные возмущения планет-гигантов Юпитера и Сатурна носят периодический характер (900 лет). Самое мощное возмущение в системе планет проявляется раз в 10 000 лет (парад планет), когда планеты располагаются на самом близком расстоянии друг

к другу. В это время гравитационное возмущение достигает наибольшего значения. Но поскольку Солнечная система является открытой, то часть энергии возмущения выбрасывается в открытый космос и система в течение следующих 10 000 лет сохраняет устойчивое существование.

Античный философ Демокрит (460–370 гг. до н. э.), один из основателей атомизма, говорил, что во Вселенной таких миров, как наш, и в то же время разнообразных существует бесконечное множество. Эти миры постоянно меняются, эволюционируют (рождаются, расцветают, умирают).

Демокрит высказал ряд совершенно правильных, по тем временам гениальных, догадок: что Солнце намного больше Земли, что Луна светит отраженным светом, что Млечный Путь – скопление огромного числа звезд.

Платон (427–347 гг. до н. э.) создал теорию космоса как целостного организма, живого, разумного, одушевленного. Космос – это совершенное творение высшего разума, и он должен иметь совершенную, т. е. сферическую, форму. В космосе все должно быть идеальным, в том числе и движение небесных тел. Поскольку видимые траектории движения планет являются неравномерными и некруговыми, Платон предложил разложить их на простые составляющие, т. е. круговые. С такой задачей позднее справился математик и астроном Птоломей.

Ученик Платона Аристотель (384–322 гг. до н. э.) пошел значительно дальше учителя в исследовании устройства мироздания, впервые создав действительно универсальную картину мира. В ней были объединены, систематизированы и развиты все ранее существовавшие знания о природе (физике), т. е. рассматривались учения о структуре, движении и свойствах окружающего нас мира. В трактате «О небе» была изложена космологическая картина Вселенной.

Под Вселенной понималась совокупность всей материи и всего пространства. Пространство – вместительница, заполняемое материей. Вселенная представлялась конечной сферой, за пределами которой нет ничего материального, а значит, нет и пространства. Аристотель, определив время как меру движения материи (движения нет без физического тела), впервые высказал предположение о взаимосвязи материи, пространства и времени. За пределами Вселенной, где нет ни материи, ни пространства, находится нематериальный (духовный) божественный мир.

В такой шарообразной Вселенной должна существовать равноудаленная от периферии точка, т. е. центр Вселенной. Что находится в этом центре – Земля или Солнце? Аристотель рассмотрел оба случая, но так как инструментальная техника тех времен не соответствовала поставленной задаче, то в центре Вселенной осталась Земля (геоцентрическая модель только укрепила свои позиции). Суть опыта заключалась в следующем.

Пусть в центре Вселенной находится Солнце. На сфере неподвижных звезд из точки T_1 выбирают две звезды и определяют угловое расстояние между ними (α_1). Через полгода, когда Земля окажется на другом конце диаметра своей орбиты (в точке T_2), снова определяют угловое расстояние между этими же звездами (α_2). Так как в точке T_2 Земля находится дальше от звезд M_1M_2 , то угол α_2 должен быть меньше угла α_1 . На практике эти углы оказались равны ($\alpha_1 = \alpha_2$) (рис. 1).

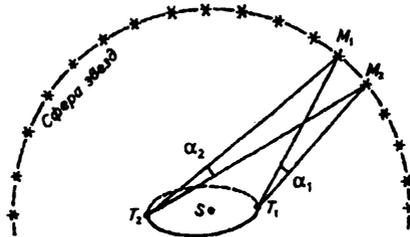


Рис. 1. К выбору Аристотелем геоцентрической системы мира

Причина очень проста. Поскольку расстояние до звезд в сотни тысяч раз больше, чем диаметр орбиты, то изменения угла наблюдения составляют менее чем одна угловая секунда. Измерение таких малых величин смогли осуществить только в XIX в.

Таким образом, по Аристотелю, в центре Вселенной находится Земля, на которой властвуют четыре стихии, в небе движутся Солнце, Луна и планеты, расположенные на своих сферах. Самая большая – это сфера неподвижных звезд, которая служит границей материальной Вселенной. Весь материальный мир делится на две части: мир подлунный (все, что ниже Луны) и мир надлунный (Луна и выше). В подлунном мире действуют земные стихии, тела обладают «тяжестью», их движения имеют начало

и конец. В надлунном мире тела не имеют «тяжести», находятся в бесконечном, равномерном круговом движении.

Физическая и космологическая картина мира Аристотеля была практически единственной физической теорией вплоть до XVII в. Научное наследие ученого состоит из многочисленных работ по логике, философии, естествознанию, психологии, истории, эстетике, политике и т. д.

Идею геоцентризма значительно развил великий математик и астроном Птоломей (87–165 гг. н. э.). Полностью приняв идею Платона и Аристотеля о круговом движении небесных светил, Птоломей математически описал его. Каждое петлеобразное движение планет Птоломей представил как состоящее из двух круговых движений: по деференту и эпициклу. Деферент – главная окружность каждой планеты. По деференту движется центр эпицикла. При сложении двух вращательных движений имеем замкнутую саму на себя спираль. Радиус эпицикла и скорость движения по нему определялись методом подбора. Вначале построения и расчеты движения известных небесных тел: Солнца, Луны и пяти планет – позволили составить схему, состоящую из 13 кругов (рис.2). Математические уравнения движения планет давали возможность определять координаты тел для последующих моментов времени. Имея не очень удовлетворительные результаты, Птоломей усовершенствовал схему. На место эпицикла он помещал центр второго эпицикла, который вращался по первому эпициклу. Если и в этом случае точность была недостаточной, то добавлялся третий эпицикл, четвертый и т. д. Угловые скорости, радиусы эпициклов подбирались, чтобы расчетные координаты местонахождения планет соответствовали наблюдаемым.

Такие усовершенствования схемы делались самим Птоломеем, а затем и его учениками. Схема становилась все более сложной и громоздкой, пока не достигла 112 кругов.

Несмотря на сложность, схема Птолемея позволяла вычислять лунные и солнечные затмения, положения планет на звездном небе. Данной схемой человечество пользовалось более 1300 лет, пока не появилась система Коперника.

На закономерный вопрос, почему неверная по своей физической сути схема Птолемея давала правильный результат, ответ находим в высшей математике. По сути, Птоломей использовал математический метод, позднее получивший название гармонического анализа (ряды Фурье), который позволял вычислять значение функции с любой степенью точности.

Схема Птолемея была использована в путешествиях Колумба, Васко да Гама, Америго Веспуччи.

Николай Коперник (1473–1543), современник Леонардо да Винчи, Рафаэля, Микеланджело, положил в основу своей системы мира эстетический принцип красоты и простоты. Он использовал идею гелиоцентризма Аристарха Самосского (III в. до н. э.), в основе которой было вращение Земли вокруг оси, центральное положение Солнца внутри планетной системы и вращение Луны вокруг Земли.

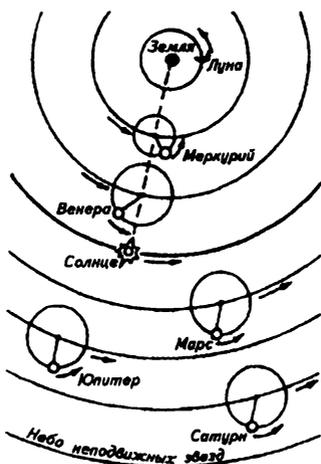


Рис. 2. Система Птолемея (упрощенный вариант из 13 кругов)

Схема Коперника позволила определить относительные масштабы Солнечной системы. За единицу он принял расстояние от Земли до Солнца – астрономическую единицу. Оставалось определить размер астрономической единицы.

Основной труд Н. Коперника был напечатан в 1543 г., когда он был уже при смерти. Началась революция в естествознании, так как произошла полная смена физической картины мира.

Одним из основателей естествознания является Галилео Галилей (1564–1642). Даже краткое описание его вклада в развитие естествознания показывает, что наступает эпоха становления классического естествознания.

Во-первых, Галилей разработал метод научного исследования, включающий четыре фазы: наблюдение («чувственный опыт»), создание рабочей гипотезы («аксиомы»), вывод законов природы («математическое развитие») и опытную проверку как критерий правильности сделанных выводов. В настоящее время этот метод ученые называют знаменитой триадой: эксперимент – теория – практика. Кроме того, Галилей одним из первых начал применять математику как язык описания физических явлений. Таким образом, с именем Галилея в физике и астрономии связано начало новой эры – эры опытных проверок и экспериментальных доказательств теоретических выводов науки.

Во-вторых, Галилею мы обязаны построением науки о движении – кинематики (наклонная плоскость, свободное падение тел, ускорение свободного падения, равноускоренное движение, математический маятник и т. д.).

В-третьих, Галилей впервые в истории человечества взглянул на небо вооруженным глазом – с помощью зрительной трубы, названной впоследствии телескопом. Построив телескоп («труба Галилея») с увеличением 32^{\times} , он сделал ряд астрономических открытий, подтверждающих концепцию Коперника о гелиоцентричности Солнечной системы. Галилеем было установлено, что Венера, как и Луна, светит отраженным светом, открыты четыре спутника Юпитера. При исследовании Луны Галилей установил, что на ее поверхности есть горы, определил их высоту и изобразил лунный ландшафт.

В-четвертых, предметом пристальных наблюдений Галилея стал Млечный Путь. Все споры философов о туманности Млечного Пути были сняты. Он оказался громадным количеством отдельных звезд. Рассматривая то, что астрономы называли туманными звездами, Галилей обнаружил, что они, как и Млечный Путь, состоят из большого числа звезд (речь идет о других галактиках).

В-пятых, Галилей впервые сформулировал принцип относительности, который позднее был использован в теориях Ньютона и Эйнштейна.

Вторая, после Аристотеля, научная революция завершилась творчеством одного из величайших ученых в истории человечества – Исаака Ньютона (1643–1727). Его научное наследие чрезвычайно разнообразно. В него входят создание дифференциального и интегрального исчисления (одновременно с Г. В. Лейбницем), важные астрономические наблюдения, сделанные с помощью изобретенного И. Ньютоном телескопа-рефлектора. Он внес большой вклад в оптику, исследовав и объяснив явления дисперсии света.

С именем ученого связано открытие (или окончательная формулировка) основных законов динамики – знаменитых трех законов Ньютона, лежащих в основание классической физики.

Современная космология – наука о строении, происхождении и эволюции Вселенной – имеет как теоретический, так и экспериментальный фундамент. Экспериментальную основу образуют данные, накопленные в течение многих веков при наблюдении звездного неба. Теоретическая же основа космологии появилась лишь в 1666 г., когда И. Ньютон открыл закон всемирного тяготения, похоронив тем самым древнюю идею о взаимном стремлении тел друг к другу (любви), основанную на антропоморфности и таинственности. Появление теории гравитации после открытия закона всемирного тяготения и послужило теоретической основой научной космологии.

Не будет преувеличением сказать, что 28 апреля 1686 г. – одна из важнейших дат в истории человечества. В этот день И. Ньютон представил Лондонскому королевскому обществу свою новую всеобщую теорию – механику земных и небесных процессов, которая в систематической форме была изложена в книге «Математические начала натуральной философии», вышедшей в следующем году.

Лишь после появления теории гравитации стало возможным применять научный подход к решению проблем строения и эволюции Вселенной как целого, единого физического объекта.

Занимаясь проблемами космологии, любой ученый должен ответить на многие вопросы. Наиболее важные из них можно разбить на две группы:

1. Как изменяется Вселенная во времени? Будет ли мир существовать вечно? Существовал ли он всегда в прошлом?
2. Как организована Вселенная в пространстве? Есть ли у нее границы и центр?

Данные вопросы тесным образом связаны с такими важнейшими философскими понятиями, как пространство и время.

Отвечая на эти вопросы, И. Ньютон создал стройную научную теорию строения Вселенной, которая господствовала более 200 лет. Кратко отметим главные черты картины мира И. Ньютона:

1. Стержнем его научного построения являлся принцип материального единства мира, т. е. положение о том, что все земное и небесное развивается по единым законам Природы. Отметим, что в современном построении картины мира это положение осталось практически неизменным.

2. Физическая картина мира И. Ньютона опиралась на абсолютные философские категории: пространство и время, т. е. независимые друг от друга материи (вспомним Аристотеля, у которого эти категории были взаимосвязанными).

Таким образом, И. Ньютон, опираясь на вышеприведенные положения и применив теорию тяготения, пришел к выводу, что Вселенная бесконечна, стационарна и вечна. Так, теория тяготения предполагает бесконечность Вселенной, в противном случае все материальные объекты должны слиться в одно тело. Бесконечность Вселенной автоматически снимает вопрос о ее границах и центре.

Рассуждая далее, ученый приходит к выводу, что материя в бесконечном пространстве под действием закона всемирного тяготения собирается в бесконечное множество больших масс, удаленных друг от друга на большие расстояния. Эти большие массы могут находиться бесконечно долго в уравновешенном (стационарном) состоянии, т. е. Вселенная вечна по отношению к будущему. Относительно прошлого И. Ньютон полагал, что Вселенная имеет свое начало во времени, так как мир был создан могущественным творцом, т. е. Богом.

2.3. Современная картина мира

В начале XX в. на смену классической механике пришла новая фундаментальная теория – специальная теория относительности (СТО). Опубликованная в 1905 г. работа А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» позволила разрешить многие физические проблемы, которые не укладывались в рамки классических представлений о пространстве и времени. Одним из важных выводов СТО является положение о взаимосвязи таких философских категорий, как пространство и время.

Новые понятия и принципы теории относительности существенно изменили не только физические, но и общенаучные представления о пространстве, времени и движении, которые господствовали в науке более двухсот лет.

Перейдя от инерциальных систем отсчета к системам отсчета, движущимся с ускорением, и введя теорию тяготения, А. Эйнштейн в 1916 г. формулирует общую теорию относительности (ОТО). Решая уравнения общей теории относительности, можно построить математическую модель Вселенной, ее геометрию и поведение вещества. Российский ученый

А. А. Фридман (1922), решая уравнение ОТО, пришел к выводу о том, что Вселенная не может быть стационарной, как предполагал сам А. Эйнштейн. Она должна либо сжиматься, либо расширяться. Единственным допущением, которое сделал А. А. Фридман, было предположение о пространственной однородности вещества во Вселенной.

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл, исследуя небо на самом большом телескопе, диаметр которого составлял 100 дюймов, сделал два очень важных открытия, которые стали ключевыми в развитии современной космологии: изотропность галактик во Вселенной и «красное смещение».

Исследовав более 5 млн галактик, Э. Хаббл установил, что в любом направлении насчитывается одинаковое их количество – 131, т. е. в космических масштабах вещество распределено в пространстве равномерно. Таким образом, предположение А. А. Фридмана о равномерности распределения вещества во Вселенной оказалось верным.

Другим очень важным открытием явилось так называемое «красное смещение», которое заключается в том, что длина волн спектральных линий галактик увеличивается. Такое смещение длин волн можно интерпретировать как доплеровский эффект, связанный со скоростью удаления от нас галактик (источников света). Таким образом, Э. Хаббл своими наблюдениями экспериментально доказал, что Вселенная расширяется, и теоретические предсказания А. Фридмана блестяще подтвердились.

В 1927 г. бельгийский ученый Ж. Леметр независимо от А. А. Фридмана, анализируя решения ОТО, выдвинул гипотезу о возникновении Вселенной из точки и ее дальнейшем расширении. Такой процесс возникновения Вселенной Ж. Леметр представил в виде большого взрыва.

Эту идею развил американский ученый русского происхождения Г. Гамов. Им была предложена концепция формирования Вселенной из сверхплотного, сверхгорячего (сингулярного) состояния, которая получила в дальнейшем название концепции «горячей Вселенной». С ее помощью Г. Гамов пытался объяснить происхождение химических элементов. Его математические расчеты показывали, что в процессе эволюции Вселенной можно выделить два этапа. Опуская вопрос о возникновении материи, к первому периоду развития следует отнести примерно 1 млн лет, когда излучение преобладало над веществом. Затем в результате расширения и охлаждения материи наступила эра доминирования вещества, которая

продолжается по сей день. Возраст же Вселенной, по данным разных авторов, колеблется в интервале 12–20 млрд лет. По расчетам Г. Гамова, а затем и других ученых после процесса нуклеосинтеза излучение должно остаться, продолжая движение вместе с веществом в расширяющейся Вселенной, и сохраняться до нашего времени. Такое остаточное (реликтовое) излучение было открыто американскими радиоастрономами А. Пензиасом и Р. Вильсоном в 1964 г., за что в 1978 г. они были удостоены Нобелевской премии.

Из двух существовавших в то время космологических теорий – *теории расширяющейся Вселенной* (начальное состояние, из которого возникла Вселенная, было очень плотным и горячим; затем Вселенная стала расширяться и охлаждаться, образуя звезды и галактики) и *теории стационарной Вселенной* (Вселенная существовала всегда, наблюдаемое разрежение вещества компенсируется его непрерывным творением) – космология Большого взрыва Г. Гамова заняла прочное место в современной науке. Вторая теория не предсказывает и не может объяснить существование реликтового излучения.

Попробуем проследить динамику эволюции Вселенной, начиная с временного интервала $t = 10^{-42}$ с после взрыва. Расчеты показывают, что на данный момент времени вещество имело плотность $\rho = 10^{96}$ кг/м³ при температуре $T = 10^{32}$ К, а спустя всего 1 с эти величины имели значения $\rho = 5 \cdot 10^8$ кг/м³ и $T = 10^{10}$ К. За это время свободные кварки (антикварки), лептоны (антилептоны) и фотоны, составляющие, по представлению ученых, всю материю Вселенной, претерпевают глобальные изменения.

В самом начале ($t \sim 10^{-4}$ с) идет процесс образования адронов (антиадронов) и лептонов (антилептонов). Количество вещества примерно одинаково. В конце этого периода (1 с) произошла аннигиляция частиц и античастиц, но в силу целого ряда законов микромира осталось некоторое количество вещества, послужившее «кирпичиками» для построения нашей Вселенной.

Следующим этапом является синтез ядер легких элементов (H, He) из оставшихся протонов и нейтронов (адронов). По времени этот этап занял примерно 3 мин.

Затем наступает этап рекомбинации, в ходе которого свободные протоны и электроны кооперируются за счет взаимного притяжения и формируют нейтральные атомы самых легких элементов таблицы Менделеева

(водород и гелий). Этот процесс уже длится в своей активной фазе 700 000 лет.

Таким образом, через миллион лет после Большого взрыва Вселенная была заполнена нейтральными атомами водорода и гелия, а также фотонами. Имеющиеся неоднородности плотности вещества развивались в скопления галактик. В самих галактиках формировались скопления звезд, планетарные системы.

2.4. Иерархия материального мира

Как уже отмечалось, в основе современных представлений о строении материального мира лежит системный подход, согласно которому любой объект материального мира может быть рассмотрен как сложное образование, включающее составные части, организованные в целостность [9].

Система – совокупность элементов и связей между ними.

Элемент – минимальный, далее уже неделимый компонент системы. Элемент является таковым лишь по отношению к данной системе. В других же отношениях он может представлять собой сложную систему.

Совокупность связей между элементами образует структуру системы.

Устойчивые связи элементов определяют упорядоченность системы. Существуют два типа связей между элементами системы – по горизонтали и по вертикали.

Связи по горизонтали – это связи *координации* между однопорядковыми системами. Они носят коррелирующий характер: изменение любой части системы вызывает изменение другой.

Связи по вертикали – это связи *субординации*, т. е. соподчинения элементов. Они выражают сложное внутреннее устройство системы, в которой одни части по своей значимости могут уступать другим и подчиняться им. Вертикальная структура включает уровни организации системы, а также их иерархию.

Итак, согласно современным научным взглядам на природу, все природные объекты представляют собой упорядоченные, структурированные, иерархически организованные системы.

В естественных науках выделяют два больших класса материальных систем: системы неживой природы и системы живой природы.

В неживой природе структуры различного масштаба обычно выстраивают в определенном порядке от самых больших до самых малых и называют

структурно-масштабной лестницей. В зависимости от размеров этих структур их условно делят на три блока: мегамир, макромир и микромир. К мегамиру (великий) относят космические объекты – звезды, галактики и т. д. К макромиру (большой, крупный) относят объекты, соразмерные человеку. Микромир (малый) – это мир атомов, молекул, элементарных частиц.

Представим структурно-масштабную лестницу в виде таблицы, в которой указаны характерные размеры структур и тип фундаментального взаимодействия, ответственного за их формирование (табл. 1).

Таблица 1

Структурно-масштабная лестница

Объект (структура)	Размер, м	Тип взаимодействия
Метагалактика	10^{26}	Гравитационное
Ячеистая структура (стены, сверхскопления галактик)	10^{24}	»
Скопления, облака, группы галактик	$10^{23}-10^{22}$	»
Галактики, ядра галактик	$10^{21}-10^{22}$	»
Звездные скопления в галактиках	$10^{19}-10^{17}$	»
Звезды, планетные системы	$10^{13}-10^8$	»
Космические тела (планеты, кометы, астероиды)	10^8-10^4	»
Макроскопические тела (в том числе человек)	10^2-10^{-4}	Электромагнитное
Микроскопические тела (гены, домены, вирусы)	$10^{-4}-10^{-7}$	То же
Молекулы, атомы	$10^{-4}-10^{-10}$	»
Ядра, элементарные частицы	$10^{-14}-10^{-15}$	Сильное, электрическое
Кварки, лептоны (переносчики взаимодействия)	$<10^{-15}$	слабое То же
Физический вакуум	–	–

Рассмотрим объекты (структуры) более подробно.

Метагалактика – доступная для наблюдения часть Вселенной. С метагалактикой тесно связано понятие «*космологический горизонт*». Космологический горизонт находится на расстоянии, которое свет прошел за время, равное возрасту Вселенной (13–18 млрд лет). Космологический го-

ризонт – граница метагалактики – отступает на 300 000 км каждую секунду, и что находится за горизонтом, мы не знаем.

Галактики на небе расположены равномерно и неравномерно. Так, на площадке в один квадратный градус насчитывается до 500 000 галактик, а всего на небесной сфере более 41 тыс. квадратных градусов. Эстонские астрономы в 1975 г. построили пространственную модель для нескольких тысяч галактик, зная расстояния до них. Оказалось, что пространственная структура распределения галактик представляет собой ячейки типа пчелиных сот. Вдоль стенок этих ячеек расположены галактики, а внутри – пустоты (войды).

В тех местах, где пересекаются стенки ячеек, т. е. узлах, наблюдаются *сверхскопления галактик*, которые насчитывают десятки тысяч отдельных галактик (рис. 3).

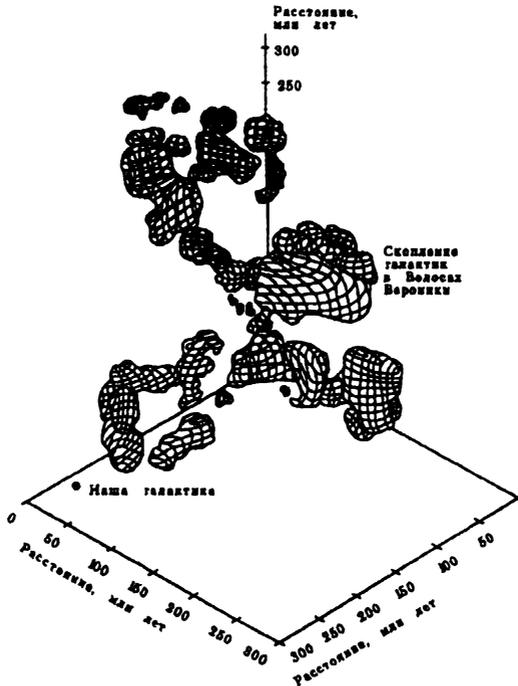


Рис. 3. Сверхскопление галактик в Волосах Вероники

Известны также малочисленные *группы галактик*. Примером может служить местная группа галактик (рис. 4), в которую входят две большие спиральные галактики: наша галактика (Млечный Путь) и Туманность Андромеды, а также ряд галактик меньших размеров. Кроме того, каждая главная спиральная галактика имеет несколько галактик-спутников. У Туманности Андромеды существует пять больших и пять маленьких спутников. Крупными спутниками нашей галактики являются Большое и Малое Магеллановы Облака, а также 14 карликовых галактик (рис. 5).

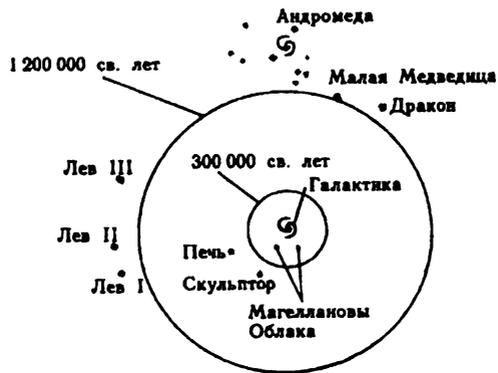


Рис. 4. Местная группа галактик

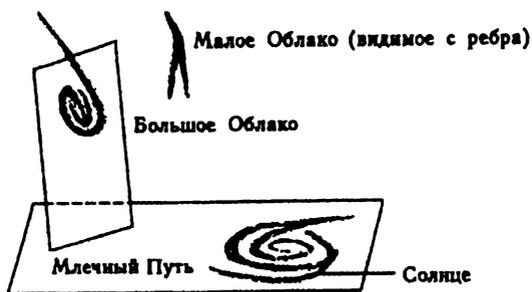


Рис. 5. Млечный Путь и его спутники

Скопления звезд в галактиках бывают двух типов: шаровые и рассеянные. В нашей галактике около 500 шаровых скоплений и 20 тыс. рассеянных (рис. 6). Шаровые скопления, которые содержат сотни тысяч или даже миллионы звезд, имеют возраст порядка 15 млрд лет.

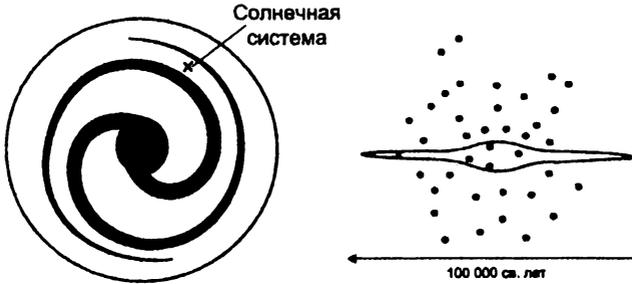


Рис. 6. Схема строения нашей галактики (Млечный Путь)

Встречаются как сравнительно старые, так и молодые рассеянные звездные скопления.

Звезда – основная структурная единица мегамира – природный термоядерный реактор, где происходит переработка вещества на ядерном уровне.

Основой классификации элементарных частиц (по современному каталогу их насчитывается более трехсот) является деление их на два больших класса: адроны и лептоны. *Адроны* – это элементарные частицы, участвующие в сильных взаимодействиях, а *лептоны* – в слабых и электромагнитных. Класс адронов, в свою очередь, делится на два семейства (барионы и мезоны). Барионы – это такие адроны, которые при реакциях могут превращаться в протоны или получаться из них. К барионам относятся протон и нейтрон (основа ядра).

В 1964 г. американские физики М. Гелл-Манн и С. Цвейг предложили кварковую модель строения вещества. В соответствии с этой моделью любой адрон может быть представлен в виде набора двух или трех кварков – частиц, имеющих дробный электрический заряд и служащих своеобразным «клеем» при образовании ядерного вещества. Нельзя представить в таком виде только лептоны – класс частиц, в который входят электрон, нейтрино и ряд других частиц. Теория кварков в современной науке нашла большое количество косвенных подтверждений.

3. СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ

3.1. Фундаментальные взаимодействия

История науки знает множество попыток представить сложные процессы во Вселенной в виде определенных схем. Успешное познание окружающего мира и приведение наблюдаемых явлений к простейшим понятиям возможны лишь в том случае, если мы сумеем описать мир в терминах ограниченного числа фундаментальных взаимодействий.

В основе научного мировоззрения лежат представления о материи. По определению В. И. Ленина, материя – это философская категория для обозначения объективной реальности, которая отображается нашими ощущениями и существует независимо от них. С понятием материи связано бесконечное множество существующих в мире объектов и систем, проявляющих все реально существующие свойства, связи и формы движения. Неотъемлемый атрибут материи – движение. Материи присущи саморазвитие, превращение одних состояний и форм в другие. Всеобщие формы бытия – пространство и время. Универсальное свойство материи – отражение.

Современная наука изучает как неживую материю, так и особые типы материальных систем – живую материю (совокупность организмов, способных к воспроизводству) и социально организованную материю (общество).

Философия занимается исследованием наиболее общих свойств материи, а естествознание, напротив, изучает свойства, структуру и превращение конкретных видов материи.

Научное мировоззрение исходит из принципа *материального единства мира*. Что за этим стоит? Во-первых, любая часть доступной для наблюдения Вселенной развивается из общего начального (сингулярного) состояния, претерпевшего Большой взрыв. Во-вторых, вся совокупность химических элементов, существующих во Вселенной, возникла в результате процессов ядерных реакций в недрах звезд. Это подтверждают результаты спектрального анализа звезд, туманностей, планет. В-третьих, во Вселенной действуют единые естественнонаучные законы (с учетом масштабирования).

Согласно современным представлениям, в природе существуют четыре основных типа фундаментальных взаимодействий – гравитационное, электростатическое, электромагнитное и ядерное (сильное). Каждое из че-

тырех взаимодействий имеет сходство с тремя остальными и в то же время свои отличия. Так, интенсивность гравитационного, электростатического и электромагнитного взаимодействий убывает с расстоянием по закону $F \sim \frac{1}{r^n}$, а интенсивность ядерного взаимодействия – по закону $F \sim r^n$, где $n > 1$. Поэтому первые три фундаментальных взаимодействия считают слабыми, а ядерное взаимодействие – сильным.

Гравитационное взаимодействие. Гравитация как один из типов фундаментальных взаимодействий первой стала предметом научного исследования. Созданная в XVII в. ньютоновская теория гравитации (закон всемирного тяготения) позволила осознать истинную роль гравитации как силы природы.

Гравитация обладает *малой интенсивностью*. Гравитационное взаимодействие в 10^{39} раз меньше силы взаимодействия электрических зарядов.

Второй удивительной чертой гравитации является ее *универсальность*. Каждая частица во Вселенной испытывает на себе действие гравитации и сама является источником гравитации, вызывает притяжение.

Кроме того, гравитация – *дальнодействующая* сила природы. Это означает, что, хотя интенсивность гравитационного взаимодействия убывает с расстоянием, оно распространяется в пространстве на бесконечно большие расстояния. В астрономическом масштабе гравитация формирует космические образования (звездные системы, галактики, группы галактик и т. д.).

Электрическое и электромагнитное взаимодействия. По величине электрические и магнитные силы намного превосходят гравитационные.

В течение долгого времени электрические и магнитные процессы изучались независимо друг от друга. В середине XIX в. Дж. Максвелл объединил электричество и магнетизм в теорию электромагнетизма – первую часть единой теории поля. Все материальные частицы создают гравитационное поле, тогда как с электромагнитным полем связаны только заряженные частицы.

Электрически заряженные частицы притягиваются (отталкиваются). Сила их взаимодействия также является *дальнодействующей*. Электромагнитное взаимодействие обусловлено движением электрических зарядов и проявляется на всех уровнях существования материи – в мега-, макро- и микромире. Как и гравитация, оно подчиняется закону обратных квадратов.

Ядерное (сильное) взаимодействие. Данное взаимодействие проявляется только между частицами, принадлежащими к классу *адронов* (протоны, нейтроны), и не зависит от электрических зарядов взаимодействующих частиц. Сильное взаимодействие является источником огромной энергии и осуществляется с участием кварков. В недрах Солнца и звезд непрерывно протекают термоядерные реакции, вызываемые сильным взаимодействием.

К представлению о существовании сильного взаимодействия физика шла в ходе изучения структуры ядра. Выяснилось, что хотя по своей величине сильное взаимодействие существенно превосходит все остальные взаимодействия, но за пределами ядра оно не ощущается, так как радиус его действия не превышает 10^{-15} м (короткодействующее взаимодействие).

Обычно для количественного анализа перечисленных взаимодействий используют две характеристики: безразмерную константу взаимодействия и радиус действия (табл. 2).

Таблица 2

Константы взаимодействия

Тип взаимодействия	Константа взаимодействия	Радиус действия, м
Гравитационное	$6 \cdot 10^{-39}$	∞
Электрическое, электромагнитное	1/137	∞
Сильное	1	$(0,1-1) \cdot 10^{-15}$

Из табл. 2 видно, что константа гравитационного взаимодействия самая малая. Радиус его действия, как и электромагнитного взаимодействия, неограничен. Гравитационное взаимодействие (в классическом представлении) в процессах микромира существенной роли не играет. Однако в мегамире ему принадлежит определяющая роль. Например, движение планет Солнечной системы происходит в строгом соответствии с законами гравитационного взаимодействия.

Сильное взаимодействие отвечает за устойчивость ядер и распространяется только в пределах ядра. Чем сильнее взаимодействуют нуклоны в ядре, тем оно устойчивее и тем больше его энергия связи. Так, ядра химических элементов, находящихся в конце таблицы Менделеева, неустойчивы и могут распадаться. Такой процесс часто называют радиоактивным распадом.

Взаимодействие между атомами и молекулами имеет преимущественно электромагнитную природу. Таким взаимодействием объясняется образование различных агрегатных состояний вещества: твердого, жидкого и газообразного.

Познание есть обобщение действительности, и поэтому цель науки – поиск единства в природе, связывание разрозненных фрагментов знания в единую картину. Для того чтобы создать единую систему, нужно открыть глубинное связующее звено между различными отраслями знания, некоторые фундаментальные отношения. Поиск таких связей и отношений – одна из главных задач научного познания. Всякий раз, когда удается установить такие новые связи, значительно углубляется понимание окружающего мира, формируются новые способы познания, которые указывают путь к неизвестным ранее явлениям.

Так, существует точка зрения, что все четыре фундаментальных взаимодействия (или хотя бы три) представляют собой явления одной природы и может быть найдено их единое теоретическое объяснение – Великое объединение. Перспектива создания единой теории мира физических элементов (на основе одного-единственного взаимодействия) остается пока весьма привлекательной.

Естествознание – совокупность наук о природе – изучает материальный мир во всем многообразии его существования и превращений. Материя как объективная реальность проявляется в двух формах: вещества и поля. Обе формы находятся в тесной связи.

Вещество – такая форма материи, которая проявляется прежде всего в виде частиц, имеющих собственную массу (массу покоя). Это материя на разных уровнях ее организации: элементарные частицы, атомные ядра, атомы, молекулы, агрегаты молекул, кристаллы, жидкости, газы, горные породы и т. д.

Поле (гравитационное, электромагнитное, внутриядерное) – такая форма материи, которая характеризуется прежде всего энергией, а не массой, хотя и обладает последней.

В соответствии с современными представлениями материя дискретна. Любое тело и любое поле состоят из «элементарных» тел и «элементарных» полей, т. е. *микрочастиц* и *микрочастиц*.

Как уже отмечалось ранее, микрочастицы подразделяются на два класса: адроны и лептоны.

Перечень известных частиц не исчерпывается лептонами и адронами, образующими строительный материал вещества. Есть частицы, которые не являются строительным материалом материи, а непосредственно обеспечивают четыре фундаментальных взаимодействия, т. е. образуют своего рода «клей», не позволяющий миру распадаться на части.

Переносчиком электромагнитного взаимодействия выступает *протон*.

Переносчики сильного взаимодействия – *глюоны*, связывающие кварки попарно или тройками.

Слабое взаимодействие осуществляется с помощью частиц, которые называются *бозоны*. Они были открыты в 1983 г.

В настоящее время высказывается мнение (пока экспериментально не подтвержденное), что возможно существование и переносчиков гравитационного взаимодействия – *гравитонов*. Подобно фотонам, гравитоны движутся со скоростью света, следовательно, это частицы с нулевой массой покоя. На этом сходство между данными частицами исчерпывается.

3.2. Законы сохранения и превращения

Встречающиеся в природе различные виды материи могут превращаться друг в друга различными способами. Водород, соединяясь с кислородом, образует воду, протоны и нейтроны формируют ядра атомов, ядра вместе с электронами образуют атомы, электрон, аннигилируя с позитроном, превращается в кванты электромагнитного поля и т. д. Поэтому можно констатировать, что количество одного вида материи может уменьшаться или увеличиваться, однако это всегда связано с увеличением или уменьшением количества другого вида материи.

Экспериментально установлено, что в изолированной системе общее количество материи постоянно, при этом она из одной формы может переходить в другую. Другими словами, *материя из ничего не создается и в ничто не превращается, она лишь из одной формы переходит в другую в строго определенных количествах*. Это закон сохранения и превращения материи, являющийся фундаментальным законом природы.

Впервые закон сохранения и превращения материи был сформулирован и экспериментально доказан для частного случая закона сохранения массы при химических реакциях. В 1756 г. М. В. Ломоносов, исследуя взаимодействие свинца с воздухом в запаянном сосуде, не обнаружил различия массы сосуда до и после реакции окисления. Дальнейшие исследова-

ния ученых А. Лавуазье (1774), Х. Ландольта и Л. Этвеша (1909) подтвердили сохранение массы при химических реакциях в закрытых системах с очень высокой степенью точности (погрешность менее $10^{-6}\%$).

Независимо от закона сохранения массы развивались представления о справедливости закона сохранения и превращения энергии, берущего начало с известной формулировки М. В. Ломоносова. Под энергией понимают общую количественную меру различных форм движения и взаимодействия материальных объектов. Различают следующие виды энергии:

- механическую (кинетическую) – энергию макроскопических тел;
- тепловую – энергию хаотического движения атомов и молекул;
- электрическую, преимущественно связанную с перемещением электронов между атомами и молекулами;
- магнитную – форму материального взаимодействия, возникающего между движущимися электрически заряженными частицами посредством магнитного поля. Строго говоря, магнитное и электрическое поле – это две неразрывные стороны единого электромагнитного поля. Только в случае статических полей можно говорить об их относительной самостоятельности;
- химическую, являющуюся следствием движения электронов в атомах или молекулах;
- потенциальную, обусловленную движением материи в виде физических полей (обменом между взаимодействующими частицами (квантами) соответствующего физического поля).

Все перечисленные выше виды энергии, характеризующие конкретные формы движения, способны переходить друг в друга. Итак, *энергия не возникает из ничего и не уничтожается бесследно, она лишь может превращаться в другие виды энергии в строго эквивалентных отношениях.*

Экспериментальной проверкой этого закона занимались многие ученые. Так, Г. Гесс (1840) исследовал тепловые эффекты химических реакций, Дж. Джоуль и Э. Ленц (1842) – преобразование электрической энергии в тепловую и т. д.

Обобщение двух частных законов – закона сохранения массы и закона сохранения и превращения энергии – в единый фундаментальный закон сохранения и превращения материи произошло в начале XX в. и связано с революцией в физике. Этот период отмечен успехами в исследовании элементарных частиц, созданием квантовой механики и теории относительности.

Согласно теории относительности Эйнштейна (1905–1916), масса любого тела при приближении скорости его движения v к скорости света c изменяется со скоростью как

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

где m – масса покоя, и полная энергия движущегося тела равна $E = mc^2$. Таким образом, масса материального объекта выступает в новом качестве, т. е. она является не только мерой инерции, но и мерой энергии. Становится понятной причина дефекта массы, обнаруженного у составных ядер атомов. Было установлено, что масса ядра не равна простой сумме масс протонов и нейтронов, входящих в его состав. Дефект массы обеспечивается энергией связи нуклонов в ядре. Таким образом, закон сохранения и превращения энергии здесь тоже выполняется.

3.3. Особенности микромира

Открытие сложного строения атома – важнейший этап становления современной физики. В процессе создания количественной теории строения атома, позволившей объяснить атомные системы, были сформированы новые представления о свойствах микрочастиц, которые описываются квантовой механикой.

Существование закономерной связи между всеми химическими элементами, ярко выраженной в периодической системе Менделеева, наталкивает на мысль о том, что в основе строения всех атомов лежит общее свойство.

Различные предположения о строении атома долгое время не подтверждались какими-либо экспериментальными данными. Лишь в конце XIX в. были сделаны открытия, показавшие сложность строения атома и возможность превращения при определенных условиях одних атомов в другие. На основе этих открытий стало быстро развиваться учение о строении атома.

Первый толчок был дан Дж. Томсоном (1895), который открыл электрон – отрицательно заряженную частицу, входящую в состав всех атомов. Поскольку электрон имеет отрицательный заряд, а атом в целом нейтра-

лен, то было сделано предположение о наличии и положительного заряда в атоме.

Затем последовало открытие А. Беккерелем явления радиоактивности, которое заключалось в самопроизвольном превращении атомов одних элементов в атомы других элементов. Именно исследование радиоактивности позволило получить первые представления о строении атома.

В 1911 г. Э. Резерфорд предлагает ядерную модель атома. Исследования по рассеянию α -частиц хорошо объясняли планетарную модель атома, состоявшую из положительно заряженного ядра, заключавшего в себе почти всю массу атома, и «планетарной системы» электронов.

В 1913 г. Н. Бор впервые при решении вопроса о строении атома применил принцип квантования. Его гипотеза строения атома основывалась на двух постулатах, совершенно несовместимых с классической физикой: 1) существуют стационарные состояния (орбиты) электронов; 2) при переходе из одного стационарного состояния в другое атом излучает или поглощает порцию энергии.

Теория Бора занимает пограничное положение между классической физикой и квантовой механикой.

3.3.1. Радиоактивность

Полной теории структуры атомных ядер пока не создано. Существует «капельная» модель, удовлетворительно объясняющая деление ядер, но не объясняющая периодичность элементов таблицы Менделеева и саму радиоактивность. Предложенная Ю. С. Майером «оболочечная» модель ядра (аналог оболочечной структуры электронов в атоме) хорошо объясняет устойчивость ядер, их периодичность, но не объясняет явление деления ядер. В настоящее время ученые используют «комбинированную» модель ядра – гибрид «капельной» и «оболочечной» моделей. Предполагается, что протоны и нейтроны независимо друг от друга заполняют ядерные слои и оболочки, подобно тому как электроны распределяются в электронных оболочках атома.

Сегодня известно порядка 300 устойчивых и более 1000 радиоактивных ядер, которые с течением времени могут испытать радиоактивный распад и превратиться в ядра других элементов. *Радиоактивность* – процесс превращения одних ядер в другие с испусканием элементарных частиц. Различают естественную (спонтанную) и искусственную радиоактивность.

Замечено, что ядра, содержащие количество протонов или нейтронов, равное «магическому числу» ряда 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126 и 152, особенно стабильны. Предполагается, что «магические числа» нуклонов соответствуют завершенным ядерным слоям и подслоям.

Символ элемента записывают следующим образом:



где Z – порядковый номер в таблице Менделеева (зарядовое число, равное числу протонов в ядре);

A – массовое число, равное сумме числа протонов и нейтронов в ядре.

$$A = Z + N,$$

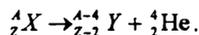
где N – число нейтронов.

К «магическим» ядрам по числу протонов можно отнести: ${}_{28}\text{Ni}$, ${}_{50}\text{Sn}$, ${}_{82}\text{Pb}$; по числу нейтронов: ${}_{38}^{88}\text{Sr}$, ${}_{40}^{90}\text{Zr}$, ${}_{56}^{138}\text{Ba}$; к дважды «магическим»: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}$.

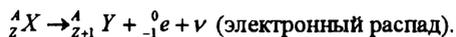
Продолжительность жизни радиоактивных атомов определяется строением их ядер и характеризуется *периодом полураспада* $T_{1/2}$, т. е. временем, в течение которого распадается половина исходного количества ядер данного элемента. Величина $T_{1/2}$ варьируется в очень широком диапазоне от 10^{-3} с до 10^{10} лет. Для большинства изотопов она составляет от 30 с до 10 сут.

Типы радиоактивного распада:

1. *Альфа-распад*. Сопровождается выбрасыванием из ядра α -частицы (ядра гелия), что характерно для тяжелых элементов, и происходит по схеме

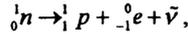


2. *Бета-распад*. Сопровождается выбрасыванием из ядра электрона или позитрона и протекает по схеме



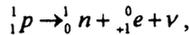
Существуют три разновидности бета-распада:

- Испускание электрона ядром происходит за счет превращения нейтрона в протон:



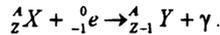
где $\bar{\nu}$ – антинейтрино.

- Для ядер с недостатком нейтронов (легкие элементы) характерен позитронный распад:



где ν – нейтрино.

- К такому же изменению ядра, как и при позитронном распаде, приводит электронный захват, при котором электрон, находящийся на одном из ближайших к ядру подслоев, захватывается ядром:



Попавший в ядро электрон участвует в превращении протона в нейтрон, т. е. ${}_1^1p + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_0^1n + \gamma$, где γ – «жесткое» электромагнитное или гамма-излучение.

Для тяжелых элементов наряду с естественной радиоактивностью (α и β) возможно самопроизвольное деление ядра на две части.

Отметим, что все элементы, начиная с $z = 83$, являются радиоактивными. Среди них существует всего три изотопа, продолжительность жизни которых такова, что они смогли сохраниться на Земле (${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{82}^{238}\text{U}$, ${}_{90}^{232}\text{Th}$). Цепочки распадов тяжелых элементов завершаются образованием стабильных изотопов свинца и гелия.

Поскольку человек живет в материальном мире, состоящем из большинства нестабильных изотопов, то он постоянно находится в поле излучения от различных источников. Современные оценки усредненной радиационной нагрузки, приходящейся на человека, не попавшего в зону аварий и не связанного с атомной техникой, приведены в табл. 3.

Превращение ядер происходит не только при радиоактивном распаде, но и при разнообразных ядерных реакциях. Они осуществляются при взаимодействии нейтронов, протонов, альфа-частиц, гамма-квантов с ядрами

элементов. Схема этих реакций такова: ядро-мишень захватывает бомбардирующую частицу с образованием составного ядра (компаунд-ядро). Это ядро испускает другую элементарную частицу или легкое ядро и превращается в новый изотоп.

Таблица 3
Относительные дозы облучения населения от различных источников, %

Источники облучения	Доза облучения
<i>Естественные</i>	
Радон – радиоактивный природный газ	37,0
γ-фон Земли	19,0
Внутреннее облучение	17,0
Космическое излучение	14,0
<i>Искусственные</i>	
Медицинская диагностика	11,5
Радиоактивные осадки	0,5
Ядерная промышленность	0,1
Профессиональное облучение	0,4
Разное	0,5

Ядерные реакции осуществляются как для тяжелых ядер (конец таблицы Менделеева), так и для легких. Первые известны как реакции деления ядер (цепная реакция деления урана), вторые – как реакции синтеза легких элементов (термоядерные реакции). И те и другие реакции сопровождаются выделением огромного количества энергии, которое человечество стремится использовать в мирных целях.

3.3.2. Корпускулярно-волновой дуализм микромира

Современная теория строения атома базируется на законах, описывающих движение микрочастиц, которые качественно отличаются от свойств и закономерностей движения макроскопических тел, хорошо изученных классической физикой. Движение и взаимодействие микрочастиц описывает квантовая (волновая) механика, которая основывается на принципах квантования энергии, волновом характере движения микрочастиц и вероятностном (статистическом) методе описания микрообъектов.

Формирование квантово-механических взглядов опиралось на целый ряд экспериментальных фактов, открытых к началу XX в. (фотоэффект,

атомные спектры, эффект Комптона и др.). Классические представления не могли дать приемлемого их объяснения.

Гипотезу о квантовании энергии теплового излучения впервые высказал М. Планк (1900) и позднее обосновал А. Эйнштейн (1905). Энергия кванта E зависит от частоты излучения:

$$E = h\nu,$$

где h – универсальная постоянная (постоянная Планка), $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
 ν – частота излучения.

А. Эйнштейн первым понял, что дискретность поглощения и испускания – неотъемлемое свойство самого излучения. Через некоторое время после введения понятия кванта он применил идею дискретности излучения к объяснению явления фотоэффекта (появление электрического тока в вакууме вследствие выбивания электронов из металла под действием излучения).

Таким образом, в теории электромагнитного излучения появились два представления. С одной стороны, электромагнитное излучение для всех длин волн обнаруживает волновые свойства (дифракция, интерференция, поляризация), что убедительно доказывает его волновую природу. С другой стороны, оно рассматривается как поток микрочастиц – фотонов (квантов энергии), корпускулярные свойства которого наглядно проявляются при фотоэффекте и комптоновском рассеянии.

На вопрос, какой из двух точек зрения отдать предпочтение, следует ответить: и та и другая сторона явления составляют сущность излучения. Таким образом, излучение имеет как волновую, так и корпускулярную природу. Этот *корпускулярно-волновой дуализм* является объективной реальностью существования излучения.

В 1924 г. Луи де Бройль выдвинул гипотезу о том, что двойственность свойств присуща не только электромагнитному излучению (полку), но и другой форме материи – веществу. При этом каждой частице массой m , движущейся со скоростью v , соответствует длина волны λ :

$$\lambda = \frac{h}{mv}.$$

Гипотеза де Бройля была подтверждена явлением дифракции электронов на кристаллах никеля. В настоящее время дифракция электронов, протонов, нейтронов широко используется в науке и технике для исследования структуры вещества. После экспериментального подтверждения гипо-

тезы де Бройля было установлено, что корпускулярно-волновой дуализм присущ всей материи, т. е. как излучению (полю), так и веществу.

В классической механике частица обладает свойством двигаться по вполне определенной траектории, и в любой момент времени мы можем точно определить ее координаты и скорость.

Волна таким свойством не обладает. Она не имеет координат, и нет смысла говорить о длине волны в данной точке пространства.

Из корпускулярно-волнового дуализма вытекает совершенно неожиданное правило: если мы точно знаем координаты частицы, то мы не знаем ее скорости (импульса), и наоборот, если частица имеет точно определенную скорость (импульс), мы ничего не можем сказать о ее координате. Это правило называется *принципом неопределенности*, установленным Г. Гейзенбергом в 1927 г., и математически записывается как

$$\Delta x \Delta P_x \geq \frac{h}{2\pi};$$

$$\Delta y \Delta P_y \geq \frac{h}{2\pi};$$

$$\Delta z \Delta P_z \geq \frac{h}{2\pi},$$

где Δx – неопределенность координаты x ,

ΔP_x – неопределенность импульса вдоль оси x ;

h – постоянная Планка.

В квантовой физике, физике микромира, мы никогда не знаем состояние микрочастицы, системы с точностью большей, чем это допускает принцип неопределенности. Поэтому ученые вынуждены перейти на *вероятностный* метод описания систем и явлений микромира.

Так, понятие «материальная точка» исчезает, уступив место чему-то вроде «вероятностного облака», более или менее плотного в той или иной области пространства. Это зависит от «степени вероятности», с которой точка находится в этой области.

Прорыв в решении задачи о поведении электрона в атоме произошел с созданием Э. Шредингером (1926) волновой квантовой механики. В качестве отправных были взяты следующие положения: движение электрона имеет волновую природу; наши знания носят вероятностный характер.

Поскольку имеется волновое движение, то для его математического описания должно существовать волновое уравнение. Так как для световых и звуковых волн уравнения движения известны, то можно найти такое уравнение и для электронных волн (волн де Бройля).

Э. Шредингер ввел некоторую функцию координат и времени, названную волновой функцией (пси-функцией), несущей при определенных условиях вероятностный смысл (квадрат ее модуля определял плотность вероятности нахождения электрона в данной точке пространства). Используя закон сохранения энергии для движущейся частицы, он записал волновое уравнение, решение которого определяло вид волновой функции.

По своему значению в квантовой механике уравнение Шредингера играет такую же роль, как второй закон Ньютона в классической механике. Подобно тому как в классической механике с помощью второго закона Ньютона решаются задачи, связанные с движением макроскопических тел, в квантовой механике с помощью уравнения Шредингера решаются задачи, связанные с движением микрообъектов.

Решения волнового уравнения показывают, что энергия микрочастиц может принимать строго определенные (дискретные) значения, позволяют для различных условий получить распределение плотности вероятности нахождения микрочастицы в пространстве (для электронов это орбитали, электронные облака).

Согласно решению волнового уравнения, электрон в атоме может находиться только в определенных квантовых состояниях, соответствующих разрешенным значениям его энергии связи с ядром. Для атома водорода энергия электрона может принимать только те значения, которые задаются выражением

$$E_n = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ эВ},$$

где n – главное квантовое число ($n = 1, 2, 3, 4, \dots, \infty$);

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Графически энергию квантовых состояний и квантовых переходов можно изобразить с помощью схемы уровней энергии (рис. 7).

Квантовое состояние с наименьшей энергией ($n = 1, E_1$) называют основным. Остальные квантовые состояния с более высокими значениями энергии (E_2, E_3, E_4, \dots) называют возбужденными. Электрон в основном

состоянии связан с ядром наиболее прочно. С увеличением энергии эта связь ослабевает вплоть до отрыва при $n \rightarrow \infty$. В основном состоянии электрон в атоме может существовать неограниченно долго, а в возбужденном состоянии – ничтожно мало (для атома водорода – 10^{-8} с).

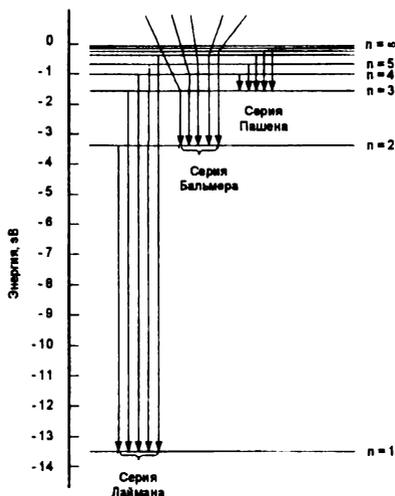


Рис. 7. Схема уровней энергии и квантовые переходы электрона в атоме водорода

Возбуждение электронов в атоме возможно различными способами (нагревание, электрический разряд, поглощение света или другого излучения). Возбуждаясь, электрон переходит на тот или иной энергетический уровень. Через 10^{-8} с электрон перейдет на нижележащий энергетический уровень, освобождая при этом порцию энергии. Если происходит переход с уровня $n = 3$ на уровень $n = 2$, то освобождается энергия $h\nu = E_3 - E_2 = 1,89$ эВ.

Отметим, что квантовые переходы электрона соответствуют скачкообразному изменению среднего размера электронного облака: ослабление энергии связи электрона с ядром – увеличению объема облака, возрастание энергии связи – сжатию и уплотнению облака.

Экспериментально квантование энергии электронов в атомах обнаруживается в их спектрах поглощения и испускания. Атомные спектры имеют линейчатый характер.

Спектры испускания легко иллюстрируются схемой уровней энергии на рис. 7. Если каким-либо способом атомарный водород перевести в возбужденное состояние, то квантовые переходы электронов с вышележащих уровней на нижележащие станут сопровождаться выделением квантов света в виде фотонов с энергией $E = h\nu$ (т. е. определенной частоты и длины волны), что будет фиксироваться появлением определенных спектральных линий. Переходам на уровень с $n = 1$ соответствуют линии в ультрафиолетовом диапазоне спектра (серия Лаймана), переходам на уровень с $n = 2$ – линии видимой области спектра (серия Бальмера) и т. д.

Очень важно, что спектры атомов строго *характеристичны*, т. е. индивидуальны для атомов каждого элемента. Именно это позволяет при помощи спектрального анализа определять состав вещества, в том числе и таких удаленных предметов, как Солнце и звезды.

Установлено, что электронная плотность в атоме распределена неравномерно. Область пространства, где пребывание электрона наиболее вероятно, называется *орбиталью*. Орбиталь однозначно можно описать с помощью набора целых чисел, называемых *квантовыми числами*. Как показывают расчеты, таких чисел четыре – n, l, m_l, s . Известное уже нам n – главное квантовое число – определяет энергию электронного облака. Орбитальное квантовое число l определяет форму орбитали (сфера, гантелька, розетка и т. д.). Ориентацию в пространстве определяет m_l – магнитное квантовое число. Четвертым квантовым числом является s – спиновое квантовое число, характеризующее собственный момент импульса частицы.

Квантовые числа характеризуют энергию электрона, объем и форму его орбитали, ее ориентацию в пространстве. При переходе атома из одного квантового состояния в другое значения квантовых чисел изменяются и происходит перестройка электронного облака.

При рассмотрении более сложных атомов (многоэлектронные системы) большое значение имеет *принцип Паули*, по которому в любой квантово-механической системе не может быть двух электронов с одинаковой четверкой квантовых чисел.

Поразительным является то, что все выводы, следующие из квантово-механических принципов, находятся в полном соответствии с построением периодической таблицы элементов Менделеева, созданной еще в 1869 г.

4. ПРОЦЕССЫ В ВЕЩЕСТВЕ

4.1. Методы описания систем и процессов

Окружающий нас материальный мир, как уже отмечалось, состоит из бесчисленного количества разновидностей объектов разного масштаба и сложной их соподчиненности. Все разновидности вещества в зависимости от условий участвуют в различных взаимодействиях, взаимных превращениях, проявляя при этом разнообразные физические и химические свойства, которые зависят от их строения, состава и структуры. Очевидно, что, изучая сущность процессов взаимопревращения веществ, изменение структуры их свойств, требуется решать широкий круг вопросов.

1. Почему происходят различные процессы?
2. Как направление процессов зависит от условий эксперимента?
3. Насколько полно идут эти процессы?
4. Какие вещества и в каких агрегатных состояниях образуют конечные продукты в результате превращений?

5. С какими реальными скоростями и по каким механизмам (в том числе химическим) реализуются превращения?

Ясно, что перечень вопросов может быть существенно расширен.

Каковы же основные методологические подходы к ответам на поставленные вопросы?

Первый метод – *термодинамика*. Особенностью этого метода является то, что он не рассматривает структуру, строение макрообъекта (макросистему, имеющую $\sim 10^{20}$ молекул) на молекулярном уровне. Термодинамический метод исследует закономерности превращения одних видов энергии в другие и носит опытный и формальный характер. Термодинамика опирается на некоторые фундаментальные законы (начала), использует простой математический аппарат, что дает возможность ее широкого применения, но имеет и некоторые ограничения.

Второй метод – *статистическая механика*, в основе которой лежит учение о молекулярном строении вещества. Статистическая механика описывает движение коллектива частиц и получает их усредненные характеристики с помощью статистических законов, что дает возможность связать макросвойства системы с микросвойствами отдельных частиц. По сравнению с термодинамикой второй метод расширяет область рассматриваемых явлений.

Третий метод – *квантово-механический*, лежащий в основе учения о строении и свойствах отдельных атомов и молекул и взаимодействии их между собой. При этом главное внимание уделяется законам движения и распределения электронов по орбиталям. Отметим, что именно квантовая механика объясняет природу химических связей, соединяющих атомы в молекулы.

4.1.1. Термодинамический метод описания систем и процессов

Классическая физика подчеркивает устойчивость, постоянство окружающего мира. Сегодня очевидно, что это справедливо лишь в редких случаях. Даже обобщенная с учетом положений квантовой механики и теории относительности динамика (наука о движении и его причинах) не делает различий между прошлым и будущим.

Окружающий нас мир непрерывно изменяется. Движение – неотъемлемый атрибут материи. Движение материи проявляется в разных формах, которые постоянно переходят друг в друга.

Мерой движения материи, т. е. его количественной и качественной характеристикой, является энергия, которая, как и движение, может существовать в различных формах.

Движение неуничтожимо, как и сама материя, что проявляется в форме наиболее общего закона природы – *закона сохранения и превращения энергии*. Энергия не создается и не исчезает бесследно. При всех процессах и явлениях суммарная энергия частей материальной системы, участвующих в данном процессе, не увеличивается и не уменьшается, оставаясь постоянной.

Законы превращения одной формы энергии в другую изучаются термодинамикой.

Исторически термодинамика возникла как наука, изучающая переход теплоты в механическую работу, т. е. ее появление было обусловлено необходимостью создания теоретических основ тепловых машин.

Современная термодинамика – наука, изучающая взаимосвязь между тепловой и другими видами энергии, а также влияние этой связи на свойства физических тел.

Всякое превращение энергии связано с каким-либо процессом. В каждом процессе участвует определенное количество материальных тел. Совокупность тел, участвующих в том или ином процессе, называют *систе-*

мой. Система выделяется в пространстве либо реальными физическими, либо мысленными модельными границами. Тела, находящиеся за пределами (границами) системы, образуют *окружающую среду* (рис. 8).



Рис. 8. Выделение термодинамической системы из окружающей среды

Система и окружающая среда могут взаимодействовать друг с другом. Это взаимодействие заключается в передаче друг другу энергии и массы. Такие системы называются *открытыми*.

Если количество вещества в системе в ходе процессов остается постоянным, т. е. обмена веществом с окружающей средой нет, то система называется *замкнутой* (закрытой). В такой системе возможен только процесс обмена энергией с окружающей средой.

Если масса и энергия системы остаются постоянными, то такая система называется *изолированной*. Все процессы, происходящие в ней, сводятся к перераспределению массы и энергии между отдельными частями системы. Изолированные системы независимо от своего начального состояния в конечном итоге приходят в состояние, которое в дальнейшем уже не изменяется. Это конечное состояние называется состоянием *термического* или *теплового равновесия*.

В основе термодинамики лежат три фундаментальных закона (начала), которые являются обобщением опытных данных (фактов).

Первое начало представляет собой закон сохранения и превращения энергии в применении к макроскопическим (термодинамическим) системам.

Второе начало определяет функцию состояния системы (энтропию), характеризующую направленность процессов в системе и условие равновесного состояния.

Третье начало утверждает принцип недостижимости абсолютного нуля температур и обращение в нуль энтропии равновесного идеального кристалла при приближении его температуры к абсолютному нулю.

4.1.2. Первое начало термодинамики

Первое начало термодинамики является математическим выражением закона сохранения энергии в замкнутой (изолированной) системе в случае, когда в ней имеют место механические и тепловые процессы.

В XVIII в. появилась первая формулировка первого начала термодинамики: «Вечный двигатель первого рода невозможен». Другими словами, была доказана невозможность создания механического вечного двигателя (устройства, с помощью которого можно было бы производить механическую работу без внешнего воздействия на него).

Первое начало термодинамики записывают в виде

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

где Q – количество теплоты, полученное (или отданное) системой;

A – работа, совершенная системой над внешней средой;

ΔU – изменение внутренней энергии системы.

Под внутренней энергией системы понимают полный запас кинетической и потенциальной энергии данной системы. Сюда входят энергия движения частиц и молекул, из которых состоят макрочастицы, энергия взаимодействия атомов в молекулах и отдельных составляющих атомов частиц.

Математическая формулировка первого начала термодинамики: *количество теплоты Q , полученное системой, идет на изменение (приращение) ее внутренней энергии и на совершение работы против внешних сил.*

4.1.3. Второе начало термодинамики

Несмотря на всю важность и общность первого начала термодинамики, оно оказалось недостаточным для полного описания термодинамических процессов и систем.

Недостатками первого начала являются:

1. Теплота (Q), входящая в уравнение, не выражена через параметры системы.
2. Не указывается направление процессов, происходящих в системе, и условия достижения равновесного состояния.

Эти недостатки легко просматриваются на простом примере падения тела в поле силы тяжести (рис. 9).

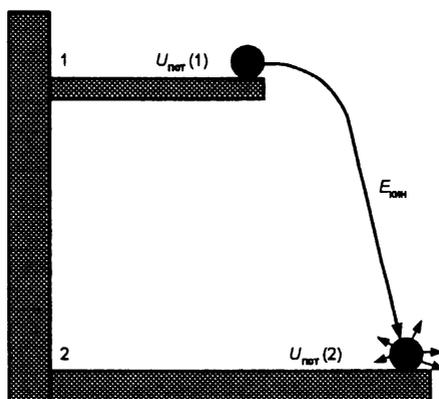


Рис. 9. Схема падения тела

При падении тела из положения 1 в положение 2 наблюдается переход потенциальной энергии в кинетическую. При резкой остановке тела в положении 2 кинетическая энергия переходит в тепловую энергию хаотического движения частиц тела, опоры, воздуха и в виде тепла рассеивается в окружающем пространстве. Первому началу термодинамики не противоречил бы и обратный процесс: тело в положении 2 отбирает энергию из окружающей среды, охлаждая ее, и переходит, имея запас энергии, в положение 1.

Хорошо известно, что многие процессы, происходящие в реальном мире, необратимы. Направленность тех или иных процессов и является объектом описания второго начала термодинамики.

Второе начало термодинамики было впервые сформулировано Р. Клаузиусом (1850) как обобщение фактов, наблюдаемых при изучении процессов теплопередачи: «Теплота не может сама собой переходить от холодного тела к нагретому».

В 1854 г. Р. Клаузиус вводит понятие *энтропии* (S) – некоторой функции состояния, изменение которой при температуре T определяется для изолированной системы соотношением

$$\Delta S = \frac{\dot{A}\Theta}{T}.$$

При *обратимых процессах* полное изменение энтропии ΔS системы равно нулю. Однако если процесс необратим, то изменение энтропии ΔS больше нуля, т. е. энтропия в изолированных системах при протекании необратимых процессов возрастает ($\Delta S \geq 0$).

Величина ΔQ – количество теплоты, полученное или отданное системой вследствие необратимых процессов, протекающих внутри системы.

Отсюда если система изолирована и находится в равновесном состоянии, то $\Delta Q = 0$, а следовательно, и $\Delta S = 0$. Если же изолированная система находится в неравновесном состоянии, то $\Delta S > 0$. Значит, для изолированных систем с помощью энтропии можно предсказать направление самопроизвольных процессов (они идут в сторону равновесного состояния).

4.1.4. Статистическая природа второго начала термодинамики

Классическая термодинамика рассматривает макросистемы, не вникая в корпускулярную структуру. Почему в системе происходят процессы, приводящие ее из неравновесного состояния в равновесное, почему такие процессы являются необратимыми – на эти вопросы дает ответы статистическая физика.

Другой независимый способ рассмотрения тех же самых систем может быть реализован молекулярно-статистическим методом, который основывается на микроскопическом изучении поведения отдельных частиц, составляющих систему, и позволяет установить взаимосвязи между статистически усредненными параметрами этих частиц и макроскопическими параметрами термодинамической системы в целом.

В качестве примера системы, состоящей из большого числа частиц, можно рассматривать газ. Макросостояние газа определяется его параметрами: давлением, объемом и температурой. Микросостояние определяется координатами и скоростями движения его молекул в данный момент времени. Ясно, что микросостояние газа постоянно изменяется и для данного макросостояния мы имеем большое число микросостояний. Чем большее число микросостояний отвечает данному макросостоянию, тем легче оно возникает.

Пусть, например, имеется сосуд с разными газами, разделенными перегородкой с закрытым клапаном. Эти газы находятся в тепловом равновесии при одинаковом давлении. Если клапан открыть, то через некоторое время

из-за хаотического теплового движения произойдет полное смешение обоих газов и получится однородная смесь газов во всем объеме сосуда.

Равномерное распределение молекул газа по всему объему будет более вероятным состоянием газа, чем вариант, когда смесь газа сама собой разделится на два отдельных компонента в одной и другой частях сосуда. Такое макросостояние (раздельные компоненты газа) реализуется меньшим числом способов, чем равномерное распределение, и представляется практически невероятным. Таким образом, смешение – процесс *необратимый*.

Введение Л. Больцманом (1872) понятия термодинамической вероятности (W) как числа микросостояний, посредством которых реализуется данное макросостояние, позволило интерпретировать энтропию (S) с точки зрения вероятностного состояния системы:

$$S = k \ln W,$$

где k – постоянная Больцмана.

Таким образом, S – функция состояния системы, определяемая термодинамической вероятностью, в изолированной системе может изменяться только в сторону возрастания (если система неравновесна) или оставаться постоянной (если система находится в равновесном состоянии), т. е. $\Delta S \geq 0$.

Если система находится в неравновесном состоянии, т. е. температура, давление, концентрация и т. д. в разных ее частях различны (W_1, S_1), то с течением времени наиболее вероятным станет такое ее состояние, когда эти параметры выравняются (W_2, S_2), причем $W_2 > W_1 \rightarrow S_2 > S_1$. Значит, $\Delta S > 0$.

Отметим, что когда в системе наступает термодинамическое равновесие и энтропия достигает своего максимального значения $S = S_{\max}$, то $\Delta S = 0$.

Используя статистическое рассмотрение энтропии, часто вводят понятие «порядок» или «беспорядок», т. е. энтропия – мера беспорядка. Так, если взять кусок льда и поместить его в большой стеклянный куб (система замкнута) при комнатной температуре, то с течением времени будет наблюдаться изменение состояния льда (молекул воды во льде). В начальном состоянии молекулы воды, находясь в узлах кристаллической решетки льда, будут иметь состояние, определяемое термодинамической вероятностью W_1 , а значит, и S_1 . По мере нагревания лед постепенно переходит в жидкое состояние с $W_2 > W_1$ ($S_2 > S_1$), т. е. беспорядок молекул

воды стал больше, чем у молекул льда. Дальнейший нагрев воды до комнатной температуры (опыт проводили в термостате) приводит к ее испарению, превращению в пар с W_3 , S_3 , которые имеют большее значение, чем для воды (W_2 , S_2). Таким образом, с ростом энтропии в изолированной системе беспорядок увеличивается.

После формулировки второго начала термодинамики Л. Больцманом возникла драматическая гипотеза «тепловой смерти Вселенной». По словам Р. Клаузиуса, энтропия Вселенной возрастает. Все виды энергии во Вселенной перейдут в энергию теплового движения, равномерно распределенного по веществу. Все макроскопические процессы, определяющиеся переносом энергии, массы, заряда, прекратятся.

Действительно, при таком «сценарии» развития Солнце и звезды в какой-то момент израсходуют запасы свободной энергии, излучив их во всех направлениях. Звезды погаснут, и все существующие перепады температур выравняются, все тела приобретут некоторую одинаковую среднюю температуру. При этом в соответствии с законом сохранения энергии полная энергия Вселенной сохранится, но исчезнет вся жизнь, ни одна машина не сможет прийти в движение.

Почему такая гипотеза несостоятельна?

Во-первых, второе начало термодинамики было сформулировано на основе обобщения опытных данных, относящихся к ограниченному, хотя и большому, макросистемам. Для распространения же этого начала на всю Вселенную нет оснований.

Во-вторых, Вселенная не является изолированной системой. Согласно современным данным, она неоднородна, нестационарна и бесконечна.

В-третьих, в космическом масштабе определяющее значение во взаимодействии отдельных частей Вселенной имеют гравитационные силы, что обуславливает существенную роль в эволюции больших флуктуаций, случайностей. В данном случае, когда гравитационная энергия макроскопических частей сталкивается с соизмеримой по величине их внутренней энергией, мы имеем систему, которая в целом не является чисто термодинамической, т. е. второе начало термодинамики нельзя применять к большим участкам Вселенной, а тем более ко всей Вселенной как целому.

4.2. Устойчивость, неустойчивость, бифуркация

Концепция самоорганизации – новое междисциплинарное направление научных исследований, продолжающее формироваться и в настоящее время. По своему влиянию оно сравнимо с кибернетикой, с системными исследованиями и с эволюционной теорией в биологии. Поэтому не случайно говорят, что самоорганизация становится парадигмой исследования обширного класса систем и процессов различной природы.

Классическую физику и термодинамику объединяет общая черта: их предмет познания – это простые (замкнутые, изолированные, обратимые во времени) системы. Однако такое понимание предмета познания является абстракцией. Подавляющее большинство реальных систем открытые. Это значит, что они обмениваются энергией, веществом и информацией с окружающей средой. К такого рода системам относятся физические, химические, биологические и социальные системы, которые больше всего интересуют человека.

Человек всегда стремится постичь природу сложного, пытаясь ответить на вопросы: как ориентироваться в сложном и нестабильном мире? какова природа сложного и каковы законы его функционирования и развития? в какой степени предсказуемо поведение сложных систем?

В 70-е гг. XX в. начала активно развиваться теория сложных самоорганизующихся систем. Результаты исследований в области нелинейного (порядка выше второго) математического моделирования сложных открытых систем привели к рождению нового мощного научного направления в современном естествознании – синергетики (в переводе с древнегреческого – сотрудничество, совместное действие). Как и кибернетика, синергетика – это некоторый междисциплинарный подход. В отличие от кибернетики, где акцент делается на процессах управления и обмена информацией, синергетика ориентирована на исследование принципов построения организации, ее возникновения, развития и самоусложнения.

Мир нелинейных, самоорганизующихся систем гораздо богаче, чем закрытых, линейных систем. Вместе с тем нелинейные системы сложнее моделировать. Как правило, для приближенного решения большинства нелинейных уравнений требуется сочетание современных аналитических методов с вычислительными экспериментами. Синергетика открывает для точного, количественного, математического исследования такие стороны

мира, как его нестабильность, многообразие путей изменения и развития, раскрывает условия существования и устойчивого развития сложных структур, позволяет моделировать катастрофические ситуации и т. п.

Методами синергетики было осуществлено моделирование многих сложных самоорганизующихся систем: от морфогенеза в биологии, некоторых аспектов функционирования мозга, флаттера (колебания на грани разрушения) крыла самолета, от молекулярной физики и автоколебательных процессов в химии (реакция Белоусова – Жаботинского (БЖ)) до эволюции звезд и космологических процессов, от электронных приборов до формирования общественного мнения и демографических процессов. Основной вопрос синергетики – существуют ли общие закономерности, управляющие возникновением самоорганизующихся систем, определяющие их структуру и функции.

Отметим главные характеристики самоорганизующихся систем. Согласно определению одного из основоположников синергетики Г. Хакена, система является самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру. Под специфическим внешним воздействием понимается такое, которое навязывает системе структуру или функционирование.

Основные свойства самоорганизующихся систем – открытость, нелинейность, диссипативность. Таким образом, теория самоорганизации имеет дело с открытыми, нелинейными, диссипативными, далекими от равновесия системами.

Открытость. Как уже отмечалось, классическая термодинамика изучала изолированные (закрытые) системы, которые не обменивались с внешней средой ни веществом, ни энергией. Применительно к таким системам центральным понятием является энтропия, возрастание которой ($\Delta S \geq 0$) характеризовало переход системы от неравновесного состояния к равновесному.

Открытые системы – это такие системы, которые поддерживаются в определенном состоянии за счет непрерывного притока извне вещества, энергии или информации. Постоянный приток вещества, энергии или информации является необходимым условием существования неравновесных состояний в противоположность изолированным системам, неизбежно

стремящимся к однородному равновесному состоянию. Открытые системы – это системы необратимые; в них важным оказывается фактор времени.

В открытых системах ключевую роль – наряду с закономерным и необходимым – могут играть случайные факторы, флуктуационные процессы.

Нелинейность. Большинство систем Вселенной носит открытый характер, и это означает, что во Вселенной доминируют неустойчивость и неравновесность. Последняя, в свою очередь, порождает избирательность системы, ее необычные реакции на внешние воздействия среды. Неравновесные системы имеют способность воспринимать различия во внешней среде и «учитывать» их в своем функционировании. Так, некоторые более слабые воздействия могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем воздействия хотя и более сильные, но не адекватные собственным тенденциям системы. Иначе говоря, на нелинейные системы не распространяется принцип суперпозиции: здесь возможны ситуации, когда совместные действия причин *A* и *B* вызывают эффекты, которые не имеют ничего общего с результатами воздействия *A* и *B* по отдельности.

Процессы, происходящие в нелинейных системах, часто носят *пороговый* характер: при плавном изменении внешних условий поведение системы изменяется скачкообразно. Другими словами, в состояниях, далеких от равновесия, очень слабые возмущения могут усиливаться до гигантских волн, разрушающих сложившуюся структуру и способствующих ее радикально-качественному изменению [15].

Нелинейные системы, являясь неравновесными и открытыми, сами создают и поддерживают неоднородности в среде. В таких условиях между системой и средой могут иногда создаваться отношения положительной обратной связи, т. е. система влияет на свою среду таким образом, что в среде вырабатываются некоторые условия, которые, в свою очередь, определяют изменения в самой этой системе (например, в ходе химической реакции или какого-то другого процесса вырабатывается фермент, присутствие которого стимулирует производство его самого). Последствия такого рода взаимодействия открытой системы и ее среды могут быть самыми неожиданными и необычными.

Диссипативность. В настоящее время известно множество примеров образования упорядоченных состояний в результате неравновесных процессов. При этом наблюдается как пространственное упорядочение, так и упорядочение во времени.

Такие состояния И. Пригожин назвал *диссипативными* структурами. Этим названием подчеркивается, что они возникают в системах с потерей (диссипация) энергии в ходе необратимых неравновесных процессов. Для возникновения диссипативных структур необходимо соблюдение определенных условий:

- они могут образовываться только в открытых системах; в них возможен приток энергии, компенсирующий потери и обеспечивающий существование упорядоченных состояний;

- диссипативные структуры возникают в макроскопических системах, т. е. системах, состоящих из большого числа элементарных составляющих (атомов, клеток, звезд – в зависимости от масштабов явления);

- диссипативные структуры возникают лишь в системах, описываемых нелинейными уравнениями для макроскопических функций. Самоорганизация не связана с каким-либо особым классом веществ. Она существует лишь при особых внутренних и внешних условиях системы и окружающей среды. Диссипативные структуры являются устойчивыми (стационарными) образованиями. Их устойчивость определяется устойчивостью источников энергии и зависит от времени их существования.

Обратимся к примерам самоорганизации.

Рассмотрим однородную покоящуюся жидкость между двумя бесконечными горизонтальными плоскостями. Путем нагрева нижней пластины (T_1) создадим в этой системе постоянный градиент температур (T_2 – температура верхней пластины, причем $T_1 > T_2$). Из-за стремления теплых нижних слоев жидкости подняться вверх, а верхних холодных – опуститься вниз система становится неустойчивой. В результате при достижении критической разности температур $T_1 - T_2 = \Delta T_{кр}$ возникает конвекционное движение жидкости, т. е. ее структурирование. Жидкость формируется в виде небольших ячеек (ячеек Бенара).

При наблюдении сбоку (рис. 10) видно, что движение жидкости достаточно сложное. Ячейки выстраиваются вдоль горизонтальной оси, причем в соседних ячейках жидкость перемещается в противоположных направлениях: то по часовой стрелке (R), то против (L). При наблюдении сверху эффект структурирования жидкости проявляется в возникновении ячеистой (сотовой) структуры (рис. 11)

Структурирование жидкости в условиях неравновесности приводит к качественно новым эффектам – эффектам усложнения. Наличие проти-

·воположного вращения жидкости в ячейках говорит о *нарушении симметрии*. Отметим, что переход от простого поведения жидкости к сложному происходит скачкообразно, при этом огромное число частиц демонстрирует когерентное (согласованное) поведение, т. е. если в первой ячейке молекулы жидкости двигаются по часовой стрелке (*R*), то в 3-й, 5-й, 1001-й и во всех нечетных ячейках движение жидкости также будет происходить по часовой стрелке.

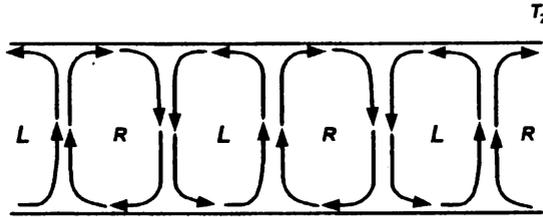


Рис. 10. Возникновение конвективных ячеек

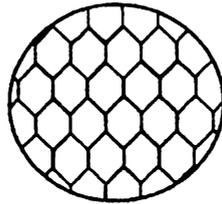


Рис. 11. Ячейки Бенара (вид сверху)

Установлено, что такой эксперимент характеризуется идеальной воспроизводимостью: при одних и тех же условиях и при достижении $\Delta T_{кр}$ возникает такая же конвекционная картина – ячеистая структура с попеременным вращением в соседних ячейках. Однако направление вращения в ячейках непредсказуемо и неуправляемо, т. е. носит случайный, вероятностный характер (рис. 12).

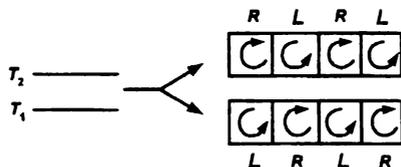


Рис. 12. Множественность решений структурирования системы

Таким образом, мы наблюдаем равнозначность правостороннего и левостороннего вращения жидкости в ячейках или соответствия между случайностью и определенностью. В области физики такой дуализм наблюдается лишь при квантово-механическом описании микрообъектов. Аналогичный дуализм известен в биологии со времен Ч. Дарвина (естественный отбор – мутация). Иначе говоря, вдали от равновесия система способна приспособливаться к своему окружению несколькими различными способами.

Итак, рассмотрев эффект Бенара, мы видим, что неравновесность позволила системе избежать тепловой разупорядоченности и трансформировать часть энергии, сообщаемой внешней средой, в упорядоченное поведение нового типа – *диссипативную* структуру, характеризуемую нарушением симметрии, множественными выборами и корреляцией в макромасштабах. Можно сказать, что в системе произошло рождение сложного. Такую сложность обычно приписывают исключительно биологическим системам.

Некоторые химические реакции обладают удивительными чертами самоорганизации. Наиболее известна из них реакция Белоусова – Жаботинского (1958). При определенных условиях при окислении лимонной кислоты броматом калия, катализируемым ионной парой $\text{Ce}^{4+} - \text{Ce}^{3+}$, происходят периодические колебания концентрации ионов брома и отношения концентраций ионов церия разной валентности.

Голубой цвет наблюдается при избытке Ce^{4+} , красный – при избытке Ce^{3+} . Ритмическая смена цвета с идеально регулируемым периодом и амплитудой колебания концентраций определяется характеристиками системы. Типичное поведение такого рода показано на рис. 13.

Если рассмотреть реакцию БЖ, протекающую в системе без перемешивания реагентов, то развивается пространственная неоднородность концентрации Ce^{4+} и Ce^{3+} . Так, если реакцию проводить в тонкой, длинной

вертикально расположенной трубке, то можно наблюдать возникновение полосчатой структуры чередующихся горизонтальных зон.

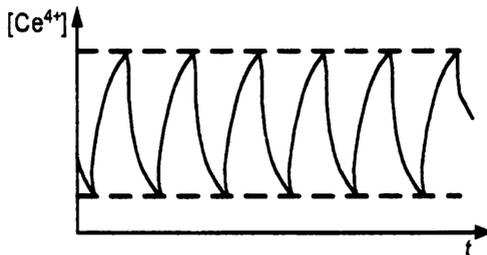


Рис. 13. Автоколебания концентрации Ce^{4+}

Таким образом, при протекании реакции БЖ вдали от состояния равновесия система способна проявлять разнообразный и высокий уровень самоорганизации с возникновением пространственно-временной упорядоченности.

А теперь обрисует в общем и кратко путь эволюции системы от исходного состояния через хаос к состоянию новой организации.

В замкнутую изолированную систему (в термостатике) энергия или вещество вводятся извне дозированно, чтобы ее исходное состояние не выходило за заданные границы. В открытой нелинейной системе нет таких ограничений. Здесь вещество и энергия среды могут поступать в нее произвольно, поэтому такая система может выйти из состояния равновесия и стать неравновесной. По мере дальнейшего притока вещества и энергии она с ускорением (нелинейно) уходит все дальше от состояния равновесия, становится все более неравновесной и нерегулируемой. Организация состояния такой системы все более расплывчата, пока наконец совсем не разрушится и процесс не станет хаотичным. Таким образом, на первой стадии своей эволюции неравновесный процесс переходит от состояния порядка к хаосу.

Состояние максимальной хаотичности неравновесного процесса называют точкой *бифуркации* (от лат. *bifurcus* – раздвоенный). Благодаря хаотичности дальнейшее разветвление неравновесного процесса имеет не один путь движения, а множество возможных путей из зоны ветвления, т. е. из точки бифуркации. Состояние бифуркации можно уподобить поло-

жению шарика на выпуклой поверхности типа сферической. Любое влияние может вывести шарик из неустойчивого состояния, и он начнет скатываться сверху вниз. По какой траектории он будет скатываться из точки бифуркации, угадать точно нельзя. Это случайный процесс.

Но как только траектория движения определится, направление движения начнет подчиняться необходимости. Теперь необходимость предопределяет, каким финалом завершится нелинейный процесс. Отрезок эволюционного пути от точки бифуркации до финала называют *аттрактором* (от лат. *attrahere* – притягиваю).

Это значит, что конечный пункт разворачивания нелинейного процесса, или финал, как бы притягивает к себе, т. е. предопределяет траекторию разворачивания нелинейного процесса (движение шарика) от точки бифуркации. Аттрактор уподобляется воронке, которая своим раструбом обращена к зоне ветвления, а узким горлышком – к конечному результату. Это значит, что шарик, находящийся на выпуклой поверхности, может попасть в раструб воронки не из одной-единственной точки, а из ряда смежных точек зоны ветвления. По мере движения по аттрактору множество возможных траекторий движения сокращается и в конечном счете процесс с необходимостью завершается единственным результатом.

Разворачивание нелинейного процесса от точки бифуркации до выбора аттрактора – это начало второй части эволюции нелинейного процесса.

При рассмотрении первой части данного процесса мы видели, что избыточное поступление энергии извне привело этот процесс к дезорганизации, к хаотичному состоянию. Поэтому на первый взгляд может показаться, что дальнейший приток энергии в систему извне бесполезен и даже вреден. Но опыт показывает, что это не так.

Наоборот, если теперь ввести в систему достаточное количество «свежей» энергии, то в хаотичном состоянии начнет зарождаться новая организация. Когда величина вводимой извне энергии достигает некоторого критического значения, то система внезапно (скачком) переходит из хаотического состояния в новое устойчивое (организованное) состояние [7].

Во второй части эволюции нелинейной системы происходит обратный процесс – переход от состояния дезорганизации к новой организованности, от хаоса – к новому порядку. Из-за принудительного действия поступающей извне энергии множество разнонаправленных случайных явлений, характерных для состояния хаоса, вдруг обретают когерентное, т. е. сов-

местное, согласованное, поведение. Отсюда и название дисциплины, изучающей такие процессы, – синергетика.

5. БИОЛОГИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ЖИЗНИ

5.1. Основные понятия

Анаэробы – организмы, способные жить в отсутствии свободного кислорода (многие виды бактерий, моллюски).

Аэробы – организмы, жизнь которых невозможна без свободного молекулярного кислорода (растения, животные, многие микроорганизмы).

Биоценоз – совокупность растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих участок суши или водоема и характеризующихся определенными отношениями между собой.

Ген (от греч. *genos* – род, происхождение, наследственный фактор) – единица наследственного материала, ответственная за формирование какого-либо элементарного признака.

Геном – совокупность всех генов хромосомного набора данного организма. В хромосомах человека локализовано около 100 000 генов. Эти активные гены составляют лишь 2% всего вещества наследственности – дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Остальные 98% служат для регуляции генной активности и, вполне возможно, являются опытным полем эволюции.

Гетеротрофы – организмы, питающиеся органическими веществами. К ним относятся многие микроорганизмы, грибы, все животные, человек.

Евгеника – учение о здоровой наследственности человека и о возможных методах поддержания и улучшения его здоровья.

Коацерваты – области полимера, биополимера (капли, слои) с повышенной концентрацией этого вещества по сравнению со всем остальным раствором.

Метаболизм (от греч. *metabole* – перемена, превращение) – совокупность процессов обмена веществ в растениях, животных, микроорганизмах. Включает в себя всю совокупность реакций, протекающих в клетках и обеспечивающих как расщепление, так и синтез.

Популяция – относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом совокупность особей определенного вида, в течение

ние длительного времени (большое число поколений) населяющих определенное пространство; рассматривается как элементарная единица эволюции.

Прокариоты (от греч. *pro* – вперед и *karion* – ядро) – организмы, лишённые сформированного ядра (вирусы, бактерии, сине-зеленые водоросли).

Хиральность молекулярная (дисимметрия) – отсутствие зеркальной симметрии у молекул живой материи, приводящее к отклонению ими поляризованного луча света.

Хромосомы – структурные элементы ядра клетки, содержащие ДНК, в которой заключена наследственная информация организма. В хромосомах в линейном порядке расположены гены.

Эукариоты (от греч. *eu* – хорошо и *karion* – ядро) – организмы, клетки которых содержат оформленное ядро. Эти организмы являются высшими, ядро в них отделено от цитоплазмы оболочкой.

5.2. Предмет биологии, ее структура и этапы развития. Критерий жизни

Определение предмета биологии на первый взгляд кажется довольно простым. Биология – это наука о живом, его строении, формах активности, сообществах живых организмов, их распространении и развитии, связях друг с другом и с неживой природой [12].

Современная биологическая наука – результат длительного процесса развития. Вначале интерес к познанию живого у человека возник в связи с его важнейшими потребностями в пище, лекарствах, одежде, жилье и т. д.

Но только в эпоху первых древних цивилизаций люди стали изучать живые организмы более тщательно, составлять перечни животных и растений, населяющих различные регионы, систематизировать и классифицировать их. Одним из первых биологов древности был Аристотель.

В настоящее время биология представляет собой целый комплекс наук о живой природе (фундаментальных и прикладных). Структуру его можно рассматривать с различных точек зрения:

- По *объектам исследования* биологию подразделяют на вирусологию, бактериологию, ботанику, антропологию и др.
- По *свойствам, проявлениям живого* в биологии выделяются: морфология – наука о строении живых организмов; физиология – наука о функционировании организмов; молекулярная биология, изучающая микроструктуру живых тканей и клеток; экология, рассматривающая образ

жизни растений и животных и их взаимосвязи с окружающей средой; генетика, исследующая законы наследственности и изменчивости.

- По уровню организации живых объектов выделяются: анатомия, изучающая макроскопическое строение животных; гистология, рассматривающая строение тканей; цитология, исследующая строение живых клеток.

Такая многоплановость комплекса биологических наук обусловлена чрезвычайным многообразием живого мира. К настоящему времени биологами обнаружено и описано более одного миллиона видов животных, около полумиллиона видов растений, несколько сотен тысяч видов грибов, более трех тысяч видов бактерий. Причем мир живой природы исследован далеко не полностью.

В развитии биологии выделяют три основных этапа: 1) систематики (К. Линней); 2) эволюционный (Ч. Дарвин); 3) биологии микромира (Г. Мендель). Каждый из них связан с изменением представлений о мире живого, самих основ биологического мышления, со сменой биологических парадигм. Благодаря развитию современной биологии микромира, познанию молекулярных структур живого отчетливее стало просматриваться единство природы, органического и неорганического мира, специфика живого.

Важнейшим инструментом дальнейшего познания этого мира служит категория живого, являющаяся ключевой, исходной для всей системы биологических наук.

Современная биология в вопросе о сущности живого все чаще идет по пути перечисления основных свойств живых организмов, или критериев жизни. При этом подчеркивается, что только совокупность таких свойств может дать представление о специфике жизни. К числу свойств живого обычно относят следующие:

- живые организмы характеризуются сложной, упорядоченной структурой. Уровень их организации значительно выше, чем уровень организации неживых систем;

- живые организмы получают энергию из окружающей среды, используя ее на поддержание своей высокой упорядоченности. Большая часть организмов прямо или косвенно использует солнечную энергию;

- живые организмы активно реагируют на окружающую среду. Способность реагировать на внешние раздражения – универсальное свойство всех живых существ, как растений, так и животных;

- живые организмы не только изменяются, но и усложняются. Так, у растений или животных появляются новые ветви или органы, отличающиеся по своему химическому составу от породивших их структур;

- все живое размножается. Способность к самовоспроизведению – основополагающий признак жизни, поскольку при этом проявляется действие механизмов наследственности и изменчивости, которые определяют эволюцию всех видов живой природы;

- живые организмы передают по наследству 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 соответствуют своему образу жизни.

В современной литературе жизнь определяется как высшая из природных форм движения материи, характеризующаяся самообновлением, саморегуляцией и самовоспроизведением разноуровневых открытых систем, основу которых составляют белки, нуклеиновые кислоты и фосфорорганические соединения. Важнейшими признаками жизни являются противостояние энтропийным процессам, обмен веществ с окружающей средой, воспроизводство на основе генетического кода и молекулярная хиральность.

5.3. Структурные уровни живого

Структурный, или системный, анализ показывает, что мир живого чрезвычайно многообразен, имеет сложную структуру. На основе разных критериев могут быть выделены различные уровни или системы организации живого мира. Самым распространенным является выделение на основе критерия масштабности следующих уровней организации живых систем:

1. Молекулярный уровень, который составляет предмет изучения молекулярной биологии. Важнейшей проблемой является изучение механизмов передачи генной информации и ее практическое использование при помощи генной инженерии и биотехнологии.

2. Клеточный и субклеточный уровни, отражающие процессы функционирования клеток и внутриклеточные механизмы.

3. Организменный и органо-тканевый уровни, отражающие строение, физиологию, поведение и индивидуальность отдельных особей, функции и строение органов и тканей живых существ.

4. Популяционно-видовой уровень, который ограничивается особями одного вида, свободно скрещивающимися между собой. Этот уровень составляет ядро исследований эволюции живого, его исторического развития.

5. Уровень биогеоценозов, включающий ступень структуры живого, состоящую из участков Земли с определенным составом живых и неживых компонентов, представляющих собой единый природный комплекс, *экосистему*. Рациональное использование природы невозможно без знания структуры и функционирования биогеоценозов, или экосистем.

6. Биосферный уровень, включающий всю совокупность живых организмов Земли вместе с окружающей их природной средой.

Два главных компонента биосферы – живые организмы и среда их обитания – непрерывно взаимодействуют между собой и находятся в тесном органическом единстве, образуя целостную динамическую систему [2].

5.3.1. Молекулярно-генетический уровень

Классическая менделевская генетика поставила перед современной наукой о наследственности самые главные вопросы: что такое ген, как он контролирует развитие признаков, как изменяются ген и генотип, каким образом происходит развитие популяций и возникновение новых видов?

Первый закон Менделя касается единообразия первого поколения гибридов. Второй закон (закон расщепления) отражает появление в потомстве доминантных и рецессивных генов в определенных численных соотношениях. Третий закон Менделя фиксирует независимое комбинирование признаков.

Носителями наследственной информации, согласно современным представлениям, являются хромосомы и гены. Они были открыты в конце XIX в.

Одним из величайших прорывов науки в познании структуры живой материи на молекулярно-генетическом уровне стала публикация в 1953 г. работы американского биохимика Д. Уотсона и английского биофизика Ф. Крика, в которой раскрывалась структура носителя наследственности всего живого на Земле – молекулы ДНК.

Основу гена составляют нуклеиновые кислоты ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и РНК (рибонуклеиновая кислота) – сложные органиче-

ские соединения, состоящие из углерода, водорода, кислорода, азота и фосфора. Нуклеиновые кислоты представляют собой фосфорсодержащие биополимеры, имеющие универсальное распространение в живой природе.

Рентгеноструктурные исследования и анализ результатов на ЭВМ показали, что ДНК (рис. 14) состоит из двух цепей, правозакрученных между собой так, чтобы сохранялись определенные углы между разными атомными группировками. Таким образом, ДНК – двойная спираль, составленная из аминокислот белков.

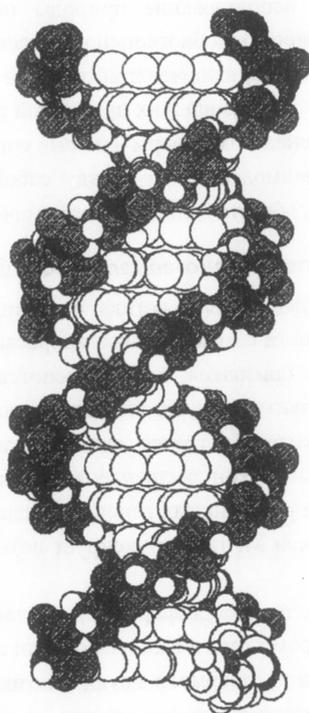


Рис. 14. Молекула ДНК (показана плотная одномерная структура)

Нуклеиновые кислоты, являющиеся носителями информации, выполняют три функции: 1) хранение информации; 2) реализацию ее в процессе роста новых клеток; 3) самовоспроизведение.

Сходство и различие живых тел определяются набором белков. Путем синтеза различных белков в соответствии с генетическим кодом реализуется многообразная информация о свойствах организма.

Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза белка, называется *геном*.

Ген представляет собой внутриклеточную молекулярную структуру. Гены располагаются, как правило, в ядрах клеток и являются своего рода «мозговыми центрами» клеток.

У высших организмов гены входят в состав хромосом – самовоспроизводящихся структур, постоянно присутствующих в ядрах клеток животных и растений и участвующих в процессе размножения.

Гены располагаются в хромосомах в линейном порядке. Самоудвоение и распределение хромосом при клеточном делении обеспечивают передачу наследственных свойств организма от поколения к поколению. Хромосомы различимы в виде четких структур под микроскопом во время деления клеток. Каждая хромосома имеет специфическую форму и размер.

Например, у человека из 23 пар хромосом 22 пары одинаковы у мужского и женского организмов, а одна пара различна. Именно благодаря этой паре хромосом, называемых *половыми хромосомами*, различаются два пола. Половые хромосомы у женщины одинаковые, их назвали X-хромосомами. У мужчин кроме X-хромосом имеется Y-хромосома, которая и играет решающую роль при определении пола.

Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данной растительной или животной клетки, называется *геномом*.

Процесс воспроизводства состоит из трех частей: репликации, транскрипции, трансляции. *Репликация* – это удвоение молекул ДНК, необходимых для последующего деления клеток. Основой способности клеток к самовоспроизведению является уникальное свойство ДНК самокопироваться и строго равноценное деление репродуцированных хромосом. Это служит условием деления клетки на две идентичные.

При репликации ДНК разделяется на две цепи, после чего вдоль каждой цепи из нуклеотидов, свободно пребывающих внутри клетки, выстраивается еще одна цепь, идентичная матричной (рис. 15).

Транскрипция представляет собой перенос кода ДНК путем образования одноцепочной молекулы информационной РНК на одной нити ДНК.

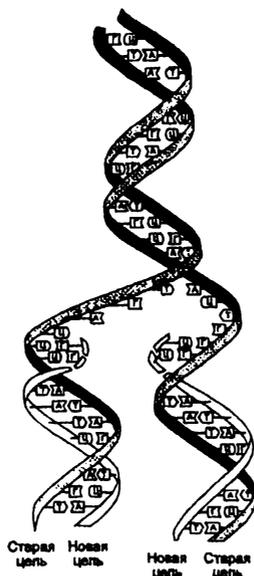


Рис. 15. Репликация ДНК

Информационная РНК – это копия части молекулы ДНК, состоящая из одного или группы рядом лежащих генов, которые несут информацию о структуре белков.

Трансляция – это синтез белка на основе генетического кода информационной РНК в особых частях клетки – рибосомах, куда транспортная РНК доставляет аминокислоты.

5.3.2. Клеточный уровень живого

Клетка является основной элементарной единицей жизни, способной к воспроизведению. Именно в ней протекают все главнейшие обменные процессы, такие как биосинтез, энергетический обмен и др. Поэтому начало биологической эволюции и появление подлинной жизни связано с возникновением клеточной организации.

Самыми ранними из возникших на Земле одноклеточных организмов были бактерии, не обладавшие ядром (прокариоты). Вероятно, они жили за счет потребления органических соединений, возникающих абиогенно (из косной материи) под действием электрических разрядов и ультрафиолето-

вых лучей. Организмы, обладающие ядром (эукариоты), возникли гораздо позднее (около 1,5 млрд лет назад). Кроме строения клетки, различие между прокариотами и эукариотами заключается в том, что первые могут жить как в бескислородной среде, так и в атмосфере, содержащей кислород, в то время как для эукариот почти во всех случаях необходим кислород.

Существенным отличием прокариот от эукариот является то, что у последних центральным механизмом обмена стало дыхание, а у большинства прокариот энергетический обмен происходит в процессе брожения.

После появления в атмосфере достаточного количества свободного кислорода аэробный механизм оказался намного выгодней, так как при окислении углеводов выход биологически полезной энергии увеличивается в 18 раз по сравнению с брожением.

Крупным шагом в процессе эволюции стало возникновение у организмов фотосинтезирующей способности. Около 3 млрд лет назад обеднение среды органическими азотистыми соединениями вызвало появление живых существ, способных использовать атмосферный азот. При помощи фотосинтеза произошло насыщение атмосферы кислородом в количестве, достаточном для возникновения и развития организмов, у которых энергетический обмен основан на процессе дыхания. Появление значительной концентрации кислорода привело к образованию в верхней части атмосферы озонового слоя, защищавшего жизнь на Земле от губительного воздействия излучения из космоса.

5.3.3. Организменный уровень живых систем

Следующей ступенью эволюции после появления одноклеточных стало возникновение и совершенствование многоклеточных организмов.

На промежуточной стадии между одноклеточными организмами и примитивными многоклеточными возникли колониальные одноклеточные. При дальнейшем развитии произошла специализация клеток членов колонии по принципу разделения на осуществляющих функции питания и движения (жгутики) и служащих для размножения (генеративные). Последующая специализация потребовала образования центра координации, т. е. нервного центра. Возникает хорошо выраженная централизованная нервная система. Одновременно совершенствуются способы полового размножения: переход к внутреннему оплодотворению у растений и живорождению у животных.

Для животных конечным этапом эволюции многоклеточной организации стало появление организмов с поведением «разумного типа» и в финале – возникновение человека.

Всех многоклеточных подразделяют на три царства: грибы, растения и животные. Об эволюции грибов известно мало, поскольку они почти не оставили палеонтологических следов. Эволюцию растений и животных можно проследить довольно подробно.

Среди основных особенностей эволюции растительного мира отметим следующие:

- большинство из первичных растений свободно плавало в морской воде или прикреплялось ко дну;
- с образованием почвы произошел выход растений на сушу. Организм растения для прикрепления к суше обретает корень, стебель и лист, развивается сосудистая проводящая система, защитные и опорные ткани;
- возникает независимое от капельно-водной среды половое размножение;
- происходит переход от наружного оплодотворения к внутреннему, появляется двойное оплодотворение, зародыш обеспечивается запасами питательных веществ;
- органы размножения и перекрестного опыления у цветковых совершенствуются с эволюцией насекомых. Развивается зародышевый мешок для защиты эмбриона от неблагоприятных влияний внешней среды. Возникают разные способы распространения семян и плодов с помощью широкого спектра физических и биологических факторов.

История животных изучена наиболее полно. Самые ранние следы животных имеют возраст около 700 млн лет. Предполагается, что первые животные произошли либо от общего ствола всех эукариот, либо от одной из групп древнейших водорослей. За всю историю животного мира возникло 35 типов, из которых 9 вымерли, а 26 существуют до сих пор. Наиболее существенные черты эволюции заключаются в следующем:

1. Прогрессивное развитие многоклеточности и в соответствии с этим специализация тканей и всех систем органов. Способность к перемещению в значительной степени определила совершенствование форм поведения.

2. Возникновение у животных твердого скелета: у позвоночных – внутреннего, у членистоногих – внешнего. Такое разделение определило разные пути эволюции этих типов животных. Наружный скелет членисто-

ногих препятствовал увеличению размеров тела, поэтому все насекомые представлены сравнительно мелкими формами. Внутренний скелет не ограничивал увеличение размеров тела у позвоночных, поэтому динозавры достигали огромной величины.

3. Появление и совершенствование организации животных (от кишечнополостных до млекопитающих). На этой стадии разделились насекомые и позвоночные. За счет развития центральной нервной системы у насекомых совершенствуются формы поведения по пути наследственного закрепления инстинктов. У позвоночных развивается головной мозг и система условных рефлексов, наблюдаются ярко выраженные тенденции к повышению средней выживаемости отдельных особей.

4. Финальной стадией эволюции позвоночных стало развитие группового адаптивного поведения; формирование разума как высшей формы деятельности мозга; возникновение биосоциального существа, носителя разума – человека.

5.3.4. Популяционно-видовой уровень

С точки зрения современной науки элементарной единицей эволюции живого является *популяция* (от лат. *populus* – народ, население), т. е. сообщество особей одного вида, обладающее единой совокупностью генов и занимающее определенную территорию.

По мнению ученых, популяция представляет собой неразложимое на составные части эволюционное единство, способное к развитию во времени и пространстве, самовоспроизведению (посредством репродукции составляющих ее отдельных особей), трансформации и изменению ареала.

Популяционный уровень организации живого неразрывно связан с молекулярно-генетическим и биосферным и в значительной степени определяется ими, но также характеризуется процессами, присущими только этому уровню.

Для популяционного уровня характерен ряд признаков, а именно:

1. Активная или пассивная подвижность всех без исключения компонентов популяций. Это обуславливает периодическое или постоянное перемешивание особей популяции, которое становится более интенсивным при уменьшении территории и увеличении подвижности отдельных особей.

2. Наличие популяций разных рангов и различных внутривидовых группировок. Существуют как относительно независимые геогра-

фические популяции, так и местные, или «экологические», большинство из которых представляют собой временные или сезонные группировки.

3. Совместное существование и функциональное единство, единообразие приспособлений к среде, морфофизиологическая общность и генетическая индивидуальность особей популяций.

4. Регуляторный биологический смысл пространственной структуры популяций, проявляющийся в том, что высокая численность особей и устойчивость достигаются только в тех популяциях, которые имеют сложную иерархически-пространственную структуру. Выпадение даже одного звена в виде одной или нескольких соподчиненных группировок популяции приводит к разрушению всей структуры, резкому падению плотности населения популяции и увеличению колебаний в численности особей.

5. Неоднородность, или гетерогенность, популяций. Популяция, с одной стороны, выступает как устойчивая целостность, а с другой – характеризуется изменчивостью, одной из причин которой является мутационный процесс. Недостаточный размах изменчивости при быстром изменении среды может привести к вымиранию популяции.

Как конкретно-историческая сложноорганизованная целостность местная популяция характеризуется некоторыми статистическими параметрами, например волнами жизни, т. е. периодическими колебаниями численности, плотностью населения, соотношением возрастных групп и полов, смертностью и т. п.

5.3.5. Биоценоз, биогеоценоз

Биоценоз – совокупность животных, растений и микроорганизмов, населяющих участок среды с однородными условиями жизни, например озеро, лес, луг, берег реки.

Биоценозы характеризуются составом входящих в них популяций (живых организмов) и тем ареалом суши или водоема, в котором они обитают.

Внутри биоценозов круговорот веществ совершается без обязательного и непосредственного участия соседних биоценозов. Одновременно устойчивость биоценозов зависит как от взаимодействия с соседними биоценозами, так и от их внутренней структуры.

Биоценозы являются компонентами третьего надорганизменного уровня – биогеоценозов (от греч. *bios* – жизнь, *gē* – Земля и *koinos* – об-

пий). Биогеоценозы характеризуются определенными биологическими – в виде биоценозов – и абиологическими факторами среды.

Все живое представляет собой сложноорганизованные иерархические системы. Их познание требует объяснения сущности не только самих систем, но и их непосредственного окружения, признания единства внутреннего и внешнего. Такой окружающей средой развития биосистемы служит биогеоценоз.

Биогеоценоз представляет собой один из уровней организации живого, определенную целостность взаимодействующих элементов живого и неживого. Он является образованием историческим, поскольку изменяется во времени и пространстве.

5.3.6. Биосферный уровень. Ноосфера

Вначале под биосферой (понятие ввел Э. Зюсс) понималась вся совокупность живых организмов на Земле. Позднее под биосферой стали подразумевать совокупность всех живых организмов вместе со средой обитания, в которую входят вода, нижняя часть атмосферы и верхняя часть земной коры, населенная микроорганизмами.

Научную концепцию биосферы и ноосферы создал выдающийся русский академик В. И. Вернадский (1863–1945). Согласно его представлениям, жизнь существует в форме гигантской системы – биосферы, где живое вещество выполняет энергетические, геохимические и средообразующие функции, обеспечивающие сохранение и эволюцию организмов. Для описания целостности биосферы В. И. Вернадский ввел понятие «организованность», наметил пути изучения эволюции жизни как сложноспряженного процесса, который протекает одновременно на разных уровнях организации жизни. Вместе с тем он ставил задачу учитывать и обратное влияние структуры биосферы и действующих в ней биогеохимических принципов на процессы видообразования.

В работах В. И. Вернадского говорилось о высокой устойчивости основных характеристик биосферы, которая представляет собой единство геологических и биологических процессов.

В. И. Вернадский понимал биосферу как целостную систему, в которую входят следующие составные части:

- совокупность живых организмов – живое вещество;

- вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами, – биогенное вещество (каменный уголь, битумы, известняки, нефть и т. д.);
- косное вещество, образованное в процессах, в которых живое вещество не участвует;
- вещество, создаваемое живыми организмами и косными процессами, и их динамическое равновесие;
- вещество, находящееся в процессе радиоактивного распада;
- рассеянные атомы, которые выделяются из земного вещества различных видов под влиянием космических излучений;
- вещество космического происхождения, проникающее на Землю из космоса.

В. И. Вернадский определял живое вещество как всю совокупность организмов, растительных и животных, в том числе и человека. По его мнению, в функциональном плане живое вещество – это то звено, которое соединяет историю химических элементов с эволюцией всей биосферы.

Одним из основных отличий живого вещества от косной материи В. И. Вернадский считал асимметрию пространственной структуры молекул живой материи, т. е. он развил и дополнил идеи Л. Пастера.

Взаимодействие живой и неживой материи состоит в непрерывном круговороте химических элементов, при этом можно выделить три фундаментальных принципа непрекращающегося обмена веществ биосферы:

- биогенная миграция химических элементов в биосфере стремится к своему максимальному проявлению;
- эволюция устойчивых на Земле видов жизни должна идти в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции атомов в биосфере;
- заселенность биосферы в определенный геологический период времени должна быть максимальной для живого.

Так, зеленые растения обеспечивают наличие молекулярного кислорода и выполняют функцию аккумуляции солнечной энергии в биосфере. Микроорганизмы участвуют в минерализации органических веществ, образовании ряда горных пород, в почвообразовании и патогенном действии на другие организмы.

Биосфера – иерархически организованная живая система, единый суперорганизм с развитым гомеостазом, делающим его относительно независимым от флуктуации внешних факторов.

Так, сопоставление палеонтологических и геологических данных свидетельствует о том, что по меньшей мере 2 млрд лет организмы контролируют климат на Земле, поддерживая глобальную температуру в относительно узких пределах. В качестве признака жизни биосферы рассматривается также химическая неравномерность атмосферы Земли. Когда саморегулирующаяся система (биосфера) попадает в состояние стресса, близкое к границам саморегуляции, даже малое потрясение может толкнуть ее к переходу в новое состояние (бифуркация) или полностью уничтожить всю систему.

Примерно через каждые 25–30 млн лет органический мир Земли потрясли крупные катастрофы, кризисы вымирания, но у биосферы выработались компенсаторные и регуляторные механизмы биосферного гомеостаза, и здесь большую роль играет основная структурная единица биосферы – биогеоценоз.

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

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

Следует также отметить, что учение о ноосфере не носит пока законченного, канонического характера.

Учение о ноосфере было сформулировано в трудах одного из его основателей В. И. Вернадского. Осознавая огромную роль и значение человека в жизни и преобразовании планеты, он употребляет понятие «ноосфера» в разных смыслах: 1) как состояние планеты, когда человек становится крупнейшей преобразующей геологической силой; 2) как область активного проявления научной мысли; 3) как главный фактор перестройки и изменения биосферы.

Очень важным в учении В. И. Вернадского о ноосфере было то, что он впервые осознал и попытался осуществить *синтез естественных и об-*

ественных наук при изучении проблем глобальной деятельности человека, активно перестраивающую окружающую среду. По его мнению, ноосфера есть уже качественно иная, высшая стадия биосферы, связанная с коренным преобразованием не только природы, но и самого человека. Это не просто сфера приложения знаний человека при высоком уровне техники. Для этого достаточно понятия «техносфера». Речь идет о таком этапе в жизни человечества, когда преобразующая деятельность человека будет основываться на строго научном и разумном понимании всех происходящих процессов и обязательно сочетаться с «интересами природы».

В настоящее время под ноосферой понимается взаимодействие человека и природы, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития. В структуре ноосферы можно выделить в качестве составляющих человечество, общественные системы, совокупность научных знаний, сумму техники и технологий в единстве с биосферой. Гармоничная взаимосвязь всех составляющих есть основа устойчивого существования и развития ноосферы [2, 11].

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

У В. И. Вернадского мы встречаем другой подход. В его учении о биосфере живое вещество преобразует верхнюю оболочку Земли. Постепенно вмешательство человека все возрастает, человечество становится основной планетарной геологообразующей силой. Поэтому человек несет *прямую ответственность* за эволюцию планеты. Понимание им данного тезиса необходимо и для его собственного выживания. Стихийность же развития сделает биосферу непригодной для обитания людей. В связи с этим человеку следует соизмерять потребности с возможностями биосферы. Воздействие на нее должно быть дозировано разумом в ходе эволюции биосферы и общества. Постепенно биосфера преобразуется в ноосферу, где ее развитие приобретает направляемый характер.

В этом и заключается непростой характер эволюции природы, биосферы, а также сложности появления ноосферы, определения роли и места в ней человека. В. И. Вернадский подчеркивал, что человечество лишь

вступает в данное состояние. Сегодня говорить об устойчивой разумной деятельности человека нет достаточных оснований. И так будет, по крайней мере, до тех пор, пока человечество не решит глобальные проблемы планеты, в том числе экологическую. О ноосфере правильнее говорить как о том идеале, к которому человеку следует стремиться.

5.4. Проблемы происхождения жизни

Проблема происхождения жизни во Вселенной тесно связана с проблемой возникновения жизни на Земле. Она является одной из наиболее важных, узловых проблем для формирования планетарно-космического взгляда на эволюцию в целом. Рассмотрение этой проблемы следует начинать с анализа основных концепций возникновения жизни на Земле, к которым относятся следующие:

1. Креационистская концепция (креационизм), в соответствии с которой жизнь была создана сверхъестественным существом (существами) в определенный момент (промежуток) времени.

2. Концепция панспермии, согласно которой возможен перенос жизни в космическом пространстве с одной планеты на другую («заражение» Земли из космоса).

3. Концепция самопроизвольного зарождения, в соответствии с которой возможно возникновение жизни из неживого вещества (неоднократно).

4. Концепция стационарного состояния (жизнь существовала всегда).

5. Концепция возникновения жизни в результате биохимической революции.

Согласно концепции креационизма жизнь мыслится как Божье творение. Возникновение жизни можно рассматривать и как результат деятельности высокоразвитой цивилизации, создающей различные формы жизни и наблюдающей за их развитием.

Концепция панспермии предполагает внезапное появление жизни на планете, но сам механизм возникновения жизни, якобы имевшей место где-то в другой звездной системе, данная концепция не рассматривает.

Пока эта гипотеза полного научного обоснования не получила. При всей широте спектра возможных условий существования живых организмов считается, что они должны погибнуть в космосе под действием облучения. Космические исследования до настоящего времени позволяют считать, что вероятность обнаружить жизнь в пределах Солнечной системы

очень мала. Доводы в пользу нахождения в метеоритах объектов, напоминающих примитивные формы жизни, пока выглядят малоубедительно.

Теория самопроизвольного зарождения жизни существовала в Древнем Египте, Китае, Индии. Ее развивали Фалес, Анаксагор, Демокрит, Аристотель, позднее поддерживали Галилей, Декарт, Ламарк, Гегель. Однако еще в 1688 г. итальянский биолог Ф. Реди серией опытов с открытыми и закрытыми сосудами доказал, что появляющиеся в гниющем мясе черви – это личинки мух, и сформулировал свой принцип: все живое из живого (концепция биогенеза). В 1860 г. Л. Пастер доказал, что бактерии вездесущи и могут заражать неживые вещества, для избавления от них необходима стерилизация. Л. Пастер обосновал справедливость теории биогенеза и окончательно опроверг теорию спонтанного зарождения жизни.

Отрицание возможности самозарождения жизни в настоящее время не противоречит представлениям о принципиальной возможности развития органической природы и жизни в прошлом из неорганической материи. На определенной стадии развития материи жизнь может возникнуть как результат естественных процессов, совершающихся в самой материи. Кроме того, элементарные химические процессы на начальных этапах возникновения и развития жизни могли происходить не только на Земле, но и в других частях Вселенной и в различное время. Поэтому не исключается возможность занесения определенных предпосылочных факторов жизни на Землю из космоса. Однако в изученной пока человеком части Вселенной только на Земле они привели к формированию и расцвету жизни.

Сторонники теории вечного существования жизни считают, что Земля никогда не возникала, а существовала вечно. При этом она всегда была способна поддерживать жизнь, причем некоторые виды при изменениях условий на планете резко меняли численность или вымирали.

Большая часть доводов в пользу этой теории связана с такими неясными аспектами эволюции, как разрывы в палеонтологической летописи, со все более высокими оценками возраста Земли, с обнаружением некоторых видов животных, которые ранее считались вымершими.

Данная теория не выдерживает критики, если учесть, что возраст Земли составляет, по последним научным данным, 4,5 млрд лет.

Современные представления о происхождении жизни восходят к гипотезам советского академика А. И. Опарина и английского естествоиспытателя Д. С. Холдейна. Пик исследований приходится на 50–60-е гг. про-

шлого столетия, хотя книга А. И. Опарина «Происхождение жизни» была опубликована еще в 1924 г.

Появление жизни А. И. Опарин рассматривал как единый естественный процесс, который состоял из протекавшей в условиях ранней Земли первоначальной химической эволюции, перешедшей постепенно на качественно новый уровень – биохимическую эволюцию.

В далеком прошлом (4,5 млрд лет назад) Земля была очень горячей (4000–8000 °С), и по мере остывания образовывалась земная кора, а из воды, аммиака, двуокиси углерода и метана – атмосфера. Такая атмосфера называется восстановительной, поскольку не содержит свободного кислорода. При понижении температуры на поверхности Земли ниже 100 °С образовались первичные водоемы. Под действием электрических разрядов, тепловой энергии, ультрафиолетовых лучей в газовой смеси происходил синтез органических веществ – мономеров, которые локально накапливались и соединялись друг с другом, образуя полимеры. Можно допустить, что тогда же одновременно с полимеризацией шло образование надмолекулярных комплексов – мембран.

По однотипным правилам в «первичном бульоне» гидросферы Земли синтезировались полимеры всех типов: аминокислоты, полисахариды, жирные кислоты, нуклеиновые кислоты, смолы, эфирные масла и др. Это предположение было экспериментально подтверждено американским ученым Л. С. Миллером в 1953 г. Пропуская электрические разряды через смесь нагретых газов H_2 , H_2O (пар), CH_4 и NH_3 , он получил целый ряд аминокислот и органических кислот. Оказалось, что таким путем можно синтезировать очень многие органические соединения, входящие в состав биологических полимеров – белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов.

Первичные клетки предположительно возникли при помощи молекул жиров (липидов). Молекулы воды, смачивая только гидрофильные концы молекул жиров, ставили их как бы «на голову», гидрофобными концами вверх. Таким образом создавался комплекс упорядоченных молекул жиров, которые за счет прибавления к ним новых молекул постепенно ограничивали от всей окружающей среды некоторое пространство, которое и стало первичной клеткой, или коацерватом, – пространственно обособившейся целостной системой. Коацерваты оказались способными поглощать из внешней среды различные органические вещества, что обеспечивало возможность первичного обмена веществ со средой.

Кроме коацерватов в «первичном бульоне» накапливались полинуклеотиды, полипептиды и различные катализаторы, без которых невозможно образование способности к самовоспроизведению и обмену веществ. Катализаторами могли быть и неорганические вещества.

Главная проблема в учении о происхождении жизни состоит в объяснении возникновения матричного синтеза белков. Жизнь возникла не тогда, когда образовались пусть даже очень сложные органические соединения, отдельные молекулы ДНК и др., а тогда, когда начал действовать механизм конвариантной редупликации. Именно поэтому завершение процесса биогенеза связано с возникновением у более стойких коацерватов способности к самовоспроизведению составных частей, с переходом к матричному синтезу белка, характерному для живых организмов. В ходе предбиологического отбора наибольшие шансы на сохранение имели те коацерваты, у которых способность к обмену веществ сочеталась со способностью к самовоспроизведению.

Переход к матричному синтезу белков был величайшим качественным скачком в эволюции материи. Однако механизм такого перехода пока неясен.

В настоящее время наиболее перспективными являются гипотезы, которые опираются на принципы теории самоорганизации, синергетики, на представления о гиперциклах, т. е. о системах, связывающих самовоспроизводящиеся (автокаталитические) единицы друг с другом посредством циклической связи.

В таких системах продукт реакции одновременно является и ее катализатором или исходным реагентом. Поэтому и возникает явление самовоспроизведения, которое на первых этапах совсем не обязательно приводило к образованию точной копии исходного органического соединения. О трудностях становления самовоспроизведения свидетельствует существование вирусов и фагов, которые представляют собой, по-видимому, осколки форм предбиологической эволюции.

В системе коацерватов происходил отбор нуклеиновых кислот по наиболее удачному сочетанию последовательности нуклеотидов. По этому пути формировались гены. Самовоспроизводящиеся системы со сложившейся стабильной последовательностью нуклеотидов в нуклеиновой кислоте уже могут быть названы живыми.

В нашу эпоху отсутствуют условия для синтеза и усложнения органических веществ: простые соединения, которые могли бы где-то образоваться, сразу же были бы использованы гетеротрофами. Теперь живые существа появляются только вследствие размножения.

Возникнув, жизнь стала развиваться быстрыми темпами (ускорение эволюции во времени). Так, развитие от первичных протобионтов до аэробных форм потребовало около 3 млрд лет, тогда как с момента возникновения наземных растений и животных прошло около 500 млн лет; птицы, млекопитающие развились от первых наземных позвоночных за 100 млн лет, приматы выделились за 12–15 млн лет, для становления человека потребовалось около 3 млн лет [13].

6. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

6.1. Образование планет

Вопросами происхождения планет Солнечной системы занимается *космогония*. К сожалению, пока нет возможности проверить выводы теории на какой-то другой планетарной системе.

Наблюдения за планетами позволили выявить следующие закономерности:

- почти все планеты вращаются в одном направлении, как и почти все спутники вокруг своих планет;
- почти все планеты имеют малый наклон плоскости орбит к плоскости эклиптики (плоскости траектории годового движения Солнца) и малые эксцентриситеты (кроме Плутона и некоторых малых планет);
- все планеты вращаются вокруг Солнца в одном направлении вокруг своих осей;
- расстояния планет до Солнца составляют некоторую прогрессию, определяемую правилом Тициуса – Боде;
- планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) имеют меньшую плотность и больший размер и вращаются вокруг своих осей быстрее, чем планеты земной группы.

Возраст Земли составляет около 5 млрд лет. Максимальный возраст у метеоритов – объектов, приходящих к нам из Солнечной системы (7 млрд лет).

Основные характеристики планет приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики планет Солнечной системы
(масса и радиус Земли приняты за единицу)

Планета	Большая полуось, млн км	Период обращения вокруг Солнца	Масса	Радиус	Средняя плотность, кг/м ³	Сутки	Наклонение экватора к плоскости орбиты, град	Спутники
Меркурий	58	0,24	0,06	0,38	5400	56,7 дн.	0	0
Венера	108	0,62	0,82	0,95	5200	243 дн.	- 2	0
Земля	150	1	1	1	5500	1 день (23,93 ч)	23,5	1
Марс	227	1,88	0,11	0,53	3900	24,6 ч	25	2
Юпитер	778	11,86	317,80	11,20	1300	9,8 ч	3	16
Сатурн	1428	29,46	95,10	9,42	700	10,7 ч	27	20
Уран	2872	84,01	14,50	4,10	1300	17,24 ч	98	15
Нептун	4498	164,82	3,88	1700	2000	6,4 дн.	- 58	8

В настоящее время известен ряд гипотез образования Солнечной системы [1].

Так, французский зоолог Ж. Л. Леклерк Бюффон (1707–1788) считал, что материя, из которой возникли все планеты, была выброшена из недр Солнца ударом кометы. Эти куски солнечного вещества постепенно группировались в комки и охлаждались. Бюффон ставил опыты с раскаленными шарами и заключил, что Земле потребовалось бы для охлаждения 75 тыс. лет. Он ввел в науку о неживой природе идею эволюции, что вызвало к жизни небулярную гипотезу происхождения планет (от лат. *nebule* – туман, облако).

По гипотезе Канта – Лапласа образование планет произошло в результате эволюции холодной (И. Кант) или горячей (П. Лаплас) пылевой туманности, быстро вращающейся вокруг центра масс.

И. Кант предположил, что Солнечная система образовалась из космического облака, или «хаоса». Мировое пространство, по его мнению, было заполнено инертной, бесформенной и неупорядоченной материей, стремящейся преобразоваться в более организованную путем естественного развития. Совокупность действия ньютоновского притяжения и сил отталкивания

(понятие ввел И. Кант) обусловила возможность зарождения в хаосе круговых движений, поэтому и орбиты планет почти круговые, и вращаются они в одну сторону. Образовавшись из сгущений, возникших в первичной туманности, планеты отдалялись от нее и от Солнца центробежной силой.

И. Канту удалось представить структуру Вселенной, которую не предполагал И. Ньютон: Вселенная есть иерархия самогравитирующих систем.

По П. Лапласу (1786), первичное Солнце было звездой огромных размеров, превышающих радиус орбиты Юпитера. При медленном вращении этой материи происходило охлаждение и конденсация. По мере сжатия скорость вращения увеличивалась вследствие сохранения момента количества движения, тогда как центробежная сила в области экватора росла, и в этой области от первичного Солнца должно было отделиться газовое кольцо. Из отделяющихся от первичного Солнца колец материи образовались планеты. Каждое кольцо разрывалось на несколько масс, конденсирующихся потом в планету. Спутники планет образовались из газовых колец, отделенных уже самими планетами.

Небулярная гипотеза Канта – Лапласа оставалась первой ротационной гипотезой о возникновении Солнечной системы вплоть до конца XIX в. Однако она не объясняла больших размеров орбит внешних планет-гигантов и медленности вращения Солнца, а также не отвечала на вопрос, почему момент количества движения планет почти в 29 раз больше момента количества движения (момента импульса) Солнца, если Солнечная система изолирована.

Последнее обстоятельство предполагало вмешательство какой-то внешней силы. Так появились катастрофические гипотезы.

Д. Х. Джинс, автор одной из таких гипотез, предположил, что какая-то звезда прошла около Солнца и вырвала газовые струи, из которых и возникли планеты. Недостатком такой гипотезы является уникальность образования планетной системы, поскольку близкое прохождение звезд, почти столкновение, – очень редкое событие (происходит раз в 10^{17} лет).

Академик О. Ю. Шмидт (1891–1956) отказался от гипотезы изолированной Солнечной системы. Он полагал, что Солнце могло захватить из галактики матерью, обладающую достаточным моментом. При образовании планет из метеоритов стало преобладать какое-то направление вращения, и все планеты начали двигаться в одну сторону. Кроме того, орбиты стали симметричными по всем направлениям, почти круговыми. Расчеты

О. Ю. Шмидта показали уменьшение периода вращения Солнца до 20 суток (сейчас он равен 25 суткам), что считается хорошим результатом.

Академик В. Г. Фесенков (1899–1972) обратился к внутренним процессам Солнца. Он считал, что при переходе от одного типа ядерных реакций внутри Солнца к другому для условия равновесия потребовался выброс массы, что соответствовало расчетам английского астронома и математика Дисордиса Дарвина (сына Ч. Дарвина) и русского математика и механика А. М. Ляпунова (1857–1918). Гипотеза В. Г. Фесенкова связала развитие Солнечной системы в единое целое и избавила теорию планетообразования от внешних случайных факторов.

Использование ЭВМ позволило рассчитать эволюцию модели Солнечной системы при разных начальных условиях.

При определенных значениях массы, плотности и температуры газопылевой комплекс начинает сжиматься, возникающие неоднородности разрывают его на фрагменты, из которых при дальнейшем сжатии и образуются протозвезды. Наше Солнце стало протозвездой около 5 млрд лет назад. Центробежные силы выделили экваториальную область, в ней возникли неустойчивые нестационарные потоки в газе и пыли, и часть этого вещества была оторвана от самого Солнца, унося с собой избыточный момент количества движения. Так образовался газопылевой диск в экваториальной плоскости Солнца. Этот диск рос, и в нем возникали условия для рождения планет. Во вращающемся и сжимающемся фрагменте, терявшем часть вещества на образование диска, увеличивалась температура, росло давление, что препятствовало дальнейшему сжатию. Во внешних слоях стали происходить бурные процессы, вызвавшие появление токов огромной силы в ионизированном газе и сильных магнитных полей. Когда температура достигла 10 млн К, начались термоядерные реакции и «загорелось» Солнце. На этот процесс потребовалось почти 100 млн лет.

Протопланетное облако к этому времени представляло собой кольцо, в котором при уплотнении пылинки сжимались между собой. Солнце нагревало внутреннюю часть кольца, вызывая испарение, выгоняя солнечным ветром более легкие элементы в дальние части кольца, где они замерзали. Так происходило образование двух групп планет. Планеты земной группы образовались примерно за 100 млн лет.

В зависимости от расстояния до Солнца разные части туманности остывали с разной скоростью. Это привело к неоднородности протекания

химических процессов, которая усиливалась излучением и корпускулярной радиацией Солнца, что потом отразилось на составе образовавшихся планет. Химическая эволюция протекала тоже по-разному: сначала конденсировались наиболее тугоплавкие соединения, потом – летучие. Сгущение высокотемпературных фракций конденсатов вело к образованию ядер планет, обогащенных железо-никелевым сплавом. Затем оседали магnezийно-силикатные породы, которые образовали первичные мантии. Более поздние конденсаты – гидратированные силикаты, органические вещества и летучие соединения. Так формировались первичные планеты земной группы [6].

Планеты-гиганты образовывались дольше. За 100 млн лет сформировались их ядра, потом они аккумулировали газ окружающего пространства и образовали свои атмосферы. Начальные температуры планет-гигантов были высокими (у Юпитера – 500 К, у Сатурна – 2000 К), что обеспечивалось распадом короткоживущих радиоактивных элементов и интенсивным падением метеоритов. Формирование более дальних планет происходило еще медленнее.

6.1.1. Планеты земной группы

Таким образом, в Солнечной системе образовались 9 планет и пояс астероидов (рис. 16). Объединенные в одну группу ближние к Солнцу планеты: Меркурий, Венера, Земля, Марс – хотя и близки по некоторым характеристикам, но все же каждая из них имеет свои особенности.

Меркурий – самая малая планета земной группы. Эта планета не смогла сохранить атмосферу в том составе, который характерен для Земли, Венеры, Марса. Ее атмосфера крайне разрежена и содержит Ar, Ne, He. Атмосфера Земли отличается большим содержанием кислорода и паров воды, благодаря которым обеспечивается существование биосферы. На Венере и Марсе в атмосфере содержится большое количество углекислого газа при очень малом содержании кислорода и паров воды – все это характерные признаки отсутствия жизни на данных планетах. Нет жизни и на Меркурии: отсутствие кислорода, водорода и высокая температура (620 К) препятствуют развитию живых систем. Остается открытым вопрос о существовании жизни на Марсе в отдаленном прошлом [17].

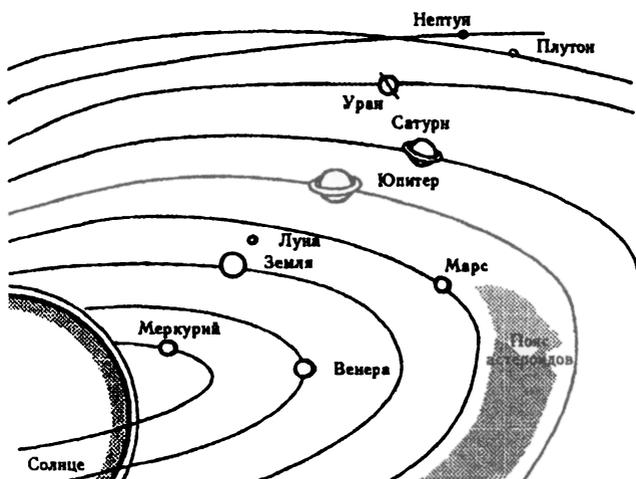


Рис. 16. Схема Солнечной системы

Планеты Меркурий и Венера спутников не имеют. Природные спутники Марса – Фобос и Деймос.

6.1.2. Планеты-гиганты

Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун относятся к планетам-гигантам.

Юпитер – пятая по расстоянию от Солнца и самая большая планета Солнечной системы – находится на среднем расстоянии от Солнца, равном 5,2 а. е. (1 а. е. = $1,5 \cdot 10^8$ км). Юпитер – мощный источник теплового радиоизлучения, обладает радиационным поясом и обширной магнитосферой. Эта планета имеет 16 спутников и окружена кольцом шириной около 6 тыс. км.

Сатурн – вторая по величине планета. Сатурн окружен кольцами, которые впервые наблюдал в 1610 г. Галилей с помощью созданного им телескопа. Кольца представляют собой плоскую систему множества мелких спутников планеты. Сатурн имеет 17 спутников и обладает радиационным поясом.

Уран – седьмая по порядку удаления от Солнца планета. Вокруг Урана вращается 15 спутников: 5 из них открыты с Земли, а 10 – с помощью космических аппаратов. Уран имеет систему колец.

Нептун – одна из самых удаленных от Солнца планет (она находится от него на расстоянии около 30 а. е.). Нептун имеет 8 спутников. Удаленность от Земли ограничивает возможности его исследования.

Плутон не относится ни к планетам земной группы, ни к планетам-гигантам. Это сравнительно небольшая планета: ее диаметр около 3000 км. Плутон принято считать двойной планетой. Его спутник, примерно в 3 раза меньший по диаметру, движется на расстоянии около 20 000 км от центра планеты, совершая один оборот за 4,6 суток.

6.2. Строение Земли

В настоящее время принято как научный факт сферное (оболочечное) строение Земли. Главными оболочками являются баросфера, гидросфера, атмосфера. О биосфере и ноосфере речь уже велась ранее. Гидросферу и атмосферу называют внешними оболочками Земли, баросфера – внутренняя земная оболочка [8, 16].

Земные оболочки различаются прежде всего плотностью их физических веществ. Так, плотность воздуха при нормальных условиях ($T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 1\text{ атм} = 760\text{ мм рт. ст.}$) равна $1,3\text{ г/л дм}^3$. Плотность воды составляет примерно 1 кг/л дм^3 , плотность горных пород – $2,5\text{--}2,8\text{ кг/л дм}^3$.

Земные оболочки взаимосвязаны и проникают друг в друга. Гидросфера практически всегда присутствует в литосфере (верхняя оболочка Земли) и в атмосфере, атмосфера – в литосфере и гидросфере и т. п. Во всех этих оболочках присутствует биосфера. В литосфере бактерии встречаются до глубины 4–5 км от поверхности Земли, в гидросфере – до максимальных глубин Мирового океана, в атмосфере – до основного озонового слоя (до 36 км от поверхности Земли).

Как уже отмечалось ранее, Эратосфен впервые довольно точно определил радиус Земли. Затем после работ И. Ньютона появилось предположение о том, что земной шар сплюснут у полюсов вследствие особого вращения, т. е. Земля имеет форму сфероида или эллипсоида, сплюснутого вдоль оси вращения. В XIX в. было установлено, что Земля имеет еще более сложную форму – геоида.

Геоид – фигура, поверхность которой всюду перпендикулярна направлению силы тяжести. Геоид – это такая фигура, которую образовала бы поверхность Мирового океана, будь она свободна от всяческих возмущений (приливов, неоднородностей атмосферного давления и т. п.). Геоид

и эллипсоид вращения, описывающие поверхность Земли, достаточно близки друг к другу.

Что на сегодняшний день известно о строении Земли? Самый большой объем знаний получен путем анализа физических полей, основным из которых является поле упругих сейсмических волн, возникающих в очагах землетрясений, ядерных взрывов, а также путем математического моделирования.

Строение Земли очень сложное, оно постоянно уточняется и детализируется.

В первом приближении внутри Земли находятся ядро, мантия и земная кора. Все эти элементы имеют, в свою очередь, сложную структуру, состоят из концентрических слоев (рис. 17).

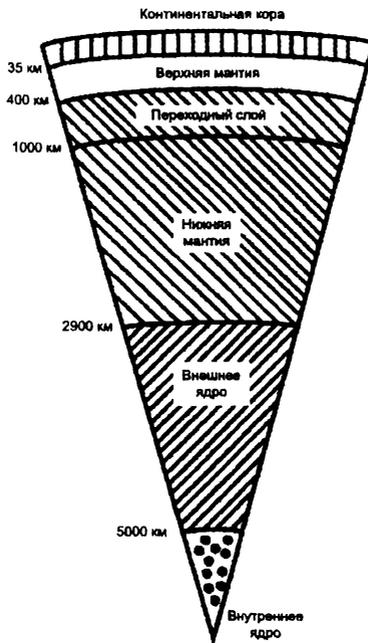


Рис. 17. Внутренние оболочки Земли

Ядро Земли занимает примерно 17% объема земного шара, или 34% массы Земли. В структуре ядра выделяют три слоя: внутреннее ядро (субъ-

ядро), находящееся глубже 5120 км; переходную область (4980–5120 км); внешнее ядро (от нижней границы мантии до глубины 4980 км).

Внутреннее ядро Земли представляет собой шар диаметром 2500 км и имеет кристаллическую структуру. Его температура превышает 4000°C, но благодаря гигантскому давлению (свыше 500 000 атм) оно сохраняет свою кристаллическую природу.

Согласно современным геофизическим данным, внешнее ядро жидкое. Оно состоит, по-видимому, из жидкого железа с примесью кремния, никеля и их соединений с серой и кислородом. Твердое ядро «плавает» в жидкой оболочке. Внутреннее ядро более чем на 90% состоит из железа. Эта железная составляющая (особенно во внешнем, жидком ядре) ответственна за земной магнетизм. Энергичное конвективное движение внутри внешнего ядра объясняет неоднократное изменение магнитной полярности нашей планеты. Палеомагнитные данные древних пород свидетельствуют о том, что северный и южный магнитные полюса неоднократно менялись местами.

Мантия Земли, расположенная от подошвы земной коры до поверхности ядра, находящегося на глубине 2900 км, состоит главным образом из окислов кремния, магния и железа. Вещество мантии находится в жидком состоянии, но вязкость его очень высока. Для всей мантии характерны сильные конвективные движения, которые обеспечивают смещение литосферных плит и приводят к извержению на поверхность Земли высокотемпературных (около 1300 °C) лав – мантийного вещества.

Ближайший к поверхности Земли слой мантии – это литосфера. Она состоит из плит, которые при отсутствии внешних воздействий длительное время сохраняют свою форму. Как правило, располагающиеся под литосферными плитами вещество частично размягчено и под давлением деформируется и течет, что приводит к движению плит.

Перемещение литосферных плит, крупнейшие из которых Тихоокеанская, Северо-Американская, Евразийская, Африканская, Индо-Австралийская и Арктическая, составляют около 3 см в год, что за миллионы лет складывается в тысячи километров. Мощность (толщина) литосферных плит составляет от 2 до 100 км.

Земная кора – внешняя оболочка Земли толщиной менее 10 км под океанами, но более 25 км под материком. Океаническая кора состоит в основном из базальтов – пород вулканического происхождения. Континен-

тальная кора сложена из гранитов и магматических пород. Плотность океанической коры больше, чем плотность континентальной коры.

6.3. Водная оболочка Земли (гидросфера)

Поверхность Земли на 71% покрыта водой. Совокупность всех водных объектов земного шара: океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, болот, подземных вод, ледников, снежных покровов – образует *гидросферу* Земли.

Большая часть гидросферы (около 63%) сосредоточена в Мировом океане. На пресные воды суши приходится не более 0,05% всех вод. Отличительной особенностью водной оболочки является полный охват ее жизнью.

Воду еще с древних времен рассматривали как основу жизни. Согласно воззрениям Фалеса, Аристотеля и др., она входит в число четырех начал и ее соединение с другими началами (земля, воздух, огонь) породило все многообразие мира.

Вода обладает многими удивительными свойствами. Наибольшую плотность она имеет при +4 °С, при дальнейшем охлаждении ее объем увеличивается почти на 10%, а плотность уменьшается. Поэтому лед и не тонет. На это уникальное свойство обратил внимание еще Галилей. Именно этой особенностью обуславливается сохранение жизни в водоемах зимой.

Из-за большой теплоемкости вода обеспечивает возможность стабилизации температуры в условиях, близких к благоприятным для живых организмов. Моря и океаны являются гигантскими термостатами, сглаживающими суточные и сезонные колебания температуры. Причем не только большие массы воды, такие как моря, способны сглаживать эти колебания. Резкие суточные колебания температуры в районе великих пустынь связаны с отсутствием водяного пара в воздухе. Одно и то же количество солнечной энергии повышает температуру песка в 5 раз больше, чем температуру такого же количества сухого воздуха. Сухой воздух лишен водяного пара, способного сдержать быстрое ночное охлаждение песка.

Вода как растворитель играет основную роль в существовании жизни. Более 90% массы живой клетки приходится на долю молекул воды. Действительно, основная часть реакций в живой клетке происходит в растворе, где ионы и молекулы получают возможность относительно свободного движения. Вода участвует в транспортировке веществ по живому организму, обеспечивает стабильные условия для обитания клеток и организмов.

Вода является участником процессов обмена веществ (метаболизма). При фотосинтезе она служит источником водорода и участвуют в реакциях гидролиза. Она одновременно и среда, в которой протекают все биохимические процессы, и их участник. Вода – слабый электролит. Даже в сверхчистой воде одна молекула из 5 млрд ($2 \cdot 10^{-10}$) диссоциирует на катион водорода H^+ и анион OH^- .

Земля непрерывно получает энергию от Солнца и одновременно излучает ее в космическое пространство. Если оценить баланс этих процессов, то получится следующее. В северном полушарии (от 38 параллели и до полюса) излучение энергии обычно больше, чем поглощение от Солнца. На экваторе ситуация меняется. Выравнивание температуры происходит исключительно благодаря круговороту воды.

За счет циркуляции воздушных масс в атмосфере и морских течений избыточная солнечная энергия переносится из теплых волн в холодные. Важную роль играют полюса, на которых вследствие таяния льда поглощается избыточная энергия.

Общая масса снега и льда на Земле составляет 0,0004% от массы всей Земли, или 2,15% от массы всей воды. Этого достаточно для того, чтобы покрыть всю поверхность планеты слоем толщиной 53 см. Если эта масса растает, то уровень океана поднимется на 64 м. В Антарктике и Гренландии находится 99% льда.

Общая масса воды составляет 1/4000 массы Земли (около $1,5 \cdot 10^{15}$ т). Вода находится в трех фазовых состояниях: твердом, жидком и газообразном (табл. 5).

Таблица 5

Количество воды на Земле

Фазовое состояние	Количество, трлн т	Доля от общей массы, %
Жидкая вода	$1,15 \cdot 10^6$	98,85
Твердая вода	$0,31 \cdot 10^6$	2,15
Водяные пары атмосферы	12,4	$85 \cdot 10^{-4}$

Мировой океан – основная часть гидросферы. Средняя глубина вод океана составляет 3,8 км, общий объем воды – приблизительно 1 млрд 340 млн км³. Основные характеристики океанов приведены в табл. 6.

В настоящее время годовой водный баланс Мирового океана складывается следующим образом, тыс. км³: расход (испарение воды с поверхности Мирового океана и суши) – 505; приход (осадки) – 458 (90%); речной сток – 47.

Таблица 6

Основные характеристики океанов

Океан	Доля от общей массы воды, %	Площадь, тыс. км ²	Средняя глубина, м	Средняя температура, °С	Подъем уровня воды, мм в год
Тихий	52,8	178 684	4028	19,4	1,5
Атлантический	24,7	91 655	3627	16,5	1,7
Индийский	21,3	76 174	3897	17,0	0,9
Северный Ледовитый	1,2	14 699	1296	-0,8	-

Современный уровень Мирового океана установился около 7000 лет назад. Колебания уровня за последние 200 млн лет, по данным геологических исследований, составили не более ± 100 м относительно современного.

Средняя продуктивность океана невелика и соизмерима с продуктивностью пустыни. Высокой продуктивностью отличаются только 17% поверхности океана. Это зоны, в которых солнечные лучи достигают дна (глубины не более 500 м, коралловые рифы, мелководья). Около половины поверхности Мирового океана – биологическая пустыня. Более 2/3 биомассы живых организмов сосредоточено на глубине до 500 м.

Подземными водами называют все воды, находящиеся под земной поверхностью. В глубине Земли воды больше, чем на поверхности. По примерным оценкам, количество подземной воды составляет 28,5 млрд км³, что почти в 15–20 раз больше, чем в Мировом океане. Неразрывная связь всех вод Земли позволяет заключить, что подземная вода является основным резервуаром, из которого пополняются поверхностные моря и океаны.

Всю подземную гидросферу можно разбить на 5 зон:

1. *Криозона* – зона «твердой воды» (область льдов). Глубины, до которых простираются льды, неизвестны. Область их распространения охватывает северные районы Евразии и Америки, Антарктиду. Криозона включает не только лед, но и жидкие рассолы, замерзающие при низких темпе-

ратурах (могут отвечать за образование вечной мерзлоты). Толщина криозоны достигает 1 км.

2. Зона *«жидкой воды»*. Охватывает практически всю земную кору. Количество воды соизмеримо с содержанием ее в Мировом океане.

3. Зона *«парообразной воды»*. Ограничена слоями с температурой 450–700 °С. Простирается до глубины 160 км, давление достигает 5 ГПа.

4. Зона *«мономерных молекул воды»*. Охватывает слои с диапазоном температур 700–1000 °С и давлением до 10 ГПа. Граница доходит до глубины 270 км.

5. Зона *«плотной воды»*. Простирается до глубины 3000 км и охватывает всю мантию с температурой 1000–4000 °С и давлением до 120 ГПа. Вода полностью диссоциирована на ионы водорода и кислорода и в обычном смысле, конечно, отсутствует.

6.4. Атмосфера

Атмосфера Земли – это ее газовая (воздушная) оболочка, распространяющаяся до высот более 100 км.

С атмосферой человек связывает свои представления о погоде и климате, так как последние непосредственно влияют на живые организмы.

Масса атмосферы около $5 \cdot 10^{18}$ кг, причем половина воздуха сосредоточена на высотах ниже 6 км. По оценкам ученых, возраст воздушной оболочки составляет несколько миллиардов лет.

Условная верхняя граница атмосферы располагается там, где ее плотность оказывается равной плотности газов межпланетного пространства, – на высоте около 1000–1200 км (где еще наблюдаются полярные сияния).

Атмосфера вращается вместе с Землей. У поверхности Земли современная атмосфера состоит (в весовых процентах) из азота (78%), кислорода (21%), инертных газов и водорода (0,94%), углекислого газа (0,03%) и в небольших количествах содержит O_3 , CO , NH_3 , CH_4 , SO_2 и др. Воздух в атмосфере загрязнен: даже над открытым морем в 1 см^3 воздуха содержится более 1000 пылинок. В атмосферу с земной поверхности непрерывным потоком поступают всевозможные примеси, порождаемые геохимическими и биологическими процессами, а также человеческой деятельностью. Прежде чем вернуться на Землю, в почву или воды, эти вещества вместе с потоками воздуха странствуют в атмосфере, участвуя в микрохимических и микрофизических процессах.

Основными процессами в атмосфере являются солнечная радиация и конвективный обмен. Исследования атмосферы сводятся к выявлению в ней изотерм и изобар (линий и поверхностей системы координат, соответствующих постоянным температуре и давлению), а также аналогичных линий, характеризующих распределение влагосодержания. В атмосфере имеются свои узловые регионы с устойчивыми минимумами и максимумами температуры и давления, например исландский и алеутский минимумы давления. Именно в районе исландского минимума обычно зарождаются циклоны, проходящие через всю Европу с запада на восток. Кроме того, существуют области, в которых слабое давление летом сменяется повышенным давлением зимой (Восточная Сибирь).

По характеру изменения температуры с высотой в атмосфере выделяют 5 сфер: тропосферу (до 20 км); стратосферу (до 55 км); мезосферу (до 90 км); ионосферу (до 800 км); экзосферу (2000–3000 км).

Тропосфера простирается около полюсов на 8–10 км, около экватора – на 16–19 км, т. е. зависит от географической широты. В тропосфере находится 75% всей массы воздуха. В ней из-за постоянного перемешивания воздуха образуются облака, дождь, снег, град, ветер. Поэтому тропосферу называют «фабрикой погоды». С высотой температура воздуха в тропосфере убывает примерно на 1 градус на каждые 200 м. На верхней границе тропосферы средняя годовая температура равна – 50–70 °С.

В лежащей выше *стратосфере* температура воздуха медленно растет и на верхней границе достигает 0 °С. О температуре уже можно говорить только как о мере энергии частиц. Концентрация частиц в стратосфере в 100 раз меньше, чем у поверхности Земли. Водяного пара в стратосфере нет. Здесь на высоте от 20 до 30 км лежит озоновый слой. Между стратосферой и тропосферой за счет конвекции происходит постоянный обмен воздушными массами. Поэтому стратосферу иногда называют «кладовой погоды».

Следующий слой – *мезосфера*. При увеличении высоты температура падает до – 70–80 °С. На высоте 80 км образуются серебристые облака.

Выше мезосферы располагается *ионосфера* (до 800 км), которая состоит преимущественно из заряженных частиц, обладающих способностью отражать короткие радиоволны, что позволяет осуществлять дальнюю радиосвязь. Температура характеризуется непрерывным повышением. Так,

при подъеме с высоты 150 км до 500–600 км температура изменяется от 220 до 1500 °С.

Внешняя оболочка – *экзосфера* – простирается от ионосферы до высоты 2000–3000 км, при этом температура с ростом высоты продолжает увеличиваться до 2000 °С.

6.5. Климат Земли

Понятие климата возникло еще в Древней Греции (от греч. *klima* – наклон). Люди уже тогда понимали, что погодные условия зависят от наклона земной поверхности к солнечным лучам, т. е. от высоты Солнца над горизонтом. Позднее помимо «наклона» стали учитывать влияние подстилающей поверхности океана и суши на атмосферу.

Под климатом понимают усредненные за сто лет характеристики (температуру, давление, освещенность, количество осадков и т. п.). Оказалось, что такое усреднение довольно точно характеризует условия, существующие как в отдельных зонах, так и на планете в целом. Именно поэтому климат является глобальной характеристикой. На протяжении жизни отдельного человека климат практически остается постоянным, погода рассматривается как нечто колеблющееся около некоторых средних величин.

Климат как общепланетное явление есть результат саморегулирующихся процессов в атмосфере. Последняя, в свою очередь, представляет собой сложную систему (с почти постоянным поступлением энергии извне), находящуюся в состоянии, близком к неустойчивому равновесию, с балансом энергии, зависящим от соотношения площадей ее подсистем. Количественная теория климата еще не создана. Для ее создания необходимо изучить гидрометеорологические процессы в масштабах всей планеты как единое целое.

Основными климатообразующими процессами являются теплообмен, влагообмен и циркуляция атмосферы. Все эти процессы связаны друг с другом, так как имеют один источник энергии – Солнце.

Теплообмен складывается в основном из процессов поглощения солнечной энергии поверхностью суши и океанов; испарения воды (включая испарение растениями); теплоотдачи от поверхности океана и суши в атмосферу; таяния и кристаллизации воды. Количество тепла, выделяемого океаном и сушей, примерно одинаково, но так как площадь суши в три раза меньше площади океанов, то интенсивность теплового потока с еди-

ницы поверхности суши в 3 раза выше, чем с единицы поверхности океана. Интенсивность теплового потока от океана достигает максимума в тропических поясах. Толщина океанического слоя, в котором проявляются сезонные колебания, составляет 240 м, а толщина аналогичного слоя суши – 10 м. Океан играет ведущую роль в климатической системе, определяя изменения климата и долгосрочные аномалии погоды.

Влагообмен проявляется в испарении воды с подстилающей поверхности, конденсации и выпадении осадков, переносе водных масс течениями в морях и океанах. Годовое количество осадков на океанах в 1,5 раза больше, чем на суше, однако в экваториальном поясе разницы практически нет. В умеренном поясе южного полушария на суше выпадает осадков больше, чем на океанах. Распределение осадков в пространстве связано с рельефом и физическими свойствами подстилающей поверхности, которые влияют на развитие вертикальных движений воздуха.

Циркуляция атмосферы складывается из горизонтальных и вертикальных воздушных течений. Существование постоянной разности температур между экватором и полярными областями является основной причиной движения воздуха в атмосфере. Воздушные потоки не распределяют влагу над поверхностью Земли. В процессе планетарного влагообмена в тропосферу над сушей поступает тепло с океанов, достаточное для испарения годового стока воды с суши в океан.

Климат классифицируют по различным признакам:

1. По объему территорий, охватываемых анализом отмеченных выше взаимосвязей: макроклимат – от планеты до крупных географических районов; мезоклимат – для крупного географического ландшафта (лес, город и т. п.); микроклимат – для небольшой территории или отдельных небольших объектов (склон, улица, дом, нора и т. д.).

2. По географическим зонам: климат тундры, тайги, пустыни, саванны, тропического леса и т. д.

3. По связи атмосферы с поверхностью Земли: климат приземного слоя, климат высоких слоев атмосферы.

4. По нахождению воздушных масс над сушей или океаном: океанический, морской, континентальный.

5. По степени насыщенности водяными парами: аридный (сухой), семиаридный, гумидный (влажный).

Основными географическими факторами, обуславливающими пространственные различия климата, являются: географическая широта местности, подстилающая поверхность (пустыня, лес, тундра, степь и т. д.), близость к океану, высота над уровнем моря.

Географическая широта оказывает самое сильное влияние на взаимосвязь процессов тепло- и влагообмена, циркуляцию воздушных масс. Так, отклоняющая сила вращения Земли (силы Кориолиса), перенос влаги, выпадение осадков непосредственно связаны с широтой местности. Поэтому и возникло понятие зонального климата.

Температура воздуха вблизи поверхности Земли повышается при движении от полюса к экватору (рис.6).

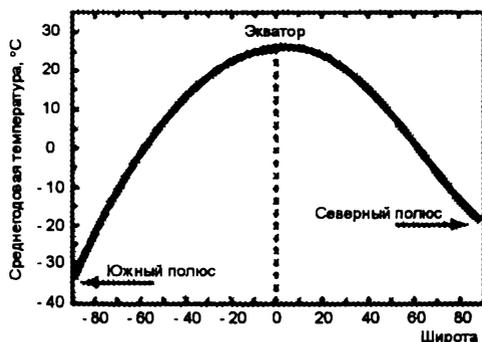


Рис. 6. Связь среднегодовой температуры с широтой местности

Среднегодовая температура на Южном полюсе (-35°C) ниже, чем на Северном (-19°C). Область с самой высокой среднегодовой температурой (20°C) находится не на экваторе, она несколько смещена в сторону Северного полюса. Оказывается, Южное полушарие холоднее Северного. Это связано с разными условиями теплового режима полушарий.

Действительно, в Северном полушарии на сушу приходится 39% поверхности, а в Южном — 19%. Различны и характеристики полярных областей. Северная полярная область занята океаном и за счет связи с другими океанами получает значительное количество тепла. Южная полярная область занята материком, покрытым самым мощным ледяным покровом, и приток энергии возможен только за счет атмосферных процессов и излу-

чения Солнца. Постоянные области высокого давления (антициклоны) изолируют Антарктику от переносов тепла. Свою лепту вносит и отражающая способность льдов. Так, поверхность антарктических льдов отражает 90% падающего от Солнца излучения (т. е. поглощается только 10%), а для Арктики отражение составляет 70% (30% поглощается льдами и водой).

Облака составляют необходимое звено влагообмена, так как в них формируются осадки. Сами облака постоянно испаряются, поскольку окружены ненасыщенным воздухом, и, казалось бы, должны быстро исчезнуть, но восходящие потоки воздуха обеспечивают непрерывную конденсацию, поддерживающую существование облаков длительное время. Для обоих полушарий максимум облачности приходится на умеренные пояса. Наиболее облачная область Земли – Центральная Арктика. Тропические пояса характеризуются минимальной облачностью в любом сезоне.

Абсолютная и относительная влажность воздуха постоянно изменяются благодаря как крупномасштабным, так и местным движениям воздушных масс. Восходящие движения воздуха ведут к повышению абсолютной и относительной влажности, а нисходящие – к понижению. Важным локальным фактором восходящих движений воздуха является характер подстилающей поверхности.

Суша или вода, пустыня или степь, сухая или влажная почва, ровная или пересеченная поверхность, горы со склонами разной экспозиции и крутизны, теплые или холодные течения, плавучие льды или острова и т. д. являются той поверхностью, с которой встречаются солнечные лучи на Земле. В зависимости от этого солнечная энергия поглощается поверхностью или отражается и теряется в окружающем пространстве. Очень важно расположение территории и крупных горных систем, так как перенос воздуха в тропосфере с океанов на материк определяется размерами континента и наличием горных систем. Так, например, влажный атлантический ветер может достигать Уральских гор, где оставляет большую часть своих осадков, что обуславливает заметную разницу в погоде Предуралья и Зауралья.

Все более ощутимым становится воздействие человека на климат. Особенно это проявляется в больших городах, где резко изменены теплообмен, подстилающая поверхность и циркуляция атмосферы.

Заключение

Научное познание движется от незнания к более полному знанию предмета, в данном случае – к раскрытию всеобщих связей явлений природы, их взаимопереходов, принципов организации и развития. Этот процесс имеет свое начало, но пока существует человечество, он не будет иметь завершения. В общем процессе познания каждая из наук формирует представление о той или иной стороне явлений природы, но только на основе достижений всех наук складывается объективный и системный взгляд на окружающую человека действительность.

Естествознание – продукт цивилизации и условие ее развития. С помощью науки человек развивает материальное производство, совершенствует общественные отношения, воспитывает и обучает новые поколения людей, лечит свое тело. Прогресс естествознания и техники значительно изменяет образ жизни и благосостояние человека, совершенствует условия быта людей. Благодаря знанию законов природы человек может изменить и приспособить природные элементы и процессы так, чтобы они удовлетворяли его потребностям. Большая часть современной материальной цивилизации была бы невозможна без участия в ее создании научных теорий, научно-конструкторских разработок, предсказанных наукой технологий и др.

Однако у современных людей наука вызывает не только восхищение и преклонение, но и опасение. Известно, что интенсивное внедрение человека в природу создало «неожиданную» ситуацию – начала разрушаться окружающая среда. Загрязнение атмосферы, катастрофы на атомных электростанциях, «озоновая дыра» над планетой, исчезновение многих видов растений и животных, угроза перенаселения – все эти и другие экологические проблемы люди склонны объяснять самим фактом существования науки. Но дело не в науке, а в том, в чьих руках она находится, какие общественные и государственные структуры направляют ее развитие.

Наука – это социальный институт, и она теснейшим образом связана с развитием всего общества. Сложность, противоречивость современной ситуации заключается в том, что наука безусловно причастна к порождению глобальных, прежде всего экологических, проблем цивилизации (не сама по себе, а как зависимая от других структур часть общества); в то же

время без дальнейшего развития науки решение данных проблем в принципе невозможно. Это значит, что роль науки в истории человечества возрастает, поэтому умаление роли науки, естествознания в настоящее время опасно: оно обезоруживает человечество перед нарастанием глобальных проблем современности.

Мир сложен, многообразен, и в нем еще много непознанного. Многие явления природы и самого человека, его биологической, духовной составляющих пока не получили убедительного научного объяснения и потому носят загадочный, таинственный характер. Так, не исследованы в достаточной мере физические и оптические явления в атмосфере, законы макроэволюции, общественного развития, энергетика человеческого организма, возможности и пороги ощущений и восприятия, сфера эмоционального переживания личности, формы общения, коммуникации и многое другое. Но наука не может сразу решить все проблемы познания, немедленно объяснить все непонятное и загадочное. Научное познание – это историческая деятельность, которая развивается по мере совершенствования не только людей, но и средств познания.

Можно быть уверенным, что непознанное сегодня рано или поздно будет исследовано и объяснено. Основания этой уверенности – в истории естествознания, истории цивилизации, которые убедительно демонстрируют мощь и торжество человеческого мышления, научно-рационалистического отношения к миру.

Библиографический список

1. *Бабушкин А. Н.* Концепции современного естествознания. СПб.: Лань, 2002. 208 с.
2. *Вернадский В. И.* Живое вещество. М.: Наука, 1978.
3. *Горелов А. А.* Концепции современного естествознания. М.: Центр, 1999. 208 с.
4. *Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В.* Основы естествознания / Уралэкоцентр. Екатеринбург, 2000. 560 с.
5. *Данилова В. С., Кожевников Н. Н.* Основные концепции современного естествознания. М.: Аспект-Пресс, 2000. 256 с.
6. *Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания. Новосибирск: ЮКЭА, 1997. 832 с.
7. *Канке В. А.* Концепции современного естествознания. М.: Логос, 2002. 368 с.
8. *Карпенков С. Х.* Концепции современного естествознания. М.: Акад. проект, 2001. 639 с.
9. Концепции современного естествознания / *М. И. Басаков, В. О. Голубинцев, А. Г. Зарубин и др.*; Под ред. С. И. Самыгина. М.: Феникс, 2000. 576 с.
10. Концепции современного естествознания / *В. Н. Лавриненко, В. П. Ратников, Г. В. Баранов и др.*; Под ред. А. Н. Романова. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 303 с.
11. *Моисеев Н. Н.* Человек и ноосфера. М.: Наука, 1990.
12. *Мотылева Л. С., Скоробогатова В. А., Судариков А. М.* Концепции современного естествознания. СПб.: Союз, 2000. 319 с.
13. *Найдыш В. М.* Концепции современного естествознания. М.: Гардарики, 2000. 476 с.
14. *Потеев М. Н.* Концепции современного естествознания. СПб.: Питер, 1999. 352 с.
15. *Рузавин Г. И.* Концепции современного естествознания. М.: Культура и спорт: ЮНИТИ, 1997. 288 с.
16. *Хорошавина С. Г.* Концепции современного естествознания. Ростов н/Д: Феникс, 2000. 480 с.
17. *Чандаева С. А.* Физика и человек. М.: Аспект-Пресс, 1994. 336 с.
18. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1988. 336 с.

Скрябин Дмитрий Алексеевич

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Редактор Е. А. Ушакова

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 05.09.03. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов.
Печать плоская. Усл. печ. л. 5,7. Уч.-изд. л. 6,1. Тираж 400 экз. Заказ № 200.
Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.
Ризограф РГППУ. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.