

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

СИБИРСКАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ

Б. К. ПАХТУСОВ

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

**Учебное пособие
для дистанционного обучения и самостоятельной работы
по специальностям:
061000 «Государственное и муниципальное управление»;
060400 «Финансы и кредит»;
021100 «Юриспруденция»**

НОВОСИБИРСК 2004

©СибАГС, 2004

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Прежде всего, хотелось бы обратить внимание на важность и базовость дисциплины «Концепции современного естествознания» в системе подготовки студентов СибАГС всех специализаций, несмотря на то, что программы обучения в целом ориентированы на освоение Вами дисциплин социального профиля. Дело в том, что общество является сложной, нелинейной, многопараметрической системой и его изучение должно основываться не на интерпретациях, а на глубоком понимании процессов, которые возможны и реализуются в таких системах. Время упрощенных, догматических подходов в социальных науках прошло. В настоящее время во всех социальных науках используются подходы, методы и основополагающие идеи, разработанные и осознанные естествознанием. К глубокому сожалению это пока еще не всегда находит отражение в учебных программах в силу инерционности системы образования. В наиболее глубоких, специализированных на гуманитарных проблемах, современного уровня журналах (проанализируйте, например, статьи из журнала «Общественные науки и современность» или «Вопросы философии») сплошь и рядом встречаются слова и выражения: синергетика, самоорганизация, энтропия, нелинейная система, бифуркация, открытая и закрытая системы, порог устойчивости, аттрактор, странный аттрактор, детерминированный хаос и т. д. и т. п. Все эти понятия пришли из естествознания и наиболее глубокое их освоение возможно только на основе рассмотрения явлений, для описания которых они и были введены и используются. Без ознакомления с идейными основами этих понятий (а именно это и является основным в данной дисциплине) идеи, развиваемые в настоящее время во всех без исключения гуманитарных дисциплинах, просто не будут поняты Вами на необходимом уровне. То есть за редким исключением, без опоры на знание основ естествознания, не возможно понять сути большинства статей. Внедрение дисциплины «Концепции современного естествознания» в систему подготовки специалистов гуманитарного профиля собственно и явилось реакцией на радикальное изменение ситуации в гуманитарных науках. С другой стороны, естественно, прежде чем изучать сложные системы необходимо научиться этому на простых системах, когда имеется возможность получать однозначные, доказательные ответы на конкретные вопросы, что в случае с социальными системами возможно только в чрезвычайно упрощенных ситуациях и то со множеством оговорок и допущений. Неспособность проанализировать механическую систему, функционирующую на основе всего четырех простых, однозначных законов Ньютона, естественно, является доказательством не готовности, например, будущего юриста к освоению и использованию множества, далеко не всегда однозначных, юридических законов в сложных, запутанных ситуациях, реализующихся в общественных структурах. Рационализм, то есть логически обоснованный, доказательный анализ всегда был и остается основой естествознания и он как никогда востребован в гуманитарных науках в настоящее время, а его освоение на примерах достижений естествознания стало общественной необходимостью.

Естествознание всегда было основной, определяющей частью культуры во все времена, однако в настоящее время, когда дифференциация научного знания существенно возросла и легко запутаться в потоке псевдонаучных интерпретаций, роль междисциплинарного курса «Концепции современного естествознания» невозможно переоценить, поскольку основной его задачей является формирование мировоззрения, адекватного современному научному миропониманию. Только понимание современных идей по реализации процессов самоорганизации в природе позволяет аргументировано противостоять идейному напору представителей многочисленных религиозных сект разного толка, обосновывающих свои утверждения на уровне средневековых схоластов, но имеющих к сожалению своих все увеличивающихся по численности последователей. При имеющемся уровне преподавания естествознания в средней школе мы рискуем вернуться в средневековье. При незнании основ естествознания мы также становимся и легкой добычей недобросовестных известных политиков, которые сознательно подменяют одни понятия другими в расчете на нашу элементарную необразованность (когда, например, закон о ввозе на переработку отработанного ядерного топлива,

называют законом на разрешение ввоза радиоактивных отходов, запрет на ввоз которых законодательно закреплен более полувека назад и его никто не отменял).

Коротко говоря дисциплина «Концепции современного естествознания» требует к себе серьезного отношения и ее освоение является одной из основных задач для будущих специалистов социального профиля.

Одной из главных трудностей освоения этой дисциплины является ее междисциплинарность, а так как в кратком учебно-методическом комплексе не возможно отразить всей палитры необходимых фактов и связей, то заведомо необходимо использовать дополнительные литературные источники для углубленного освоения каждого из разделов курса. Приведенные в УМП библиографические данные приведены только в качестве ориентира, поскольку они не всегда и всем доступны, но даже в районных библиотеках всегда можно найти литературу практически по всем вопросам естествознания.

Как правило, в УМП отсутствуют прямые ответы на вопросы заданий, тем не менее, опосредовано, имеющихся там материалов вполне достаточно для обоснования ответов. Если в заданиях встречаются вопросы, нерассмотренные в УМП, то они, как правило, на уровне материалов учебников средней школы, которые следует повторить, приступая к изучению курса. При выполнении письменных заданий следует давать максимально краткие ответы, в виде достаточном для демонстрации понимания Вами сути дела. Во всех заданиях часть вопросов формулируется так, чтобы дать Вам возможность продемонстрировать и свои способности к анализу, и свой кругозор. Например, при ответе на вопрос: на сколько поднимется уровень мирового океана, если растают все льды Северного ледовитого океана? Вы ответите, что, так как лед плавает уже в воде, то в соответствии с законом Архимеда, он вытесняет ровно столько воды, сколько он весит, поэтому уровень мирового океана не поднимется, то это, в первом приближении, будет правильным ответом. Однако если Вы проведете оценку, на сколько все-таки изменится уровень мирового океана, принимая во внимание, что лед пресный, а вода соленая, то это уже будет демонстрацией Вашего более глубокого продумывания вопроса. Проведя, хотя бы качественные, обоснования как же все-таки изменится уровень океана вдоль меридиана, учитывая вращения Земли, Вы продемонстрируете третий уровень Вашего проникновения в суть проблемы, свой кругозор и способности к анализу. То есть даже на таких простых вопросах Вы можете получить максимальное количество баллов. Не бойтесь ответить неправильно, так как засчитывается и ход рассуждений. Все задания, естественно, следует пытаться выполнить самостоятельно. Однако не возбраняется, при возникновении затруднений, проконсультироваться у более сведущих студентов в группе или на стороне. Однако не забывайте, что однажды самостоятельно найденное решение дает больше, чем десять понятых, но несамостоятельно выполненных заданий. Если же основная идея решения все-таки не Ваша, то, по крайней мере, опишите последовательность нахождения решения самостоятельно, так как в этом случае Вы осознано усвоите идею. Для проверки правильности решения всегда проверяйте решение на предельные значения входящих в ответ величин. Не возбраняется и усложнить задачу. Например, заменить в задаче с ковром-самолетом, (Рассчитайте подъемную силу ковра-самолета площадью S , который обладает следующими свойствами — молекулы воздуха, падающие на него сверху, прилипают к поверхности и скатываются с нее, а ударяющие снизу испытывают упругий удар.) поверхность, к которой прилипают сверху молекулы воздуха, на охлаждаемую поверхность, а снизу на нагреваемую. То есть решить задачу (кстати, более трудную): на сколько уменьшится вес холодильника, если его положить тыльной стороной вниз и открыть дверцу морозильной камеры? То есть не бойтесь расширить рамки ответов, так как Ваша главная цель продемонстрировать умение размышлять, а не показ умения решать задачи из разных разделов естествознания. Эти навыки являются главными в любой профессии, что хорошо видно на примере, руководителей предприятий, которые, как правило, оканчивали естественнонаучные и технические вузы, а не институты народного хозяйства. То есть оказывается, что научиться размышлять и анализировать труднее, чем освоить принципы управления. Социальный фильтр беспристрастно отсеивает не обладающих этими свойствами

ми. Поэтому — то в престижных западных университетах на факультеты высшего руководящего звена приоритет при поступлении имеют те, кто имеет степень бакалавра по естественнонаучным дисциплинам. То, что пока в России это не так заведомо временное явление. Так что учиться размышлять, анализировать, находить самостоятельно решения Вас все равно рано или поздно заставит конкуренция на рынке труда. Поэтому лучше это сделать вовремя.

Что касается рассматриваемых в курсе материалов, то их краткое содержание и основные вопросы, на которые следует обратить внимание, приведены в соответствующих разделах каждой темы.

Начинать изучение дисциплины следует с ознакомления со схемокурсом, размещенным на CD – диске, на котором представлена системно-предметная схема естествознания. Логико-функциональная проекция естествознания отражена в текстовой части курса и ее следует изучать, последовательно переходя от темы к теме, обращаясь к дополнительным материалам в соответствии с пиктограммами, к материалам хрестоматии и электронной библиотеки. После изучения каждого вопроса, прежде чем перейти к следующему, необходимо проверить уровень усвоения материала, ответив на контрольные вопросы. После изучения всей темы также нужно ответить на контрольные вопросы к теме. Необходимо обратить внимание, что контрольные вопросы к теме могут быть основаны не только на тексте учебника, но и на материалах хрестоматии и электронной библиотеки. В случае возникновения вопросов пользуйтесь системой электронного консультирования. Завершающей проверкой является тестирование, выполнять которое следует после прохождения всего курса. Вопросы тестов формируются на основе программы курса, поэтому некоторые из них могут не получить отражения в электронном учебнике. В этом случае следует провести поиск в материалах электронной библиотеки и сети Интернет.



— ссылка на схемокурс и хрестоматию.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Выписка из образовательного стандарта по учебной дисциплине «Концепции современного естествознания»

Естественнонаучная и гуманитарная культуры; научный метод; история естествознания; панорама современного естествознания; тенденция развития; корпускулярная и континуальная концепции описания природы; порядок и беспорядок в природе; хаос; структурные уровни организации материи: микро-, макро и мегамиры; пространство, время; принципы относительности; принципы симметрии; законы сохранения; взаимодействие; близкодействие; дальноедействие; состояние; принципы суперпозиции, неопределенности, дополнительности; динамические и статистические закономерности в природе; законы сохранения энергии в макроскопических процессах; принцип возрастания энтропии; химические системы, энергетика химических процессов, реакционная способность веществ; особенности биологического уровня организации материи; принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем; многообразие живых организмов - основа организации и устойчивости биосферы; генетика и эволюция; человек: физиология, здоровье, эмоции, творчество, работоспособность; биоэтика; экология и здоровье, биосфера и космические циклы; ноосфера; необратимость времени; самоорганизация в живой и неживой природе; принципы универсального эволюционизма; путь к единой культуре.

В области концепций современного естествознания слушатель должен иметь представление:

- об основных этапах развития естествознания, особенностях современного естествознания, ньютоновской и эволюционных парадигмах;
- о концепциях пространства и времени;
- о принципах симметрии и законах сохранения;
- о понятии состояния в естествознании;
- о корпускулярной и континуальной традициях в описании природы;
- о динамических и статистических закономерностях в естествознании;
- о соотношении порядка и беспорядка в природе, упорядоченности строения физических объектов, переходах из упорядоченного в неупорядоченные состояния и, наоборот;
- о самоорганизации в живой и неживой природе;
- об иерархии структурных элементов материи от микро- до макро и мегамира;
- о взаимоотношениях между физическими, химическими и биологическими процессами;
- о специфике живого, принципах эволюции, воспроизводства и развития живых систем их целостности и гомеостазе, об иерархичности, уровнях организации и функциональной асимметрии живых систем;
- о биологическом многообразии, его роли в сохранении устойчивости биосферы и принципах систематики;
- о физиологических основах психики, социального поведения, экологии и здоровья человека;
- о взаимодействии организма и среды, сообществах организмов, экосистемах, принципах охраны природы и рационального природопользования;
- о месте человека в эволюции Земли, о ноосфере, о парадигме единой культуры.

2. Цели и задачи учебной дисциплины «Концепции современного естествознания»

Дисциплина «Концепции современного естествознания» относится к циклу математических и общих естественнонаучных дисциплин государственного стандарта профессионального высшего образования.

Основными задачами курса являются:

- Дать развернутое представление об истории развития и современном состоянии наук о природе и взаимодействии цивилизации с окружающей средой.
- Сформировать целостный взгляд на окружающий мир, выделяя концептуальную и эволюционную стороны современного естествознания.
- Научить слушателей самостоятельно мыслить, анализировать и правильно интерпретировать научно-технические открытия и проблемы при выполнении ими в будущем своих профессиональных обязанностей.
- Сформировать у слушателей определенные навыки по использованию достижений современного естествознания и развитых методов решения сложных комплексных проблем.
- Ознакомить с современными экологическими проблемами и принципами рационального природопользования.

В соответствии с назначением дисциплины основными целями курса являются:

- Дать развернутое представление об истории развития и современном состоянии наук о природе и взаимодействии цивилизации с окружающей средой.
- Ознакомить с современными научными проблемами и методами их решения.

Исходя из цели, в процессе изучения дисциплины, решаются следующие задачи:

- Научить слушателей самостоятельно мыслить, анализировать и правильно интерпретировать научно-технические открытия и проблемы при выполнении ими в будущем своих профессиональных обязанностей.
- Сформировать у слушателей определенные навыки по использованию достижений современного естествознания и развитых методов решения сложных комплексных проблем.

1.3. Требования к уровню освоения дисциплины

По окончании изучения дисциплины слушатель должен:

— **иметь представления:** круге проблем естествознания, о существующих подходах к рассмотрению его проблем; о состоянии современных научных достижений, рассматриваемых в учебной дисциплине; об основных сферах применения полученных человечеством знаний;

— **знать** место данной дисциплины среди других дисциплин и связи между ними; основные понятия, фактологический материал.

— **уметь** правильно интерпретировать научно-технические достижения; использовать методы естествознания в своей профессиональной деятельности.

ВВЕДЕНИЕ

[Концепции современного естествознания. Введение]

Система наук условно делится на естественные, гуманитарные и технические.

Естествознание — это совокупность наук о природе, в отличие от гуманитарных наук — наук об обществе — и технических наук, направленных на создание совокупности средств для удовлетворения производственных и непроизводственных потребностей общества.

Естествознание — это сфера человеческой деятельности, его функции — выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности. Оно включает в себя как деятельность по получению нового знания, так и ее результат — сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

Непосредственные цели естествознания — описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет его изучения. Так как каждая из наук, входящих в естествознание, является одной из форм общественного сознания, то и естествознание в целом является таковым.

Основными науками, входящими в естествознание, являются физика, астрономия, химия, биология, математика, геология и др. и ответвления от них: астрофизика, космология, генетика, геофизика и т. п.

Разделение естествознания на отдельные науки довольно условно и со временем меняется. Ранее естествознание называлось натуральной философией. Со временем, в связи с дифференциацией знаний и выходом философии на уровень внутренней самодостаточности (т. е. определения философией своей главной задачи — анализа отношений человека к миру и мира к человеку и выработки собственных методов его проведения), это название отмерло. С другой стороны, после возникновения квантовой механики стало ясно, что химия является разделом физики, так как процессы при химических превращениях полностью определяются квантово-механическими законами, описывающими все взаимодействия атомов и молекул. То же самое можно сказать, например, и об астрономии, так как и там не открыто каких-то других законов, не имеющих в физике. Тем не менее, каждая из наук имеет свой предмет и методы, присущие только ей. Наряду с дифференциацией наук по мере их развития, области их взаимного перекрытия существенно расширяются, а методы проведения исследований унифицируются.

Слово «концепция» происходит от латинского *conceptio* (восприятие) и означает:

- систему взглядов на те или иные явления;
- общий замысел (поэта, художника, ученого).

[Естествознание как система. Функции естествознания]

Широко распространен взгляд, что под концепциями современного естествознания следует понимать широкую панораму современных знаний о природе, включающую в себя наиболее важные факты, гипотезы и теории. При таком понимании концепции современного естествознания выступают в виде концентрированного энциклопедического обзора достижений естествознания. Учебные пособия в этом случае представляют собой «портрет» естествознания в виде обзора современных его достижений в исследовании мира и объяснении явлений и законов.

В другой, менее широко используемой интерпретации, под концепциями современного естествознания понимается системное представление наших знаний, базовыми элементами которого являются открытые совокупностью отдельных наук общие принципы, которым подчиняется окружающая нас действительность. При такой интерпретации функции концепций современного естествознания заключаются в представлении выявленных структурных и функциональных связей составляющих этой системы, обусловленных едиными свойствами

природы, изучение которых искусственно поделено между различными разделами естествознания.

Антагонистического противоречия в этих подходах нет, так как в конечном итоге естествознание включает в себя как деятельность по получению новых знаний и их системному обобщению, так и сами результаты как итог этой деятельности. Оба подхода выполняют свое функциональное предназначение по обеспечению синтеза знаний и преодолению барьеров узкой специализации. Однако в методическом плане они существенно различаются, так как по мере повышения общности описания существенно усложняется необходимый для этого аппарат представления наших знаний, что доступно для студентов старших курсов естественно-научного профиля, прослушавших базовые курсы по физике и математике, но затруднено для слушателей гуманитарного профиля, имеющих школьную базовую подготовку по естественно-научным дисциплинам. Поэтому, несмотря на то, что вышедшие по концепциям современного естествознания учебники озаглавлены практически одинаково, предназначены они (или, точнее, их разные разделы) для слушателей разной степени подготовленности.

Указанные учебники можно и нужно использовать, как и литературу по истории естествознания, так как современное естествознание настолько обширно, что, естественно, не может быть хотя бы частично отражено в кратком курсе. Пособие выполняет в данном случае только функции путеводителя по сложному лабиринту взаимопересекающихся идей, концепций, теорий и гипотез прошлого и настоящего с относительно подробным рассмотрением только отдельных вопросов, являющихся ключевыми для тех или иных разделов естествознания.

Таким образом, курс «Концепции современного естествознания» направлен на ознакомление с существующей картиной мира и системой современных взглядов на закономерности, действующие в окружающем нас мире.

В течение продолжительного времени гуманитарные и естественные науки развивались независимо друг от друга. Сложилось как бы две независимые культуры. С гуманитарной точки зрения данная проблема в философской и культурологической литературе рассмотрена достаточно основательно (см., например, *Сноу Ч. П. Две культуры.*— М.: Прогресс, 1973). Рассмотрению проблемы с естественно-научной точки зрения посвящено меньше литературы. Тем не менее, в книге Н. Н. Моисеева «Прощание с простотой» этот вопрос рассмотрен достаточно подробно. Если кратко резюмировать основные выводы Н. Н. Моисеева, то они сводятся к следующему.

Человечество стоит сейчас на пороге катастрофы, для предотвращения которой требуется перестройка всех оснований планетарного бытия. Скорее всего, мы находимся в преддверии смены характера самой эволюции биологического вида *homo sapiens* или даже на пороге нового антропогенеза.

Современным естествознанием установлены пределы, оставаясь в рамках которых, человечество может стабильно развиваться.

Однако возникли принципиальные вопросы: сможет ли человечество принять и следовать этим ограничениям? Ответы на них должны дать гуманитарные науки, но, к сожалению, в необходимом контексте эти вопросы там не рассматриваются.

В переломный период истории нашей страны и цивилизации в целом природные ограничения вторгаются в саму жизнь, и освоение современного миропонимания стало общественной необходимостью.

Каковы бы ни были проблемы, изучаемые гуманитарными науками, в том числе политика, общественное устройство, экономические взаимоотношения, государственное устройство, желания и стремления сильных мира сего и т. д., если человечество не найдет ключа к взаимопониманию с природой, то оно обречено.

Пока человечество не стояло перед лицом глобального катаклизма, эти вопросы не были определяющими. Сейчас же для того чтобы их решать, необходимо понимать существо проблемы не на описательном уровне, а в деталях. Вот почему данный предмет является базисным в системе подготовки студентов гуманитарного профиля в целом, а для слушателей СибАГС в

особенности. Понимание руководящими кадрами (а таковых и готовит СибАГС) существа проблемы является основой в поиске решения проблемы общенациональных действий по выходу России из тяжелейшего кризиса с учетом надвигающегося планетарного.

 **[Хрестоматия: Розенберг Н., Бидзел Л. Е. (мл.) Наука, техника и западное чудо]**

Так как законы физики лежат в фундаменте всего естествознания, то их рассмотрению в основном и посвящено данное пособие.

ТЕМА 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК СИСТЕМА

Краткое содержание темы

Вводится понятие фазового пространства естествознания, которое позволяет объединить в единую систему множество наук, основными отличиями которых друг от друга являются размеры и скорость изучаемых ими объектов и процессов. Рассматривается также проблема познаваемости всей совокупности законов, которым подчиняется природа.

Методические рекомендации по изучению темы

Изучая данную тему необходимо четко уяснить, что множество существующих наук имеют общую концептуальную основу, которая собственно и определяет методы и способы исследования объектов, изучаемых в каждой конкретной науке. Например, биология из описательной науки превратилась в точную, после того как включила в свой арсенал, для описания молекулярных процессов, методы квантовой механики. То есть конкретные науки это, по сути, реализация выявленных в естествознании в целом концептуальных основ при изучении определенных классов объектов, исторически отнесенных к одному из разделов естествознания (конкретной науке). Поэтому, по мере изучения последующих разделов курса, к этой теме следует возвращаться, чтобы приведенная схема естествознания стала для Вас «картой естествознания», позволяющей ориентироваться при ознакомлении с существующей в настоящее время естественнонаучной картиной мира.

План темы

1.1. Фазовая плоскость естествознания в координатах R , V , T .

1.2. Проблема познаваемости окружающего мира.

1.1. Фазовая плоскость естествознания в координатах R , V , T

Сфера естествознания распространяется на все явления и объекты окружающего нас мира, включая и человека, который является элементом этого мира, хотя и своеобразным. При этом границы этой сферы простираются в настоящее время от 10^{-15} мм до миллиардов световых лет, от 10^{-24} с до сотен миллиардов лет, от нулевых скоростей до предельной скорости света. То есть в сферу естествознания включаются элементы микро- и макромира, живая и неживая материя и все законы описания детерминированных и случайных процессов. Для изучения всего этого разнообразия возникло большое число научных дисциплин, количество которых к настоящему времени доходит до нескольких сотен. Науку интересует в первую очередь то общее, что объединяет эти, на первый взгляд, разнородные объекты и явления. Собственно, это и является главной задачей научного познания, так как наука — это организованное знание. Исторически сложилось так, что вопросы изучения основ мироздания являются прерогативой физики.

Слово «физика» происходит от греческого слова «фюзис» (природа — в смысле существа вещей и явлений). В Древней Греции в VII–V вв. до н. э. физика понималась вначале как всеобщее учение о сущности всего видимого мира, поэтому, естественно, сначала необходимо рассмотреть общие закономерности, открытые физикой при исследовании совокупностей объектов и явлений в исторической ретроспективе.

Для этого нужна наглядная система представлений различных областей проявления накопленных знаний. Основные разделы физики можно представить в координатах R (размер) и V (скорость). Вместо V следовало бы использовать P (импульс), чтобы включить в рассмотрение массу и (тем самым) энергию, но для первого приближения нам будет достаточна и такая грубая схема. Следовало бы также использовать логарифмические координаты, которые более удобны для представления разномасштабных областей. Однако для нас главным на данном этапе является выявление сути классификации разделов физики, исторически сложившихся по мере расширения абсолютных значений этих параметров, используемых при изучении всевозможных явлений.

🌀 [Эволюция основных физических представлений. Основные разделы естествознания о природных объектах и явлениях]

Как показано на рис. 1, всю область возможных явлений и объектов в этих координатах можно разбить на пять областей.

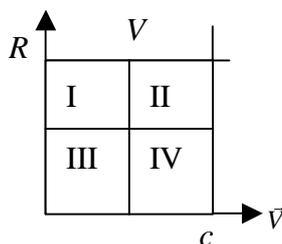


Рис. 1. Фазовая плоскость естествознания в координатах R, V

К области I относятся объекты, соизмеримые с размером человека, и явления, протекающие со скоростью, существенно меньшей скорости света. Эта область так называемой классической физики, где применимы с большой точностью законы Ньютона и аналитический аппарат для расчета всех процессов, используемых в технике.

Область II — это область релятивистской механики, т. е. область больших скоростей, соизмеримых со скоростью света, где основной теорией является специальная теория относительности, окончательно сформулированная А. Эйнштейном в 1905 г.

Область III — это область квантовой механики, т. е. механики объектов, соизмеримых с размерами молекул, атомов и ядер. Основным уравнением, описывающим взаимодействие объектов в этой области, является уравнение Шредингера.

Область описания элементарных частиц, или область физики высоких энергий, — это область IV, где основными теориями в настоящее время являются: квантовая электродинамика и хромодинамика.

Для области V А. Эйнштейном предложен аппарат общей теории относительности, разработке и обоснованию которого он посвятил большую часть своей жизни. Однако окончательного варианта общей теории относительности пока не создано. В основном это область интересов астрофизики и космофизики, где достаточно отчетливо видно, что без достижений в других областях физики достигнуть современного понимания устройства нашей Вселенной было бы невозможно. Аналогично и многое из достигнутого в этой области помогло понять и осознать в других областях.

Почему именно в этих координатах определяются основные области физики наиболее полно? Дело в том, что при переходе из одной области в другую, при изменении абсолютных значений одного или сразу двух параметров, во-первых, исторически существенно изменялись наши представления об окружающем мире и, во-вторых, изменялся вид законов, которые считались до того независимыми от абсолютных значений этих параметров.

Переход к большим скоростям потребовал существенного пересмотра понятий пространства и времени. Переход к малым размерам привел к необходимости разработки нового аппарата описания взаимодействия частиц, который принципиально отличается от законов Ньютона. Понятие частицы также потребовало существенного пересмотра, так как были обнаружены их волновые свойства. Исследования в области высоких энергий привели к открытию двух новых взаимодействий. В дополнение к ранее известным гравитационным и электромагнитным силам добавились ядерные силы, проявляющиеся при взаимодействии тяжелых частиц, и слабые, проявляющиеся при рождении элементарных частиц. Существенно изменились и представления об элементарности частиц и вакууме.

Практически вся история физики сводится к открытиям и объяснениям явлений, проявившихся при переходе из одной области параметров R, V в другую, и осознанию того, что существовавшие до того представления об окружающем мире не точны и должны быть

скорректированы или существенно изменены, а также к поиску конкретной реализации осуществления этих переходов.

Рассмотренное нами представление основных разделов физики соответствует первой половине XX в. Дело в том, что в динамическое описание и классических, и квантовых явлений время входит ограниченным образом — уравнения механики и уравнения Максвелла, описывающие электромагнитные явления, инвариантны относительно обращения времени (не изменяются при замене t на $-t$). То есть будущее и прошлое играют одинаковую роль. С другой стороны, в обыденной жизни мы постоянно наблюдаем необратимые явления (диффузия, химические реакции, теплопроводность, эволюция биосферы, социальная жизнь и т. п.), где направление времени существенно. На протяжении долгого времени такие явления исключались из рассмотрения, так как не было понятно, как обратимость в каждом отдельном акте приводит, тем не менее, к необратимости в целом для всего процесса. Считалось, что все процессы с ориентированным временем обусловлены неадекватным выбором начальных условий.

Идеи эволюции, окончательно утвердившиеся в XIX в., понимались в разных разделах естествознания по-разному. В физику понятие эволюции вошло посредством второго начала термодинамики, согласно которому система стремится к увеличению молекулярного хаоса. В биологии и социологии под эволюцией понималось прямо противоположное: переход на более высокие уровни сложности. Медленно, но верно была сформулирована проблема — возможно ли каким-то образом установить связь между столь различными пониманиями времени: временем как параметром, используемым для описания движения в механике, временем, описывающим необратимые явления в термодинамике и химии, и временем как историей в биологии и социальных науках? Исследования последней четверти XX в. привели, с одной стороны, к кардинальным изменениям наших взглядов на необратимые явления и, с другой — позволили приступить и даже частично решить вопрос об объединении физических и биологических наук.

Проблема объяснения возникновения жизни, исходя из физических представлений являющаяся водоразделом между материалистическими и идеалистическими мировоззрениями, уже не кажется неразрешимой. Выяснилось, что необратимые явления столь же реальны, как и обратимые, и не требуют дополнительных ограничений, кроме тех, которым подчиняются обратимые явления. Оказалось, что необратимые явления лежат в основе когерентных процессов, наиболее часто проявляющихся на биологическом уровне. В связи с этим к нашей области параметров (R , V) необходимо добавить еще одну координату — T (внутреннее время системы), и наши области становятся объемными. К сожалению, новые результаты с использованием этого параметра пока получены только для области I и частично для области II и изучаются во вновь возникших направлениях — теориях нелинейных и диссипативных систем. Основы этих теорий изложены в работах лауреата Нобелевской премии И. Пригожина. Как и всякие вновь возникающие направления, они излагаются в настоящее время в литературе с привлечением достаточно сложного математического аппарата, и мы коснемся этих проблем только на феноменологическом уровне. Какой бы объект или явление мы ни рассматривали, они попадут в одну из описанных областей. При этом в каждой из областей действуют законы, открытые во всех областях, однако количественный их вклад различный. Так, релятивистские эффекты, являющиеся основными в областях II и IV, так же, как и волновые из области III, для области I ничтожно малы. Поэтому, несмотря на то, что в любой из областей применимы законы, записанные в общем виде, в каждой из областей используется их асимптотическое приближение, так как не имеет смысла их записывать в сложном виде там, где эффекты малы. Использование их в таком виде только усложнило бы задачу. В обыденной жизни мы же не измеряем расстояние между городами в миллиметрах. Так и в физике есть разумные границы использования законов, представляемых в виде, адекватном для их использования в соответствующих областях. Главное, что законы имеют предельные переходы друг в друга при изменении определяющих параметров и границы их применимости определены.

Установление наличия новых закономерностей при изменении абсолютных значений параметров R , V каждый раз ломало установившуюся к тому времени систему взглядов и

приводило к необходимости ее пересмотра и формированию новой концептуальной системы. Поэтому выработанные и сформулированные концепции являются как бы каркасом, на который нанизывается все остальное. Концептуальный каркас науки можно сравнить со стволом и ветками дерева, на которых располагаются листья — известные факты, питающие дерево в целом. Необходимы и листья, и ветки, и ствол, так как без их симбиоза дерево развиваться не может. Но так же, как разные ветви имеют различную величину, так и различные **концепции** имеют разную степень общности. Наибольшую общность имеют концепции, определяющие всю структуру знания (ствол науки). Они проявляются во всех разделах естествознания вне зависимости от вида объектов и процессов, изучаемых каждой конкретной наукой. К ним относятся в первую очередь законы сохранения. При этом, открыв их вездесущность, наука не всегда может пока ответить на вопрос: почему они должны выполняться? Это как бы корни, пока скрытые от наших глаз. Физика не может ответить на вопросы: почему должен выполняться закон сохранения энергии? Почему тело, предоставленное самому себе, будет продолжать покоиться или равномерно двигаться, пока на него не подействует какая-либо сила? Почему наш мир подчиняется законам симметрии и т. д.? Законы сохранения являются экспериментальными данными. Однако со временем было понято, что некоторые законы являются следствием более общих законов. Так, было установлено, что законы сохранения энергии, импульса и момента импульса являются следствиями однородности и изотропности нашего пространства, подчиняющегося законам симметрии. Неоднократно предпринимались попытки построить естествознание, и в частности физику, на аксиоматической основе (подобно евклидовой геометрии), пока не было осознано, что, в отличие от геометрии, собственно целью всей науки и является нахождение и формулирование исходных постулатов, на основе которых и может быть построена вся система естествознания в обратном порядке. Тем не менее, в науке используется принцип, который хорошо обозначил В. И. Вернадский, употребив термин «эмпирическое обобщение». Его смысл состоит в том, что в качестве отправных позиций для анализа, происходящего в косной материи, живом веществе или обществе, должны лежать утверждения, не противоречащие эмпирическим данным, т. е. нашему опыту. На основе эмпирических обобщений строится соответствующая интерпретация окружающей действительности. Естественно, она неоднозначна (одному и тому же множеству эмпирических данных могут отвечать разные эмпирические обобщения), однако это позволяет построить систему наших знаний, которая, тем не менее, может оказаться лишь подсистемой при открытии новых пластов в знаниях о мире.

Выводы по разделу 1.1

Система естествознания, несмотря на множество существующих наук, базируется на конечном количестве основных понятий, являющихся его концептуальной основой.

Вопросы к разделу 1.1

1. Почему фазовую плоскость естествознания можно изобразить всего в двух координатах R и V ?
2. В чем состоит различие в трактовке проблемы эволюции в термодинамике и биологии.

1.2. Проблема познаваемости окружающего мира

Возникает философский вопрос о познаваемости всей совокупности законов: возможно ли установление всех общих принципов, на основе которых она может быть построена и на основе которых возможно обоснование и получение всех остальных частных закономерностей, получаемых различными науками? Однозначный ответ на данный вопрос в настоящее время отсутствует. Однако и утверждение о постоянном увеличении линии соприкосновения с областью неизвестного, по мере расширения области известного (этим самым косвенно утверждается мысль о непознаваемости нашего мира), не может быть безальтернативно принято, но в результате многократного повторения оно считается азбучной истиной.

Действительно, весь исторический опыт развития естествознания показывает, что горизонты науки всегда только расширялись. Тем не менее, делать прогнозы, опираясь только на исторический опыт,— все равно, что управлять автомобилем, смотря в зеркало заднего вида. Высказывания ученых прошлого скорее впечатляют, чем доказывают. Если же предположить, что область нашего знания находится на сфере, а не на плоскости (что, кстати, не менее вероятно), то в этом случае линия соприкосновения с неизвестным сначала будет расширяться, а после пересечения экватора начнет сужаться. В настоящее время делаются попытки создать единую теорию поля (и небезуспешно), т. е. пытаются объединить описание известных четырех сил: гравитационной, электромагнитной, сильного и слабого взаимодействий.

[Эволюция основных физических представлений. Основные разделы естествознания о природных объектах и явлениях. Квантовая электродинамика]

Весь вопрос в том: существуют ли другие взаимодействия и конечно ли их количество? Если этих сил бесконечное множество (что маловероятно, так как открытые силы перекрывают слишком большой диапазон), то мир непознаваем. Если же их конечное множество, то настанет день, когда на долю науки останутся только приложения. Но так же, как в шахматах, где количество правил конечно, а количество возможных партий практически бесконечно, так, возможно, и в науке — природа познаваема, но неисчерпаема. В науке решающей силой является знание, а не вера, и непогрешим только авторитет самой природы, постигаемой опытом. Только дальнейший опыт даст нам ответ на вопрос о познаваемости или непознаваемости всей совокупности основных, принципиальных законов природы.

Выводы по разделу 1.2

Естествознание является системой совокупности наук о природе, и только дальнейший опыт позволит получить ответ на вопрос о познаваемости или непознаваемости всей совокупности основных ее элементов.

Вопросы к разделу 1.2

3. Исходя из исторического опыта развития естествознания, можно ли однозначно принять утверждение, что вся совокупность законов, которым подчиняется природа, непознаваема?
4. Являются ли эквивалентными понятия — «непознаваемость» и «неисчерпаемость» природы?

Выводы по теме

Несмотря на множество существующих в настоящее время наук, количество которых доходит до нескольких сотен, количество концепций, на которых они базируются, не велико. Законы, формулируемые в конкретных науках, это частные следствия, получаемые на основе базовых концепций всего естествознания.

Вопросы к теме

1. Какие объекты и процессы изучаются в естествознании, каковы абсолютные значения их параметров?
2. В каких координатах можно представить основные разделы физики наиболее полно и почему?
3. Какие основные разделы физики, представленные в координатах — скорость, размер,— Вы знаете?
4. Какие новые силы были открыты при изучении элементарных частиц?

Литература основная

1. *Суханов А. Д., Голубева О.Н.* Концепции современного естествознания. / Учебник для вузов / Под редакцией А. Ф. Хохлова. — М.: Агар, 2000. С. 27–140.

Литература дополнительна

1. *Девис П.* Суперсила. Поиск единой теории природы / П. Девис — М.: Мир, 1989.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Среди запахов и звуков. — [Электронный ресурс] / авт. М.С. Плужников, С.В. Рязанцев. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/pl/zz.htm> — Загл. с экрана.

ТЕМА 2. МЕТОДЫ ПОЗНАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

Краткое содержание темы

Рассматривается система существующих в природе связей, методы их познания и возникающие при этом трудности и проблемы. Дается разграничение понятий: миропонимание, мировоззрение и картина Мира. Показывается роль и значебные математики в естествознании.

Методические рекомендации по изучению темы

Анализ существующих методов познания окружающей действительности и их эволюции во времени является важной составной частью освоения основ естествознания, так как именно он позволяет наиболее глубоко проникнуть в суть ряда абстрактных и трудно усваиваемых принципов, открытых в естествознании, особенно принципов современной физики. Этой проблеме посвящено множество работ. В философии эта проблема является одной из основных. Ввиду ее многогранности, естественно, существуют разные мнения и даются различные интерпретации одних и тех же фактов. Поэтому рекомендуется ознакомиться и с другими подходами, имеющимися в литературе.

План темы

- 2.1. Рассмотрение связей и последовательности появления обобщений.
- 2.2. Миропонимание, мировоззрение, картина мира.
- 2.3. Математика и естествознание.

2.1. Рассмотрение связей и последовательности появления обобщений

В окружающем нас мире постоянно происходят всевозможные явления. На первый взгляд многие из них никак не связаны друг с другом и между ними нет ничего общего. Самым удивительным является то, что, несмотря на поразительную сложность мира, естествознание обнаруживает в его явлениях определенные закономерности. Оказалось, например, что процессы, идущие внутри далеких звезд, и процессы, идущие вблизи нас и даже внутри нас, подчиняются одним и тем же закономерностям (законы сохранения вещества, энергии и т. п.). Нахождением этих закономерностей, определением их причинно-следственных связей и занимаются представители различных наук.

В разных науках изучаются как многообразные явления природы, так и ее многочисленные объекты всевозможной степени сложности, включая и человека, пытающегося не только открыть эти закономерности, но понять принципы собственного процесса познания окружающего мира.

Условно деятельность исследователей в любой из наук можно отнести к одному из трех видов. Во-первых, это накопление фактов, поиск частных закономерностей и установление их связи с общими законами, открытыми ранее в естествознании. Изучение конкретных объектов, относящихся к конкретному разделу знаний, на основе частных и общих законов является вторым и наиболее часто встречающимся видом научной деятельности. Установление закономерностей, присущих открытым частным и общим законам природы, является третьим завершающим этапом и целью деятельности научного сообщества. На разных этапах научных исследований один из этих видов деятельности в работе ученого преобладает, но в том или другом соотношении они всегда присутствуют одновременно. Это позволяет, с одной стороны, накапливать необходимые факты, а с другой — предварительно их селектировать на основе общих концепций и воззрений.

В настоящее время, ввиду резкого усложнения экспериментальной аппаратуры, оборудования и математического аппарата представления знаний, произошла специализация по видам деятельности. Научное сообщество с течением времени поделилось на экспериментаторов и теоретиков. Теоретики, как правило, занимаются выдвижением гипотез и теорий и

обобщением полученных в эксперименте данных, а экспериментаторы — проверкой выдвинутых теорий и накоплением эмпирического материала. Для получения результата теории и экспериментаторы должны работать и, как правило, работают в тесном контакте. Ученые даже очень конкретной области знаний всегда опираются на достижения всего естествознания. Взаимная «паутина» методик, гипотез, теорий и следствий распространяется ими на все знание, тем самым подтягивая его отстающие разделы и задавая начальные импульсы для рождения гипотез в других. Вот почему всегда наиболее существенные результаты получают на стыке наук. В этом же проявляется и условность деления естествознания на отдельные науки. Природа действует по своим законам и не знает о нашем разделении всей их совокупности на десятки и сотни разделов и подразделов, которые мы называем отдельными науками. Однако сами ученые специализируются не по наукам, а по проблемам. Разрозненные области знаний со временем сливаются, и на базе частных закономерностей формируются общие законы, которыми и пользуются для описания всей совокупности наблюдаемых явлений.

Наличие большого количества различных наук на настоящем этапе обусловлено изучением различными сообществами ученых большого количества конкретных природных объектов. В каждой из наук имеются как кардинальные проблемы, без решения которых сдерживается продвижение вперед, так и проблемы использования уже полученных результатов в непосредственной деятельности людей. Поэтому исследования в каждой из наук делятся на фундаментальные и прикладные. На определенном этапе развития естествознания некоторые из наук берут на себя роль построения фундамента миропонимания. Физика, исторически взявшая на себя изучение фундаментальных основ построения нашего мира, относилась и относится к фундаментальным наукам. В настоящее время аналогичную роль начинает выполнять биология. В физике, тем не менее, ведется множество прикладных исследований, непосредственно направленных на решение конкретных задач производства и других наук, в которых используются не только ее результаты, но и методы, и разработанная для собственных исследований аппаратура. В литературных источниках приводятся различные описания процесса творческой деятельности ученого, которые в основном сводятся к следующему: путь к открытию лежит через наблюдение и измерение соответствующих величин, установление устойчивой регулярной связи между ними и обобщение полученных материалов, многократных наблюдений исследуемых явлений, измерение характеризующих величин, их анализ и обобщение с помощью гипотез — основ будущих теорий, которые помогают предсказывать новые результаты и тем самым прогнозировать будущее развитие событий. Все это верно, но, наверное, прав один из ведущих американских физиков П. Бриджмен, который сказал, что не существует научного метода как такового и самая существенная особенность методики научной работы состоит просто в том, что ученый должен действовать во всю силу своего ума, не гнушась ничем, за что можно ухватиться.

[Методы познания окружающего мира. Рационализм]

В истории науки открытия делались как на основе постановки вопроса из общих соображений, так и из анализа отдельных фактов, которые не укладывались в общую схему. Довольно часто выдвинутая теория порождала лавину экспериментов, так же как и многочисленные разрозненные факты приводили к выдвижению теорий.

Вся история естествознания — это, в конечном счете, история отказов от очевидного. Например, Галилей отказался от того, что тело движется только при приложении силы, ведь это же очевидно, что телега движется только тогда, когда ее тянет лошадь. Даже великий Аристотель не смог отвергнуть этой «очевидности». Однако и Галилей не смог перейти к прямолинейному движению: существовало «очевидное» вечное движение по кругу всех планет.

Декарт отказался от этой «очевидности».

Коперник отказался от «очевидного» движения Солнца вокруг Земли.

Ньютон воспринял идею Декарта и начал искать причину движения по кругу планет, придя к идее всемирного притяжения тел.

Лобачевский отказался от «очевидности» аксиомы о двух параллельных прямых.

Эйнштейн отказался от «очевидной» абсолютности пространства и времени.

А все вместе они показали, что мировосприятие и миропонимание не эквивалентны друг другу.

История современного естествознания демонстрирует то же самое. Готовность усомниться в устоявшихся воззрениях, всеми принимаемых за истину, является главным качеством ученого и главным условием развития науки. На основе изменения нашей системы взглядов и ее составляющих (концепций) постепенно формируется научное миропонимание.

Выводы по разделу 2.1

Развитие науки это не плавное накопление фактов с последующим их обобщением, а, как правило, переосмысление уже известного, с отказом от очевидности некоторых утверждений, ранее принимавшихся за аксиому.

Вопросы к разделу 2.1

1. Эквивалентны ли понятия — «мировосприятие» и «миропонимание»?
2. В чем заключается отличие фундаментальных и прикладных исследований?

2.2. Миропонимание, мировоззрение, картина мира

Миропонимание — это итог научных достижений человечества в понимании мироустройства окружающего нас мира.

Отдельные индивидуумы, сообщества (страны, расы, народности) в силу традиций, образования, верований и т. п. по-разному воспринимают окружающий мир — имеют разное мировоззрение (видят мир по-разному).

До определенной поры наши предки развивались по обычной дарвиновской схеме. В результате действия эволюционных законов происходило постепенное совершенствование органов, в том числе и мозга наших предков. Достигнув определенного уровня, человечество вступило в эпоху своего общественного развития. Появился новый принцип отбора в эволюции, основанный на использовании наличия разных мировоззрений.

Так же, как наличие мутаций является условием развития биосферы, так и наличие различных мировоззрений является условием развития человеческого общества. Довольно долго в нашей стране под мировоззрением понималась идеология, т. е. оттенялось только то, что разные сословия видят мир по-разному. Считалось, что у людей должно существовать единственное и к тому же «правильное» мировоззрение. На самом деле у каждого человека оно свое и формируется под воздействием многих факторов, не может протекать по приказу, а его насильственное внедрение приводит к остановке в развитии общества, что мы и видим на примере нашей страны.

По мере развития естествознания формируется базис устойчивых знаний из достаточно обоснованных законов, принципов и концепций с их количественным и математическим представлением. При этом со временем все более четко определяются границы их справедливости. Одновременно на основе экстраполяции на неизвестное формируется модель общего устройства действительности в целом и отдельных ее частей, формируются частные картины — такие как физическая, биологическая, астрономическая и т. д.

Такая целостная система идей и представлений составляет общую картину мира.

В создании картины мира проявляется свойство человеческого разума — всегда распространять имеющиеся знания далеко за пределы уже обоснованного из любого сколь угодно малого набора фактов. Делается это с тем большей свободой воображения, чем меньше имеется опорных фактов, о чем и говорит появление мифов и сказок у всех народов мира, прежде чем появилась у них наука. Однако такая, пусть и ориентировочная, экстраполяция задает вектор дальнейших исследований и помогает разрешить извечное противоречие «курицы и яйца» — для того чтобы выбирать необходимые факты из необозримого множе-

ства, нужна соответствующая гипотеза, а чтобы возникла работоспособная гипотеза, необходимо опереться на факты, на базе которых она могла бы быть предварительно сформулирована. На основе самых общих соображений формируется общее направление поиска, а отдельные конкретные факты подправляют общий вектор, корректируя общее направление. Это ведет к сужению области селекции фактов, на основе которых и рождается впоследствии работоспособная гипотеза, дальнейшая проверка которой экспериментальным путем либо ее подтверждает, и она переходит в разряд теорий, либо (при отрицательном результате) она отбрасывается. Но и отрицательный результат сокращает область возможных дальнейших поисков. Вот почему говорят, что и отрицательный результат — тоже результат.

Таким образом, хотя картина мира — лишь временная модель действительности, но без ее построения и без восприятия ее как достаточно надежного (на значительном отрезке времени) отражения действительности человеческий разум не мог бы продвигаться дальше в познании мира. Картина мира — это, по существу, постулирование (на основании имеющегося опыта) универсальности открываемых законов природы и общей его упорядоченности, без чего невозможно разобраться в многообразных явлениях, на первый взгляд не имеющих ничего общего.

Итак, картина мира является и условием, и результатом развития науки — она подсказывает направление исследований и изменяется сама по принципу обратной связи. С расширением базиса науки экстраполяция производится на основе большего количества научно обоснованных фактов, и по мере накопления опыта прогнозирования область экстраполяции и ее точность возрастают. Исходя из ее роли, создание картины мира существенно отличается от построения науки. Научное знание может быть и фрагментарным — область его распространяется на доказанное опытом. Картина мира, напротив, всегда целостна и всеохватна, поэтому она всегда гипотетична в областях, не охваченных еще научным знанием.

Многие полагают, возможно, под влиянием ассоциаций, связанных со словом «картина», что ее обязательным атрибутом должна быть наглядность и образность. Но ее не следует представлять в виде рисунка. Она складывается из разнородных знаний и представлений, которые по мере удаления от уже познанного становятся все более абстрактными, и образы формируются все более крупными мазками.

На каждом этапе картина мира в своей основе отражает и обобщает опыт, накопленный человечеством к данному периоду времени. По мере накопления полных или частичных изменений одной или нескольких частей картины наступает момент, когда они приводят к необходимости резкого изменения восприятия картины в целом. В этом случае мы говорим об изменении нашего мировоззрения, т. е. об изменении нашей системы взглядов, концепций, теорий и представлений, формирующих наше «зрение» на окружающий мир. Довольно часто картина мира меняется на свое зеркальное отражение. Так было с коперниковской теорией — необходимо было перевернуть картину, и все получило свое естественное объяснение.

В разные эпохи основные компоненты картины мира были различными. В древнейший период основную ее часть составляли мифы, в мифологической форме объясняющие все сферы человеческой деятельности и явления. В эпоху античности основным ее элементом был космос. В эпоху средневековья теологическая картина мира стала основной. Она стала статичной, ее стержнем являлся Бог. Весь мир был проникнут иерархическими структурами, основанными на подчинении и субординации.

Основы современной картины — это мир квантовой механики, релятивистской физики, информатики, в которых господствуют случайность, симметрия, свойства пространства и времени, самоорганизация, как в живой, так и неживой материи, иерархия структур и законов, что и будет рассмотрено ниже. Основным элементом современной картины мира является осознание того, что человек является составной частью этого мира, а его деятельность должна быть согласована с параметрами остальных его частей.

Выводы по разделу 2.2

Без проведения анализа наше мировосприятие не всегда адекватно отражает существующую реальность. То есть то, что может нам казаться очевидным не всегда может быть таковым. Основной задачей естествознания является открытие базовых закономерностей природы, на основе которых и может быть произведен анализ наших мировосприятий (мировоззрений).

Вопросы к разделу 2.2

- 1) В чем заключается различие понятий: «мировоззрение» и «миропонимание».
- 2) В чем заключается отличие научного знания от картины Мира?

2.3. Математика и естествознание

Для облегчения проведения строгих доказательств и уменьшения влияния действия фильтра мышления в современном естествознании во всех науках широко используется математика. Это обусловлено еще и тем, что, во-первых, несмотря на то, что объяснить любое явление можно и без математики, но при этом невозможно количественно оценить ни эффекта, ни следствий, во-вторых, сформулировав задачу и построив математическую модель процесса, мы, используя логику, заложенную в правилах математических преобразований, можем быстрее получить результат, абстрагируясь от конкретного явления.

[Методы познания окружающего мира. Современный рационализм]

Таким образом, весь процесс сводится к следующей схеме: построение физической модели явления \Rightarrow построение на ее основе математической модели \Rightarrow аналитическое или численное решение составленных уравнений \Rightarrow интерпретация полученных данных.

Во многих случаях основная трудность заключается в обратном переходе от математической логики к интерпретации полученных результатов, которые могут и не укладываться в существующие воззрения. Так было, например, с уравнениями Максвелла, из которых следовало, что, во-первых, должны существовать электромагнитные волны, которых еще никто не обнаруживал экспериментально, а, во-вторых, это не согласовывалось с теорией дальнего действия и требовало введения гипотетического эфира. Однако со временем математические представления становятся настолько абстрактными и сложными, что теряется их связь с конкретными явлениями получение частных выводов и посылок путем логических рассуждений может оказаться даже более простым.

Использование способов отгадывания законов природы через наблюдения, размышления, разработку математических моделей и их исследование, проведение необходимых опытов, в которых вычленяется главное, называется научным подходом и научным методом решения проблем.

Выводы по разделу 2.3

Использование математических моделей позволяет:

- вычленив главные аспекты явления, отделив его от сопутствующих, несущественных деталей;
- используя логику математических преобразований, быстрее получить результат в областях еще не охваченных экспериментом;
- исключить эффекты нашего не всегда рационального мышления;
- получить количественные данные, позволяющие оценить величины эффектов для сравнения с наблюдаемыми величинами в эксперименте.

Вопросы к разделу 2.3

1. Какова последовательность проведения анализа процесса при использовании математики?

2. Существование электромагнитных волн было открыто экспериментальным или теоретическим путем?

Выводы по теме

Научный метод — это комплексный, творческий, системный подход к решению стоящей проблемы с использованием всего арсенала средств и достижений, накопленных естествознанием за весь период его развития.

Вопросы к теме

1. Ученые специализируются по наукам или по проблемам?
2. Всегда ли то, что «очевидно», истинно?
3. Чем отличается мировоззрение от миропонимания?
4. Что такое «картина мира» и чем она отличается от науки?

Литература основная

1. *Горелов А.А.* Концепции современного естествознания. Учебное пособие. — М.: Владос, 1999. С. 38–52.
2. *Горбачев В.В.* Концепции современного естествознания. — М.: «Издательский дом ОНИКС», 2003. С. 17–19.

Литература дополнительная

1. *Голстейн М. и др.* Как мы познаем. — М.: Знание, 1984. С. 33–45; 195–204; 235–251.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Крушение парадоксов. — [Электронный ресурс] / авт. И.Л. Радунская. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/rd/kp.htm> — Загл. с экрана.
3. Наука и техника — электронная библиотека. Смотри в корень. — [Электронный ресурс] / авт. П.В. Маковецкий. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/mk/sk.htm> — Загл. с экрана.

ТЕМА 3. ЭВОЛЮЦИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Краткое содержание темы

В теме рассмотрена эволюция основных физических представлений и понятий (материи, пространства, времени, силы). Получены основные уравнения кинематики движения тел и приведены основные законы механики Ньютона, на основе которых получены законы сохранения (энергии и импульса). Приведены уравнения Максвелла для описания электромагнитных полей. Исходя из требований симметрии, получены соотношения для механики быстро движущихся тел (специальной теории относительности).

Методические рекомендации по изучению темы

Так как кинематика и динамика материальных тел, а также законы Ньютона и законы сохранения, т.е. классическая механика, изучаются в средней школе, то обычно их усвоение не вызывает затруднений. Тем не менее, при изучении этих разделов следует обратить внимание на использование методов интегрирования и дифференцирования при описании движения тел и получении законов сохранения. Естественно, сложнее обстоит дело с уравнениями для электромагнитных полей, описываемыми уравнениями в частных производных. Их детальный вывод увел бы далеко в сторону и потребовал бы доказательств нескольких, относительно сложных математических теорем. Поэтому их нужно принять как данность. Интересующиеся их выводом могут ознакомиться с этим в специализированных учебниках по классической электродинамике. Однако без уравнений Максвелла трудно обосновать необходимость пересмотра классических пространственно-временных представлений, как исторически это и произошло. Специальная теория относительности, созданная А. Эйнштейном, привела к представлениям, принципиально отличающимся от обыденных воззрений на пространство и время. Описанию всевозможных следствий из специальной теории относительности посвящено много научно-популярной литературы, где описано множество интересных, не совпадающих с обычными представлениями фактов, поэтому с этими литературными источниками полезно познакомиться для уяснения принципиальных отличий механики быстро движущихся тел от ее классического приближения.

План темы

- 3.1. Эволюция понятий: материя, пространство, время, сила.
- 3.2. Кинематика и динамика материальной точки.
- 3.3. Законы Ньютона.
- 3.4. Законы сохранения.
- 3.5. Основные законы электродинамики.
- 3.6. Симметрия физических законов.
- 3.7. Механика быстро движущихся тел.

3.1. Эволюция понятий: материя, пространство, время, сила



[Эволюция основных физических представлений. Классическая физика]

Проблемы строения материи и пространства

Проблема строения материи наиболее отчетливо была сформулирована древнегреческими натурфилософами. Были выдвинуты две гипотезы: гипотеза непрерывности и однородности материи и гипотеза ее дисперсности, т. е. существования бесконечно малых, бесструктурных, неделимых частиц — атомов, свойства которых отличны от свойств больших тел и живых организмов. Существенным аргументом в пользу атомистической гипотезы являлась устойчивость наблюдаемых форм материи. Если бы материя была непрерывна и бесконечно делима, то при превращениях, по их воззрениям, возникало бы бесконечное количество ее видов, чего не наблюдается в природе. Аргументом в пользу непрерывности материи

являлась доказанная в то время теорема Пифагора, из которой вытекало, что диагональ треугольника несоизмерима с его стороной. «Она равна $\sqrt{2}$, если стороны треугольника принять равными единице, и ее нельзя выразить никакой конечной дробью, а если отрезки слагаются из неделимых частей, то теорема неверна», — обосновывали свой аргумент сторонники непрерывности материи. В каждом отрезке в этом случае было бы определенное число атомов, и отношение диагонали к стороне квадрата выражалось бы конечной дробью. Из этого, по их рассуждениям, следовало, что линии не состоят из дискретных элементов и пространство непрерывно. Демокрит в своих доказательствах объяснял это тем, что геометрические аксиомы не являются абсолютно точными и имеют погрешность в одно неделимое. Под атомами античные философы понимали не те объекты, что понимаются в современной физике. Сейчас мы называем атомами частицы размером 10^{-8} см, которые обладают сложным строением. Атомисты вовсе не считали, что предполагаемые ими атомы должны иметь именно такие размеры или другие малые размеры. Под атомами они имели в виду предел делимости материи как актуально бесконечно малые ее элементы. Изменение содержания понятия атома произошло в период XVIII–XIX вв. Развитие химии и теории теплоты привело к выводу о наличии определенной дискретности в структуре материи, и по аналогии с представлениями древних мыслителей эти частицы были названы атомами. По современным воззрениям, атомы состоят из элементарных частиц (протонов, нейтронов и электронов), которые описываются непрерывной функцией вероятности Ψ , удовлетворяющей уравнению Шредингера. При этом вероятность обнаружения свободной частицы распространяется на сколь угодно большую область пространства. То есть понятие размера частицы не имеет той однозначности, которую в нее вкладывали атомисты. Благодаря непререкаемому авторитету Аристотеля гипотеза непрерывности на долгое время стала единственной общепринятой концепцией. Но атомистическая гипотеза полностью не была забыта благодаря Лукрецию Кару, которую он изложил в знаменитой поэме «О природе вещей». Труды Демокрита, Эпикура и других сторонников атомной гипотезы пропали, от них остались лишь отрывки и цитаты, а поэма Кара сохранилась полностью и донесла их систему взглядов до наших дней.

Проблема движения

Со времен Аристотеля господствовало представление, что существуют так называемые насильственные движения и естественные движения тел, определяемые их природой. Всем небесным телам приписывалось естественное, идеально равномерное движение по кругу. Для тел на Земле естественным движением считалось прямолинейное движение: для одних — вниз (в силу присущего им свойства тяжести), для других (огонь, эфир) — вверх (в силу отсутствия у них, по мнению Аристотеля, тяжести). При этом скорость падения тел под действием тяжести считалась зависящей от веса тел. Прорыв в решении проблемы движения был совершен итальянским ученым Галилео Галилеем (1564–1642). Благодаря изобретенному методу предельных идеализаций Галилею удалось неопровержимо доказать ложность ряда существовавших в то время воззрений. Заметив, что чем меньше трение, тем дольше продолжают движение тела, скатывающиеся с наклонной плоскости, он сделал предельный переход к движению без воздействия на тело сил и пришел к постулату: если на тело не действуют никакие силы, то оно находится в состоянии покоя или равномерного движения, пока на него не подействует какая-либо сила. Однако основным движением, по мнению Галилея, оставалось движение по кругу, потому что и планеты, и спутники вокруг планет, которые он наблюдал в изобретенный им телескоп, двигались по круговым орбитам.

Его современник Рене Декарт (1596–1650) поправил Галилея, сформулировав исходный закон движения: «...Однажды пришедшие в движение тела продолжают двигаться, пока это движение не задержится какими-либо встречными телами, при этом каждая частица материи в отдельности стремится продолжать движение исключительно по прямой, а не по кривой» (Избранные произведения Декарта. — М., 1950). То есть окончательно был сформулирован закон инерции как неотъемлемое свойство каждой частицы Вселенной.

Особенно наглядно сила метода Галилея видна в рассуждениях о падении тел разной тяжести. «Представим себе (рассуждал он устами Сальвиати — одного из героев знаменитой

книги «Диалог о двух главнейших системах мира — птоломеевой и коперниковой»), что мы соединим два тела: одно легкое, другое — тяжелое. Как будут они двигаться? Если принять во внимание, что в результате соединения получилось более тяжелое, то оно должно падать быстрее, чем любая из частей. Но можно рассуждать и иначе: более легкая часть будет падать медленнее, чем тяжелая, и будет ее задерживать. В таком случае скорость падения составного тела должна быть меньше, чем отдельно взятой тяжелой части. Чтобы избежать противоречий, осталось признать логически необходимый вывод: в идеализированных условиях (если пренебречь сопротивлением воздуха) тела разного веса должны падать с одинаковыми скоростями». Этого было достаточно для разрушения гипноза Аристотеля, утверждавшего, что тела движутся только при наличии воздействия на них и что тело большего веса будет падать быстрее. К тому же Галилей сделал это оружием самого Аристотеля, утверждавшего, что познание природы должно основываться на логических построениях, для чего и разработал свою знаменитую логику.

Сравнивая движение тел на плавущем и неподвижном кораблях, Галилей пришел к выводу, что механические движения происходят совершенно одинаково как в неподвижной системе, так и системе, движущейся равномерно и прямолинейно. Это так называемый принцип относительности Галилея, суть которого в конечном итоге сводится к тому, что невозможно никакими методами определить, в какой системе находится наблюдатель — в неподвижной или движущейся, т. е. все системы принципиально эквивалентны.

Относительность пространства была понята не сразу. Даже Ньютон считал пространство абсолютным, хотя и понимал, что установить это никак нельзя. Отголоски этой проблемы дошли до 20-х гг. нашего столетия, когда даже отец релятивизма (относительности) Эйнштейн не сразу принял теорию Фридмана о характере движения звезд.

Проблема сил

Проблема сил, которые приводят к круговому бесконечному движению планеты, а ранее и Солнца, занимала умы и древнегреческих философов, и ученых XVII столетия. У древнегреческих философов первоисточником движения космических тел был Бог. По Декарту, все небесные тела образовались в результате вихревых движений, имевших место в однородной вначале мировой материи — эфире. Планеты у него не имеют собственного движения — они движутся, увлекаемые мировым вихрем. По его гипотезе, в вихрях, возникающих вокруг планет, частицы давят друг на друга и вызывают явления тяжести. Но, обращаясь к первопричине, он в соответствии с господствовавшими взглядами своей эпохи указывал на всемогущего Бога как творца материи и движения.

Постепенно в работах Гюйгенса, Гука, Галилея все более отчетливо формировалась идея взаимного притяжения тел. Великая идея, потрясающая воображение и в наши дни! В самом деле, весь практический опыт показывал, что тела взаимодействуют через посредство чего-либо, а в случае притяжения отсутствует видимая и ощущаемая среда между телами. В принципе был не понятен механизм осуществления взаимодействия, который, собственно, до сих пор гипотетичен, так как гравитационные волны, посредством которых осуществляется, по существующим воззрениям, взаимодействие, до сих пор не обнаружены. «Мы “этого” не видим, но “оно” есть», — провозгласил великий Ньютон (1643–1727). В этом и заключается его великий научный подвиг. Он размышлял, по-видимому, так: для того, чтобы хоть как-то изменить скорость тела, нужна сила. Если тело сворачивает, то на него действует сила сбоку, точно так же, как действует веревка при вращении предмета. Поэтому, решил Ньютон, планете не нужна сила, чтобы двигаться вперед, а вот для того, чтобы двигаться по кругу, необходима сила, которую он назвал силой тяготения. Если бы вдруг действие этой силы прекратилось, то, как и в случае обрыва веревки при вращении тела, она продолжала бы двигаться по касательной. Но свободное движение не имеет никакой видимой причины. Почему предметы способны вечно лететь по прямой линии? На этот вопрос наука ответа не имеет. Происхождение свойства инерции тел до сих пор остается загадкой. Почему же Луна, например, притягиваясь к Земле, не падает на нее? Да потому, что, постоянно падая на нее, она за счет наличия у нее касательной скорости постоянно пролетает мимо. Если Луну остановить, то

она неминуемо упадет на Землю, как и всякий подброшенный камень. Запуская спутник, мы должны сообщить ему такую касательную скорость, чтобы он, так же как и Луна, все время падая на Землю, на каждом витке пролетал мимо нее.

Основные свои открытия Ньютон изложил в книге «Математические начала натуральной философии», изданной в 1687 г. В ней он сформулировал три аксиомы механики: закон инерции, закон изменения количества движения пропорционально приложенной силе и закон равенства действия и противодействия. Он также дал доказательство тождественности силы тяжести на Земле и силы тяготения небесных тел друг к другу, т. е. был открыт универсальный закон всемирного тяготения, объяснявший все наблюдаемые движения в Солнечной системе. Исходными для него были открытые Кеплером законы движения планет, основы динамики, открытые Галилеем, и качественная теория центростремительной силы при круговом движении, построенная Гюйгенсом. В течение почти полутора веков, после открытия им законов механики, физика во всех своих областях развивалась на их основе.

Гипотез или теорий, объяснявших существование сил притяжения между телами, выдвинуто в то время не было, но был сформулирован постулат мгновенной передачи действия от одного тела к другому на расстоянии через пустоту, который господствовал вплоть до конца XIX в.

Для расчета траектории движения тела в поле притяжения другого тела методов математики, основанных на основах геометрии Евклида, начал алгебры и понятия функции, введенной Декартом, уже было недостаточно. Для решения этой задачи Ньютон независимо от Лейбница разработал новый метод, основанный на анализе бесконечно малых величин (или метод «флюксий», как он его назвал), который впоследствии в законченном виде превратился в классические методы дифференциального и интегрального исчисления, использование которых существенно ускорило внедрение математики в физику и естествознание в целом.

Выводы по разделу 3.1

Вся история классической механики сводится, по сути дела, к истории эволюции понятий: материи, пространства, времени и силы. Сформулированные Ньютоном законы механики существенно изменили взгляды на проблемы движения и позволили понять множество явлений природы, суть проявлений которых ранее не находила доказательных объяснений.

Вопросы к разделу 3.1

1. Зависит ли скорость падения тела от его веса (при пренебрежении сопротивлением воздуха)?
2. Кто открыл закон, который в последствии получил название — первый закон Ньютона?

3.2. Кинематика и динамика материальной точки

Раздел механики, в котором изучаются свойства движения, не рассматривая причин его вызывающих, называется кинематикой, а раздел механики, в котором изучаются его изменения в результате действия других тел, называется динамикой. В механике вводится понятие материальной точки, что означает тело, обладающее массой, размерами которого можно пренебречь при рассмотрении движения. Например, звезда или планета, размеры которых по сравнению с расстоянием до них пренебрежимо малы.

Число независимых величин, задание которых необходимо для однозначного определения положения тела, называется числом его степеней свободы.

Для того чтобы описать движение тела, необходимо определить систему координат и связанное с ней время, т. е. определить систему отсчета. Наиболее часто систему отсчета выбирают в виде декартовой прямоугольной системы координат со связанными с ней часами. Координаты точки X, Y, Z определяют в пространстве радиус-вектора \vec{r} , т. е. вектор, направленный из начала координат к рассматриваемой материальной точке. Для характеристики быстроты изменения положения точки в пространстве используется понятие скорости. Под средней скоростью движения по траектории за время Δt понимают отношение пройденного пути Δs ко времени: $\bar{V}_s = \Delta s / \Delta t$. Для бесконечно малого промежутка времени имеем: $\bar{V}_s = \lim$

$\Delta s/\Delta t = ds/dt$. Производная радиус-вектора по времени называется мгновенной скоростью перемещения точки \vec{V} . Так как перемещение совпадает с бесконечно малым элементом траектории, то вектор скорости направлен по касательной к траектории, а его величина: $\vec{V} = ds/dt = d\vec{r}/dt$. Если известна зависимость скорости от времени $V(t)$, то, проинтегрировав в интервале времени от t_0 до t , найдем длину пути, пройденного материальной точкой за этот отрезок времени: $S = \int_{t_0}^t \vec{V}(t) dt$.

Производная скорости по времени, которая является второй производной по времени от радиус-вектора, называется ускорением точки: $a = d\vec{V}/dt = d^2\vec{r}/dt^2$.

При $a = \text{const}$ имеем так называемый случай равноускоренного движения. Проинтегрировав выражение для a в пределах от 0 до t , получим: $\vec{V}(t) = d\vec{r}/dt = \vec{V}(0) + \vec{a}t$. Проинтегрировав еще раз, получим: $\vec{r}(t) = \vec{r}(0) + \vec{V}(0)t + \vec{a}t^2/2$. Если траектория точки — произвольная кривая, то скорость и ускорение точки при ее движении по этой кривой во времени меняются по величине и направлению.

Составляющая ускорения, направленная по касательной к траектории, называется тангенциальным ускорением \vec{a}_t , а направленная ей перпендикулярно — нормальным ускорением \vec{a}_n .

Рассмотрим случай равномерного движения точки по окружности (рис. 2). В этом случае $\vec{a}_t = 0$, так как абсолютное значение скорости не меняется ($\vec{V} = \vec{V}_1$).

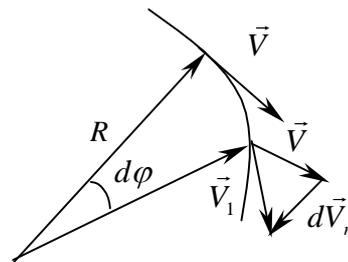


Рис. 2. Движение тела по окружности

Треугольники, изображенные на рисунке, подобны, поэтому: $d\vec{V}_n/\vec{V} = ds/R$, откуда найдем выражение для нормального ускорения: $\vec{a}_n = d\vec{V}_n/dt = (\vec{V}/R)ds/dt = V^2/R$.

3.3. Законы Ньютона

🌀 [Эволюция основных физических представлений. Классическая механика]

Эти законы являются основой динамики, рассматривающей взаимодействие тел.

Первый закон Ньютона, который отражает свойство инерции тел и часто называется законом инерции, формулируется в виде: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Второй закон Ньютона формулируется в следующем виде: ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально силе, действующей на тело, и обратно пропорционально его массе.

Он записывается:

$$\vec{a} = \kappa \vec{F} / m,$$

где κ — коэффициент пропорциональности.

Третий закон Ньютона утверждает: силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны и противоположны по направлению.

Второй закон Ньютона позволяет определить единицу силы. В системе СИ коэффициент пропорциональности принимается равным единице, и закон записывается в виде:

$$\vec{F} = \vec{a}m.$$

Сила равна единице в том случае, если она массе в 1 кг придает ускорение, равное 1 м/с². Сила такой величины получила название *Ньютон*.

Вес тела обозначается обычно буквой P . Сила P приводит к ускорению свободного падения, которое обозначается буквой g , и мы можем записать: $P = mg$. Так как величина ускорения свободного падения $g = 9,8$ м/с², то сила в 1 кг больше силы в 1 *Ньютон* в 9,8 раза, т. е. 1 *Ньютон* = 1/9,8 кг, или сила в 1 *Ньютон* ориентировочно равна весу тела массой 100 г.

Сформулировав свои законы, Ньютон пришел к выводу, что для движения планет по окружности не требуется тангенциальной силы, т. е. силы, направленной вдоль по окружности, а вот для поворота вектора скорости необходима сила. Значит, по мнению Ньютона, между телами существует притяжение, и сила этого притяжения пропорциональна массам взаимодействующих тел. Анализ законов Кеплера позволил ему сделать вывод, что эта сила обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Оба этих соображения позволили ему сформулировать и записать всемирный закон тяготения в следующем виде: сила притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = \gamma Mm/r^2,$$

где γ — коэффициент пропорциональности, который должен быть определен опытным путем.

Эти опыты были неоднократно проведены (одним из первых их провел Кавендиш в 1798 г.) и дали, что $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ [см³/кгс²]. Ввиду малости этого коэффициента силы притяжения между телами чрезвычайно малы, но если масса одного из тел велика (например, Земли), то они сразу становятся ощутимыми как вес тела. Подставив в формулу значения масс Земли ($6 \cdot 10^{24}$ кг) и Солнца ($2 \cdot 10^{30}$ кг) и расстояние между ними ($15 \cdot 10^{10}$ м), найдем, что сила притяжения между ними равна $3,6 \cdot 10^{22}$ Н, или $3,6 \cdot 10^{21}$ кг. Эта сила и сворачивает Землю с прямолинейного пути, заставляя ее вращаться вокруг Солнца.

Как только величина γ была определена экспериментально, так сразу появилась возможность определить массу Земли. Можно показать, что тела шарообразной формы взаимодействуют с силой, пропорциональной $1/r^2$, т. е. притягиваются как точечные объекты с эквивалентными массами, расположенными в центрах этих шаров. Для близких шаров формула всемирного тяготения справедлива, как и для далеких, если через r обозначить расстояние между центрами шаров. Таким образом, мы имеем право применять формулу тяготения для вычисления силы притяжения тела Землей. Под r мы должны принимать в этом случае расстояние от центра Земли до тела. Пусть M — масса, а R — радиус Земли. Тогда сила притяжения тела массой m у земной поверхности $F = \gamma Mm/R^2$, но, с другой стороны, это же вес тела. Поэтому $g = \gamma M/R^2$. Отсюда, зная g и R , можем определить массу Земли M . Поэтому говорят, что определение γ равносильно взвешиванию Земли.

По сути дела, формулировкой законов Ньютона завершился предварительный этап развития механики, стало возможным приступить к постановке и решению ее многочисленных задач. Решением конкретных задач и занялись талантливые последователи Ньютона, на основе анализа следствий из них получившие общие характеристики, которым подчиняются всевозможные движения и взаимодействия тел в конкретных ситуациях. Были выявлены законы столкновения тел, закон сохранения энергии и закон сохранения момента вращения. Все эти следствия чрезвычайно важны, позволили и позволяют решать множество практических технических и астрономических задач. Достигнутые успехи были настолько значительны, что складывалось впечатление, будто все наблюдаемые явления в окружающей действительности можно описать разработанным математическим аппаратом и, получив решение, объяснить их. Практически в течение трехсот лет господствовала такая механическая картина мира.

Выводы по разделу 3.3

Сформулировав три закона механики и закон всемирного притяжения, Ньютон завершил первый этап развития классической механики, начатый еще философами древней Гре-

ции. Созданная система законов позволила решить множество практических задач и дала импульс развитию математики на долгие годы, породив одновременно уверенность человечества в своей способности познания природы.

Вопросы к разделу 3.3

1. Сформулируйте три закона Ньютона.
2. Сформулируйте закон всемирного тяготения.

3.4. Законы сохранения

[Эволюция основных физических представлений. Классическая механика]

Ранее нами уже использовались понятия силы и скорости, было видно, что кроме абсолютных значений они характеризуются также и направлением. Для определения характера движения тела необходимо указать не только, с какой силой действует одно тело на другое, но и в каком направлении. Если сила действует по направлению движения, то его скорость увеличивается, если в противоположном направлении, то его скорость будет уменьшаться. Для действия с векторными величинами в физике вводится понятие вектора.

Разложение вектора по прямоугольным осям X , Y , Z представляется с помощью единичных векторов в направлениях указанных осей:

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k},$$

где a_x , a_y , a_z — длины проекций вектора на оси X , Y , Z .

Закон сохранения импульса

Используя векторные обозначения, запишем второй закон Ньютона в виде:

$$m d^2 \vec{r} / dt^2 = \vec{F}. \quad (3.4.1)$$

Данное выражение называется уравнением движения тела. Интегрируя его, мы можем найти траекторию частицы в поле сил \vec{F} , т. е. найти $\vec{r} = \vec{r}(t, \vec{F})$. Однако оказывается, что уравнения Ньютона обладают тем свойством, что некоторые величины, характеризующие движение тела, остаются неизменными, и мы можем получить качественные и количественные характеристики движения, не решая уравнение движения. Эти величины во время движения сохраняются и называются интегралами движения. Перепишем второй закон Ньютона в виде:

$$m d \vec{v} / dt = \vec{F}. \quad (3.4.2)$$

Величина $\vec{p} = m \vec{v}$ называется импульсом. Так как масса тела постоянна, то ее можно ввести под знак дифференциала и закон Ньютона переписать в виде: $d\vec{p} / dt = \vec{F}$, его физический смысл становится понятным, если уравнение проинтегрировать от 0 до t :

$$\Delta p = \int \vec{F} dt, \quad (3.4.3)$$

т. е. изменение импульса характеризует меру воздействия силы \vec{F} , действующей в течение времени от 0 до t . При отсутствии сил $\vec{F} = 0$, мы имеем:

$$d \vec{p} / dt = 0, \text{ или } \vec{p} = m \vec{v} = \text{const}. \quad (3.4.4)$$

Полученный результат и является так называемым законом сохранения импульса, величина которого остается постоянной во все время движения. Таким образом, получен другим способом первый закон Ньютона: пока на тело не действует сила, оно находится в движении с постоянной скоростью или находится в покое.

Закон сохранения энергии

Умножим левую и правую часть уравнения (3.4.2) одновременно на вектор скорости \vec{v} . В левой части уравнения окажется производная от полного дифференциала, и уравнение примет вид:

$$m \vec{v} d \vec{v} / dt = d(m v^2 / 2) / dt = \vec{F} d \vec{r} / dt. \quad (3.4.5)$$

Если $\vec{F} = 0$, то величина $m v^2 / 2$ должна быть равна константе и во время движения при отсутствии сил должна сохраняться. Величина $T = m v^2 / 2$ называется кинетической энергией

тела. При действии на тело или систему тел сил кинетическая энергия не остается постоянной, и в этом случае приращение кинетической энергии равно скалярному произведению $\vec{F} d\vec{r}$ — работе, совершаемой силой \vec{F} на пути $d\vec{r}$. Работа силы \vec{F} при переходе из точки A в точку B равна:

$$A = \int_A^B \vec{F} d\vec{r} \quad (3.4.6)$$

и равна изменению кинетической энергии тела:

$$A = T_2 - T_1. \quad (3.4.7)$$

Если тело движется в поле сил других тел, которое можно описать с помощью некоторой скалярной функции $f(\vec{r})$, то действующую силу в каждой точке можно описать в виде:

$$\vec{F} = -\text{const} df / d\vec{r}, \quad (3.4.8)$$

где const определяется свойствами тела, взаимодействующего с данным полем.

Подставим (3.4.8) в (3.4.6) и проинтегрируем от точки A до точки B , получим:

$$T_2 - T_1 + \text{const}(f_B - f_A) = 0.$$

То есть величина

$$E = T_2 + \text{const} f_2 = T_1 + \text{const} f_1 \quad (3.4.9)$$

остаётся постоянной при движении по траектории. Величина: $U = \text{const} f(\vec{r})$ называется потенциальной энергией, а E — полной энергией тела: $E = U + T$.

Итак, получили, что существует величина, которая характеризует движение, но почему она должна сохраняться? Это следствие закона инерции, который является экспериментальным фактом и ниоткуда не выводится.

Выводы по разделу 3.4

При анализе уравнений Ньютона, записанных в интегро-дифференциальной форме, оказалось, что некоторые величины, характеризующие движение, остаются неизменными. Эти величины получили наименование — импульс ($P = mv$) и энергия ($E = U + T$, где E — полная, U — потенциальная энергия и T — кинетическая энергия тела). Эти два понятия (энергия и импульс) с большим трудом были отделены друг от друга, а наличие сохраняющихся величин с большими трудностями укоренялось в науке.

Вопросы к разделу 3.4

1. Напишите, используя векторные обозначения, формулу второго закона Ньютона.
2. Докажите, что при отсутствии воздействия со стороны, тело остается в покое или продолжает движение, пока на него не подействует какая-либо сила.

3.5. Основные законы электродинамики



[Эволюция основных физических представлений. Электромагнитные поля]

История открытий в электродинамике на первый взгляд состоит из бесчисленных случайностей, которые существенно продвигали в понимании наблюдаемых явлений. Но люди, занимающиеся наукой, только и делают, что пытаются наткнуться на эти случайности. Исторически первой случайностью явилось обнаружение Луиджи Гальвани в 1780 г. подергивания лапки лягушки при ее соприкосновении с разнородными металлами, что стимулировало интерес к этой проблеме. Но понял причину ее подергивания знаменитый уже в то время итальянец Алессандро Вольта, который изобрел электрофор — прибор для опытов со статическим электричеством, возникающим при натирании сургуча. Он уже целенаправленно взял монеты из разных металлов и положил их в рот — одну под язык, другую на язык. При соединении их проволокой он почувствовал солоноватый вкус (это и мы чувствуем, когда касаемся кончиком языка контактов батарейки), причину которого он уже знал. Соединив двадцать кружочков из цинка и серебра, разделенных бумагой, смоченной соленой водой, он изобрел мощный источник тока.

Однако проблема связи электрических и магнитных явлений еще долго оставалась открытой. После знаменитой книги Гильберта, изданной им в 1600 г., «О магните, магнитных телах и о большом магните Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов», где он четко разделяет магнитные и электрические явления, казалось, окончательно разрешился вопрос, что магнитные и электрические явления никак не связаны друг с другом. Но вновь «случайность» помогла обнаружить их связь. При проведении демонстрационных опытов на лекции в Копенгагенском университете в 1820 г. профессором Гансом Христианом Эрстедом одним из студентов было замечено, что когда по проводнику течет ток, стрелка компаса, случайно оказавшаяся на столе, поворачивается. Магнит реагирует на электричество! Но его реакция оказалась странной — стрелка располагалась не по направлению к проводнику, а только в плоскости перпендикулярной этому проводнику. Впервые обнаружилась сила, совершенно отличная от тех, которые были уже известны. Сила тяготения и сила Кулона между двумя зарядами действуют вдоль линии, соединяющей оба притягивающихся или отталкивающихся тела.

Великому Амперу понадобилось всего две недели, чтобы повторить опыты и существенно продвинуться дальше. Он показал, что проводник, по которому течет ток, свернутый в кольцо, взаимодействует с магнитом так же, как магнит с магнитом. Более того, и два проводника, по которым течет ток, притягивались и отталкивались как магниты. Великое объединение электрических и магнитных явлений свершилось. Однако потребовалась титаническая работоспособность англичанина Майкла Фарадея (1791–1867), чтобы под действием открытых сил проводник с током закрутился вокруг магнита. Буквально через год великим экспериментатором был изобретен электромотор. Но ему принадлежит и другое не менее важное открытие, которое он сделал через девять лет. Он был уверен, что, если с помощью электричества Ампер смог создать магниты, точно так же с помощью магнитов можно создать электричество. В 1831 г., вдвигая магнит в катушку, он заметил, что в катушке возникает ток. Создание генератора тока на этом принципе было уже технической задачей, с которой он вскоре успешно справился.

Со времен Ньютона считалось, что тяготение — столь же существенное свойство материи, как протяженность, способность к движению и т. п. То есть считалось, что промежуточная среда для передачи взаимодействия не нужна. Кулон, изучая силу взаимодействия между зарядами, установил, что она пропорциональна произведению их величин и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Характер взаимодействия оказался аналогичен закону всемирного тяготения Ньютона. Пустота, находившаяся между зарядами, по мнению Кулона, в формулу не входила совершенно справедливо, так как там «ничего не было». Поэтому он считал, что никакого механизма передачи от первого заряда к некоторому участку пространства, а затем и к другому, и третьему, и т. д. до второго заряда, потребовавшего бы неизбежно некоторого времени для передачи усилий, представить невозможно. Потому Кулон был твердо убежден, что промежуточная среда участия во взаимодействии не принимает, и оно передается мгновенно.

Открытие законов взаимодействия магнитных масс, аналогичных законам Ньютона и Кулона, утвердило великих французов в справедливости концепции «мгновенного» дальнего действия.

Фарадей же отстаивал взгляд, что «материя не может действовать там, где ее нет». Среду, через которую передается воздействие, Фарадей назвал полем, и это поле пронизано у него магнитными и электрическими силовыми линиями. Силовые линии одновременно определяют направление и величину сил, действующих на заряд. Он ясно представлял себе и механизм передачи взаимодействия, намного опередив свое время.

Облечь в изящную математическую форму результаты опытов Фарадея предстояло его великому соотечественнику Джеймсу Клерку Максвеллу (1831–1879) спустя четверть века. Вчитываясь в страницы книги Фарадея «Экспериментальные исследования», Максвелл увидел, что упреки «в нематематичности воззрений» его теорий были несправедливы. «Когда я стал углубляться в изучение работ Фарадея,— писал Максвелл,— я заметил, что метод его

понимания тоже математичен, хотя и не представлен в условной форме математических символов». Главное Максвелл увидел у Фарадея новую физическую идею и его концепцию поля принял безоговорочно. Фарадей считал, что электрический ток окружен магнитным полем, которое и действует на магнитную стрелку. Максвелл записывает этот результат в виде уравнения:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = 4\pi \vec{j} / c,$$

здесь \vec{H} — вектор напряженности магнитного поля, а \vec{j} — вектор плотности тока, каким бы путем ни возник этот ток, c — некоторая константа. Обозначение *rot* — сокращенно от слова *rotor* «вихрь» — математическая операция, которая показывает, что вектор напряженности магнитного поля вращается вокруг вектора тока плотностью \vec{j} .

Возникновение электрического поля при изменении магнитного поля Максвеллом записано в виде:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -1/c \partial \vec{B} / \partial t,$$

здесь \vec{E} — вектор электрического поля, а \vec{B} — вектор магнитной индукции, c — некоторая постоянная, численно равная значению c , входящей в первое уравнение. Записанная операция означает вращение вектора \vec{E} , т. е. охват им некоторого источника, которым в данном случае является изменение магнитного поля $\partial \vec{B} / \partial t$.

Силовые линии электрических источников начинаются и кончаются на электрических зарядах, магнитные линии располагаются кольцеобразно. То есть силовые линии магнитного поля замкнуты сами на себя. В математике всякий источник записывается через операцию, называемую дивергенцией (*div*). Максвелл, используя это, записывает для векторов магнитной и электрической индукций следующие уравнения: $\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho$, где ρ — плотность электрических зарядов и $\operatorname{div} \vec{B} = 0$. Входящие в эти уравнения векторы электрической и магнитной индукций (\vec{D} , \vec{B}) и векторы напряженностей электрического и магнитных полей (\vec{E} , \vec{H}) связаны простыми соотношениями: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$; $\vec{B} = \mu \vec{H}$. Здесь μ — магнитная проницаемость среды, а ϵ — диэлектрическая постоянная среды. Эти четыре уравнения, являющиеся основой описания новой субстанции — поля, описывают тысячи экспериментов, проведенных Фарадеем, они и обессмертили имя Максвелла. Следствия, которые выводятся из них, сразу привлекли к себе внимание.

Можно показать, используя систему уравнений, что электромагнитные взаимодействия распространяются в виде волн. Практически сразу же было получено, что константа c , введенная для согласования магнитных и электрических существовавших тогда систем единиц, равна скорости света. Немецкий физик Генрих Герц (1857–1894), взявшийся экспериментально опровергнуть эти уравнения, в конце концов доказал обратное — они верны — и показал, что электромагнитные волны существуют и распространяются со скоростью света. Анализ выведенных уравнений показал, что возникающие при движении зарядов электромагнитные волны поперечны, т. е. магнитное и электрические поля перпендикулярны направлению распространения волны. Таким же свойством обладает и свет. Максвеллом было убедительно показано, что свет — это электромагнитная волна, которая может распространяться в пустоте без среды. Однако это было настолько парадоксальным и противоречило существовавшим воззрениям о передаче воздействия только через взаимодействие частиц, что начали вводить новую среду — эфир, через которую де и передается взаимодействие. Но свойства этого эфира были «экзотическими». С одной стороны, он должен был выполнять функции переносчика электромагнитных возмущений, а с другой — не воздействовать механически на движущиеся в нем космические тела. В результате многочисленных безуспешных попыток построения всевозможных непротиворечивых теорий эфира с необходимостью пришлось признать, что ошибка лежит в фундаментальном положении о том, что все явления в природе можно объяснить с механической точки зрения. Время механической картины ми-

ра на этом закончилось, и перед физикой открылась бездна проблем, ответы на которые необходимо было дать с учетом вновь обнаруженных экспериментальных фактов.

Выводы по разделу 3.5

В результате продолжительной истории развития, к середине 19-го века была экспериментально установлена связь электрических и магнитных явлений. Установленные связи Д.К. Максвеллу удалось представить в виде 4-х знаменитых дифференциальных уравнений, которые до настоящего времени являются основой для классической электродинамики. Анализ полученной системы уравнений показал, что электромагнитные взаимодействия распространяются в виде волн, что эти волны поперечны, т.е. электрические и магнитные поля в волне перпендикулярны друг к другу и направлению распространения волны.

Вопросы к разделу 3.5

1. Как Ампер с помощью электрической батареи и проволоки создал магнит?
2. В чем заключалось основное утверждение теории дальнего действия?

3.6. Симметрия физических законов

Разглядывая некоторые фигуры, мы замечаем, что при определенных поворотах ничего не меняется. Так, при любых поворотах шара он переходит сам в себя. Квадрат же нужно вращать на угол 90° , чтобы он вложился сам в себя, а треугольник — на 120° . Кристаллы могут иметь несколько осей, вращение вокруг которых на определенные углы также приводит к тому, что внешне ничего не меняется. Такое свойство называется симметрией.

В физике понятие симметрии несколько расширяется. Немецкий математик Герман Вейль предложил следующее определение симметрии: симметричным называется такой объект, который можно как-то изменить, получая в результате то же, с чего начали.

Именно в этом смысле в физике используется понятие симметрии. При этом имеется в виду, что физические законы или способы их представления можно изменять так, что это не отражается на их следствиях. В настоящее время симметрия рассматривается как одно из самых фундаментальных свойств природы. Так, известный физик Е. Вигнер считает, что существует три метода описания природы: уровень явлений (событий), уровень законов природы и уровень принципов симметрии. Уровень явлений — самый элементарный. Это все, что происходит в мире: движение тел, столкновение частиц и т. п., т. е. множество явлений, подчас самых неожиданных. Между ними вроде бы нет ничего общего, но это только на первый взгляд. Приглядевшись внимательнее, мы, как правило, обнаруживаем, что между ними есть определенные взаимосвязи, представляющие законы природы. Это второй уровень познания природы. Познание свойств симметрии позволило установить связь между законами, подобно тому, как законы природы устанавливают связь в мире явлений.

Можно сказать, что если законы природы управляют явлениями, то принципы симметрии управляют законами природы. То есть принципы симметрии — это законы физических законов.

Впервые фундаментальные свойства симметрии были поняты в механике. Оказалось, что ранее полученные нами законы сохранения можно получить из совсем других соображений, используя только свойства **изотропности** и однородности нашего пространства, а также инвариантность (т. е. неизменность) результатов опытов относительно поворотов. Таким образом, было показано, что законы сохранения являются следствием свойств нашего пространства. Существуют следующие симметрии:

- симметрия относительно пространственного переноса, т. е. если перенести установку из одного места в другое, то результаты опытов совпадут (однородность пространства);
- симметрия относительно сдвигов по времени, т. е. если мы получили какие-то результаты на установке, а затем через некоторое время провели их вновь, то результаты должны совпасть (однородность времени);

— симметрия относительно поворотов — результаты должны быть одними и теми же, как бы мы ни поворачивали установку (изотропность пространства);

— симметрия относительности — законы в любой равномерно движущейся системе координат должны быть одинаковыми (относительность пространства).

Рассуждения относительно необходимости получения тех же результатов при сдвигах по времени привели к закону сохранения энергии.

Утверждение о том, что поворот в пространстве не должен менять физических законов, привело к закону сохранения момента количества движения.

Требования однородности пространства привели к закону сохранения импульса.

В общем виде теорема о том, что существование любой конкретной симметрии — в пространстве — времени, степенях свободы элементарных частиц и физических полей — приводит к соответствующему закону сохранения, была доказана женщиной-математиком Э. Нетер в 1918 г.

Свойства симметрии, таким образом, являются фундаментальными свойствами нашего мира и определяют закономерности в явлениях окружающей нас действительности.

Наиболее рельефно свойства симметрии проявились при анализе движений тел при больших скоростях. В конце XIX в. было экспериментальным путем установлено, что скорость света не зависит от скорости источника излучения, при этом является максимально достижимой и равна во всех системах отсчета, как бы они ни двигались относительно друг друга. Скорость света $C \cong 300\,000$ км/с. Этот парадоксальный на первый взгляд результат потребовал в свое время полного пересмотра механики Ньютона, которая достигла к тому времени своего расцвета, так как объясняла все наблюдавшиеся в то время механические движения тел. Этот результат привел также к необходимости пересмотра системы взглядов на свойства пространства и времени.

Выводы по разделу 3.6

Изучение свойств симметрии позволило установить наличие связи между различными законами, т.е. оказалось, что свойства симметрии более фундаментальны, чем законы. Поэтому, исходя из свойств симметрии, можно получить ранее открытые законы механики, что и было сделано. Использование различных симметрий позволило получить другим путем законы сохранения: импульса, энергии и момента количества движения.

Вопросы к разделу 3.6

1. Приводит ли существование любой конкретной симметрии в пространстве, времени, степени свободы частицы или физического поля к соответствующему закону сохранения?
2. Что является более фундаментальным в нашем мире — свойства симметрии или законы сохранения?

3.7. Механика быстродвижущихся тел

Требования симметрии при переходе из одной системы координат в другую, движущуюся равномерно относительно первой, сводятся к тому, что вид уравнений не должен меняться. В конечном итоге это требование сводится к принципу относительности, сформулированному еще Галилеем, и является следствием, выведенным из законов движения: «Относительные движения тел, заключенных в каком-либо пространстве, по отношению друг к другу одинаковы — покоится ли это пространство или движется равномерно и прямолинейно без вращения». Это означает, что при свободном полете межпланетного корабля с постоянной скоростью все опыты, поставленные на этом корабле, все явления, наблюдаемые на нем, будут таковы, как если бы он покоился. В этом и есть смысл принципа относительности. Мысль эта довольно проста — вопрос только в том, верно ли это во всех мыслимых опытах, которые можно произвести внутри движущейся системы, и всегда ли законы физики выглядят точно так же, как они бы выглядели для системы, стоящей на месте?

Рассмотрим две системы координат X, Y, Z и X', Y', Z' , и пусть система координат X', Y', Z' движется относительно системы координат X, Y, Z вдоль оси X с постоянной скоростью V .

Координаты точки P в системах X, Y, Z и X', Y', Z' будут связаны следующими соотношениями: $X' = X - Vt, Y' = Y, Z' = Z, t' = t$. Если эти преобразованные координаты подставить в законы Ньютона, то вид этих законов будет точно таким же, как и в исходной системе. То есть законы Ньютона имеют одинаковый вид в движущейся и неподвижной системах координат, поэтому, проделав любые опыты по механике, нельзя сказать, движется система или нет.

В конце XIX столетия великий Максвелл (1831–1879) попытался в своих уравнениях все результаты опытов, проведенных к тому времени по электричеству, магнетизму и оптике. Из уравнений следовало, что в результате движения электрического заряда возможно существование электромагнитной волны. При этом скорость этой волны, во-первых, равна скорости света, во-вторых, она не зависит от скорости движения источника излучения, в-третьих, во всех системах, независимо стоят они или движутся, равна 300 000 км/с. Это противоречило принципу относительности. Действительно, пусть мы летим на космическом корабле со скоростью 100 000 км/с и пошлем импульс света назад на Землю. Свет относительно корабля будет распространяться согласно уравнениям Максвелла со скоростью 300 000 км/с, но и на «стоящую» Землю он придет со скоростью не 200 000 км/с, а 300 000 км/с. Это было парадоксальным и не укладывалось в рамки существовавших представлений. Всякие попытки подправить уравнения Максвелла результатов не дали. Все мыслимые эксперименты были проведены и подтверждали их правильность, как и следствия из них.

Великий Лоренц (1853–1928) заметил, что если делать преобразования координат не так, как мы делали ранее, в соответствии со старым принципом относительности, а в виде:

$$\begin{aligned} X' &= (X - Vt) / \sqrt{1 - V^2 / C^2}; Y' = Y; Z' = Z, \\ t' &= (t - VX/C^2) / \sqrt{1 - V^2 / C^2}, \end{aligned} \quad (3.7.1)$$

то форма уравнений Максвелла после подстановки не менялась. Уравнения (3.7.1) теперь называют преобразованием или группой Лоренца. Долгое время к этим преобразованиям относились как к чисто математическим ухищрениям, которые, хотя и приводят к правильным результатам, но физической основы под собой не имеют. Почему? Да потому, что из них следует: во-первых, время в разных системах течет по-разному, во-вторых, пространственные координаты и время связаны друг с другом, т. е. это не две разнородные характеристики объекта, как, например, вес и длина тела, а единый пространственно-временной континуум. Ситуация похожа на ситуацию, реализующуюся при вращении систем координат относительно друг друга. В этом случае преобразование координат точки P из одной системы координат в другую имеет вид: $X' = X \cos \alpha + Y \sin \alpha; Y' = Y \cos \alpha - X \sin \alpha$. То есть новая координата X' является суперпозицией X и Y , точно так же и Y' . Таким образом, координаты X и Y однородны. При преобразованиях Лоренца происходит суперпозиция координат и времени, т. е. они однородны. Очень наглядно это видно, если вычислить величину:

$$X'^2 + Y'^2 + Z'^2 - C^2 t'^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 - C^2 t^2. \quad (3.7.2)$$

В этом уравнении три первых члена в каждой из сторон представляют собой в трехмерной геометрии квадрат расстояния между точкой и началом координат (сферу). Он не меняется (остается инвариантом) при вращении. Уравнение (3.7.2) свидетельствует о том, что существует определенная комбинация координат и времени, которая остается инвариантной при преобразованиях Лоренца. Отсюда следует, что наше пространство четырехмерно. Для определения вектора в этом пространстве мы должны использовать четыре координаты, и одной из координат этого пространства является время, которое однородно с другими пространственными координатами и независимо от них.

Понимание физической сущности преобразований Лоренца пришло после того, как Эйнштейн показал, что то, что считалось априори очевидным, таковым не является. А очевид-

ным в преобразованиях Галилея считалось, что время во всех системах координат течет одинаково, т. е. $t = t'$, и если события в одной системе координат происходят одновременно, то и в другой системе они также происходят одновременно. Рассмотрим следующую ситуацию: пусть имеются две системы S и S' , при этом S' связана с космическим кораблем, на котором мы летим и хотим синхронизовать часы, установленные на носу и корме этого корабля. Для этого из центра корабля одновременно в сторону носа и кормы выпустим световые импульсы. Световые импульсы будут двигаться в обоих направлениях с одинаковой скоростью, и достигнут обоих часов одновременно. Таким образом, мы можем синхронизовать часы, расположенные в любой точке системы S' , с часами, расположенными в центре системы. Согласится ли наблюдатель в системе S , что эти часы идут одинаково? Он будет рассуждать так: раз корабль движется, то часы, расположенные на носу корабля во время движения светового импульса, удалялись, а расположенные на корме — приближались, следовательно, световые импульсы достигнут часов неодновременно. Итак, выходит, что когда один космонавт считает, что события в двух местах корабля произошли одновременно (при одном и том же значении t' в его системе координат), то в другой системе координат одинаковым t' отвечают разные значения t .

А. Эйнштейн, следуя мысли, впервые высказанной А. Пуанкаре, предположил, что вид всех физических законов не должен меняться от преобразований Лоренца. Для того чтобы законы Ньютона также не менялись при их преобразованиях из одной системы координат в другую, необходимо было дополнить преобразования Лоренца новым преобразованием массы при таком переходе. Эйнштейн ввел преобразование массы по формуле:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - V^2 / C^2}, \quad (3.7.3)$$

где m_0 — значение массы в системе неподвижного наблюдателя так называемая масса покоя.

Во втором законе Ньютона $\vec{F} = d(m\vec{v})/dt$ полагалось, что масса постоянна. По Эйнштейну, масса зависит от скорости, ее следует вычислять по формуле (3.7.3). Почему же раньше не замечали, что уравнения Ньютона неточны? Да потому, что поправки, вносимые новой записью, чрезвычайно малы. Даже для скорости спутника, которая по земным меркам считается чрезвычайно большой (8 км/с), величина $(V/C)^2 \cong 1/10^9$, что дает для поправки к массе не более одной двухмиллиардной части массы спутника. Таким образом, для большинства явлений, которые мы наблюдаем, вводимые поправки чрезвычайно малы и не влияют на протекание явлений. Однако когда мы начинаем иметь дело с атомами и элементарными частицами, где скорости становятся соизмеримыми со скоростью света, эффекты становятся не только заметными, но и определяющими протекание явлений.

Теория относительности подсказала нам еще кое-что. Может быть, это был чисто технический совет, но он оказался чрезвычайно полезным при изучении других физических законов. Совет состоял в том, что надо обращать внимание на симметрию законов или более определенно искать способы, с помощью которых законы можно преобразовать, сохраняя при этом их форму. Идея изучать операции, при которых основные законы не меняются, оказалась и впрямь очень полезной. Использование принципов инвариантности в настоящее время стало более естественным для получения законов природы, чем вывод принципов инвариантности исходя из законов природы. То есть принцип инвариантности является более фундаментальным, чем отдельные частные законы.

Выводы по разделу 3.7

Анализ необходимости удовлетворению требованию симметрии (т.е. требованию необходимости неизменности вида уравнений при переходе из одной системы координат к любой другой) для уравнений электромагнитного поля привел к выводу, что пространство и время относительны, т.е. расстояние между двумя точками и интервал времени между двумя событиями зависят от системы координат и ее относительной скорости.

Вопросы к разделу 3.7

1. Являются ли однородными величинами пространственные координаты и время, если у них разные единицы измерений?
2. Может ли дочь стать старше матери, если мать примет участие в экспедиции на ракете, движущейся со скоростью, близкой к скорости света?

Выводы по теме

В результате эволюции основных физических представлений было обнаружено, что природа подчиняется небольшому количеству законов, свойства которых, в свою очередь, определяются принципами симметрии.

Вопросы к теме

1. Как логически Галилей доказал, что тела разного веса должны падать с одинаковой скоростью?
2. Что такое относительное и абсолютное пространство?
3. Имеет ли время одно и то же значение в разных системах координат?
4. В каком виде предложил Лоренц записывать преобразование координат при переходе из одной системы координат в другую?
5. Нужна ли какая-либо среда для распространения электромагнитных волн?

Литература основная

1. *Суханов А. Д., Голубева О.Н.* Концепции современного естествознания. Учебник для вузов / Под редакцией А. Ф. Хохлова — М.: Агар, 2000. С. 172–188.

Литература дополнительная

1. *Соколовский Ю.И.* Начала теории относительности. — Новосибирск: Наука, 1967.
2. *Дубровский В.Н., Смородинский Я.А., Сурков Е.Л. и др.* Релятивистский мир. Библиотека «Квант», выпуск 34 — М.: Наука, 1987.
3. Наука и техника — электронная библиотека. Майкельсон и скорость света. — [Электронный ресурс] / авт. Б. Джефф. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/dj/mc.htm> — Загл. с экрана.
4. Наука и техника — электронная библиотека. Приключение великих уравнений. — [Электронный ресурс] / авт. В.П. Карцев. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/kr/pu.htm> — Загл. с экрана.

ТЕМА 4. СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ

Краткое содержание темы

На основе теории атомно-молекулярного строения вещества рассматривается сущность химических превращений, способов описания систем многих частиц (термодинамический и статистический подходы), выявляются следствия асимметрии работы и тепла для Вселенной в целом и конкретных явлений. Показано, что сложная организация органического мира порождается стремлением мира в целом к состоянию с максимальной энтропией. На этой основе проанализированы подходы к решению проблемы существования и возникновения жизни.

Методические указания по изучению темы

Использование атомно-молекулярной гипотезы строения вещества позволило однозначно объяснить наблюдавшиеся закономерности в химических процессах, понять природу тепла и температуры, а также выявило необходимость разработки методов описания систем многих частиц, которые принципиально отличаются от разработанных методов для описания движения объектов в классической механике. При освоении данной темы следует обратить особое внимание на асимптотику динамики поведения систем многих частиц — стремление к максимально вероятному состоянию. Для описания меры вероятности пребывания системы в каком-либо состоянии была введена новая характеристика состояния системы — энтропия. Понятие энтропии достаточно абстрактное понятие (относительно других характеристик систем многих частиц — внутренней энергии, температуры, давления и др.) характеризующих состояние системы, но широко используется в других разделах естествознания и гуманитарных науках, поэтому на освоение его физической сущности следует обратить особое внимание. Освоение физической сущности понятия энтропии облегчит понимание вопросов проблемы процессов самоорганизации материи, которые относительно недавно получили свое обоснованное разрешение, будучи в течение долгого времени водоразделом между материализмом и идеализмом.

План темы

- 4.1. Сущность химических превращений.
- 4.2. Основы термодинамики и статистической физики.
- 4.3. Асимметрия работы и тепла.
- 4.4. Принципы самоорганизации живой материи.
- 4.5. Проблема возникновения жизни.

4.1. Сущность химических превращений

 [Эволюция основных физических представлений. Основные разделы естествознания о природных объектах и явлениях. Квантовая механика]

Немецкий изобретатель Иоган Гутенберг (1397–1468) в середине XIV в. изобрел печатный станок с подвижными литерами, собирая которые в текст, можно было напечатать любую книгу. Первой была напечатана Библия, а затем поэма Лукреция с изложением атомистической гипотезы древнегреческих мыслителей. Многими учеными того времени идеи атомизма были встречены с энтузиазмом. Наступала эпоха великих открытий.

Коперник в 1543 г. опубликовал свою книгу о месте Земли и Солнца в нашей системе, а Андрей Визалия (1514–1564) впервые описал анатомию человека, опираясь на собственные наблюдения, опровергавшие многие представления, восходящие к греко-римским источникам.

В алхимию в противовес ее мистицизму начали внедряться измерения, и она постепенно превратилась в экспериментальную химию. Начали разрабатываться методы получения различных веществ. Открытие в 1643 г. итальянским ученым Торричелли давления воздуха,

а немецким физиком в 1634 г. Отто Фон Герике — веса воздуха существенно увеличило интерес химиков к газам. Ирландский химик Роберт Бойль (1627–1691) обнаружил, что объем данной массы воздуха обратно пропорционален давлению. Это свойство газов можно было уже интерпретировать с точки зрения атомистической гипотезы, объяснив это тем, что воздух состоит из мельчайших частиц, разделенных пустым пространством. Допустив это, можно было допустить и то, что жидкие и твердые вещества также состоят из атомов, но только более плотно упакованных. В химию постепенно входит понятие элемента, т. е. понятие такого простого вещества, которое уже невозможно разложить на более простые. В отличие от представлений древнегреческого мыслителя Фалеса, элемент, по Бойлю, должен определяться экспериментальным, а не умозрительным путем. Тем не менее, могло оказаться, что экспериментальный подход подтвердил бы существование, согласно древнегреческой гипотезе, только четырех элементов: огня, воздуха, воды и земли.

Медленно, но верно накапливался экспериментальный материал о свойствах основных химических элементов. Введенное понятие химического элемента и идея атомного строения вещества позволяли обоснованно интерпретировать процессы, наблюдаемые при химических превращениях. В 1661 г. Р. Бойль в своей книге «Скептический химик» сделал обобщающую атомистическую интерпретацию химических превращений. Он писал о том, что атомы бывают разных сортов: все тела, построенные из одинаковых атомов, являются «простыми телами» (так назывались тогда химические элементы); атомы могут соединяться друг с другом, образуя более сложные вещества, которые могут быть разложены в химических реакциях на исходные «простые тела». Полтора столетия спустя, в 1808 г., Джон Дальтон выпустил книгу «Новая система химической философии», где уже на основании открытых элементов и известных составов многих веществ прямо доказывал атомное строение вещества. Главным доказательством Дальтона являлся открытый им закон кратных отношений. Поскольку было найдено, что элементы соединяются в кратных отношениях, следовательно, соединения различаются по составу на целые атомы. Химическая реакция, по Дальтону, заключается в том, что атомы вступают друг с другом в разные комбинации, образуя сложные соединения. Сами атомы при этом остаются неизменными и вечными. Изложенная «химическая философия» Дальтона стала действительной философией целого ряда поколений химиков и физиков, присоединившихся к решению этой проблемы. Казалось, Дальтон окончательно закрывает мечту алхимиков получить золото. По Дальтону, атомы вечны и неразрушимы. В 1816 г. лондонский врач Уильям Праут обратил внимание на тот факт, что известные к тому времени атомные веса элементов относятся как целые числа, и если вес атома водорода взять за единицу, то можно предположить, что атомы других элементов — это очень сильно сцепленные друг с другом атомы водорода. Почему же распад и соединение никак не наблюдаются в химических реакциях?

«Очень просто,— отвечал Праут,— все дело в том, что когда атомы водорода сцепляются, чтобы образовать новый элемент, они сцепляются намного сильнее, чем когда исходные элементы в химической реакции сцепляются друг с другом».

Однако когда выдающийся химик Берцелиус в 1826 г. опубликовал уточненную таблицу атомных весов всех известных в то время элементов, то по гипотезе Праута был нанесен мощный удар, так как было видно, что не все атомные веса являются целыми (в единицах атома водорода) числами. Тем не менее, очень многие атомные веса весьма близки к целым числам. Все это говорило, что в гипотезе Праута есть какой-то правильный стержень. Для подтверждения гипотезы химикам предстояло еще открыть **изотопы**. В 1869 г. поляком Юлиусом Мейером и россиянином Д. И. Менделеевым независимо друг от друга была предложена естественная классификация элементов. Они предположили, что могут существовать элементы, еще не открытые химиками, а потому необходимо оставить в таблице пропуски, соответствующие им. Идея существования еще не открытых элементов блестяще подтвердилась. Были открыты галлий, скандий, германий, свойства которых совпали с предсказанными, блестяще подтвердив идею составления таблицы. Стало ясно, что периодическая система элементов отражает какое-то глубокое, фундаментальное свойство химических элементов и

что атомы обладают свойствами сродства. Однако суть этого сродства оставалась тайной. Однако и в XIX в. химики и физики получили множество доказательств атомного строения вещества. Представление об атомах давало возможность объяснить целый ряд наблюдаемых явлений. Так, при нагревании тела оно расширяется. При атомистическом подходе это значит, что атомы несколько отошли друг от друга — пустые промежутки между ними увеличились. Если же считать вещество сплошным, то расширение тела при нагревании объяснить не находят. Такое же предположение о строении газа легко объясняло наличие давления газа внутри сосуда как результат непрерывных ударов атомов о стенки сосуда. Легко объяснялась и природа теплоты как суммарной кинетической энергии непрерывно движущихся атомов, скорость которых возрастает при увеличении температуры. В результате усилий физиков, взявших за основу атомную гипотезу строения вещества, были разработаны молекулярно-кинетическая теория и статистическая физика. Оказалось, что системы многих частиц подчиняются своим закономерностям, описать которые, находясь в рамках чисто ньютоновского подхода, невозможно.

Выводы по разделу 4.1

Атомно-молекулярная гипотеза строения вещества позволила дать интерпретацию многих наблюдавшихся явлений и процессов, однако для детального и доказательного объяснения необходимо было, во-первых, измерить их абсолютные размеры и, во-вторых, изучить их строение. Эта задача и была решена в первой половине 20-го столетия.

Вопросы к разделу 4.1

1. Как Уильям Праут объяснял кратность атомных весов химических элементов?
2. Как, с точки зрения атомной гипотезы, объясняется давление газов?
3. Чему равна сила воздействия атмосферы на единицу поверхности Земли?

4.2. Основы термодинамики и статистической физики

[Эволюция основных физических представлений. Механика сплошных сред]

Методами термодинамики и статистической физики изучаются процессы, происходящие в макроскопических системах, т. е. системах, содержащих огромное число одинаковых микрообъектов: атомов, молекул, фотонов, ионов и т. п.

При этом используются два принципиально разных подхода. Статистические методы разрабатываются исходя из модельных представлений о входящих в систему элементах.

Термодинамический же подход — это феноменологический подход, сутью которого является установление связей между непосредственно наблюдаемыми (измеряемыми характеристиками макрообъектов) величинами — такими как давление, объем, температура, концентрация и т. п.

При этом никаких представлений о внутреннем устройстве тел не используется. Термодинамический метод, не будучи связанным с модельными представлениями о внутреннем устройстве тел и сил взаимодействия между его частями, обладает весьма большой общностью и относительной простотой. Однако у этого метода есть и большой недостаток — он не вскрывает внутренних механизмов явлений. В нем бессмысленны вопросы — «почему?». Термодинамика может быть построена на аксиоматической основе подобно математике. В противоположность термодинамическому подходу модельные представления об устройстве исходных частей и их взаимодействии друг с другом являются изначальными в статистических методах, и это определяет их достоинства и недостатки. Недостатком является то, что необходимо уже в самом начале строго определить свойства входящих элементов. К достоинствам же следует отнести вскрытие сущности явлений и возможности решения задач, которые вообще не разрешимы в рамках термодинамического подхода. Оба метода позволили существенно расширить возможности описания наблюдаемых явлений, которые не могли

быть адекватно описаны механикой Ньютона. С методологической точки зрения оба метода, взаимно дополняющие друг друга, исторически развивались параллельно, поэтому не будем их разделять, как это обычно делается в специализированных курсах. Сначала рассмотрим, как атомная теория строения вещества позволяет дать обоснование некоторых макроскопических его параметров. Например, температуры и давления. Понятие температуры до принятия атомного строения вещества не находило своего адекватного истолкования. Долгое время господствовала теория теплорода, приписывающая теплу свойства жидкости, перетекающей из более горячего тела к более холодному. Теплород был сродни флогистону — гипотетической субстанции, связанной с огнем. Теплород на первых порах, казалось, хорошо объяснял тепловые процессы. Однако эта идея не выдержала экспериментальной проверки. Для понимания сущности статистического подхода рассмотрим некоторый объем газа, содержащий достаточно большое количество молекул N . Для каждой из частиц можно записать уравнение движения в виде:

$$m_i d\vec{v}_i/dt = \sum \vec{F}_{ik},$$

где \vec{F}_{ik} — сила взаимодействия i -й и k -й молекул.

Ввиду огромного количества молекул решение этой задачи чрезвычайно затруднено, тем более что задать начальные значения параметров практически невозможно. Но даже если бы мы разрешили все технические трудности, то это бы нам ничего не дало, так как нас, в конце концов, интересуют измеряемые параметры макросистемы, а мы бы получили новое положение частиц и их скоростей через определенный промежуток времени. В силу неразличимости исходных элементов (молекул, например) новое их расположение для нас бы было эквивалентно старому. Решим задачу несколько по-другому. Пусть мы имеем множество частиц N , имеющих скорости \vec{v}_i тогда для их средней кинетической энергии можем записать:

$$\bar{E}_k = 1/N \sum_{i=1}^N m_i v_i^2 / 2, \quad (4.2.1)$$

если массы частиц одинаковы, массу частицы можно вынести из-под знака суммы: $m/2N \sum_{i=1}^N v_i^2 = m\bar{v}^2/2$. Так как исходная наша посылка состоит в том, что температура является

проявлением движения частиц, то можем записать: $T \approx \bar{E}_k$. При этом принято T связывать с $2/3$ величины \bar{E}_k , т. е. $T \sim 2/3 \bar{E}_k$. Для того чтобы связать общепринятые измерения температуры — градусы с микроскопической энергией частиц, необходимо ввести коэффициент пропорциональности, показывающий, сколько энергии приходится на один градус. Этот коэффициент называется постоянной Больцмана, равен: $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К и показывает, сколько приходится джоулей энергии на один градус Кельвина.

В результате имеем: $k_B T = m\bar{v}^2/3$, или $\bar{E}_k = 3 k_B T/2$.

Итак, если два тела имеют одинаковую температуру, то среднекинетические энергии молекул этих тел равны. Величина константы Больцмана определяется только историческим выбором системы отсчета температурной шкалы и ее масштабом. Абсолютная шкала, или шкала Кельвина,— это шкала, в которой за нуль принята температура $-273,15^\circ$ в шкале Цельсия. Из выражения для \bar{E}_k видно, что при $T = 0$ движение частиц прекращается. Это значение температуры имеет название абсолютного нуля. Аналогично, исходя из гипотезы о молекулярном строении вещества, определим давление газа на стенку ящика. Пусть в прямоугольном ящике с идеально отражающими стенками находится N молекул идеального газа. При идеальном отражении после удара о стенку перпендикулярная компонента скорости молекулы меняет свой знак: $v_x = -v_x$. При ударе молекула передает стенке импульс, равный $\Delta p_x = 2m v_x$. Долетев до противоположной стороны ящика, молекула отскочит и вновь ударит о первую стенку. Время между ударами равно $\Delta t = 2L/v_x$, где L — расстояние между стенками. Число ударов в 1 с бу-

дет равно $n = 1/\Delta t = v_x/2L$, и импульс, сообщенный стенке, равен $n\Delta p_x = 2m(v_x/2L)v_x = mv_x^2/L$. Как мы знаем, импульс равен силе, помноженной на время. Отсюда получаем:

$$F_{ix} = m v_{ix}^2/L.$$

Для всех частиц имеем:

$$F_x = \sum_{i=1}^N F_{ix} = \sum_{i=1}^N m v_{ix}^2/L = mN/L \sum_{i=1}^N v_{ix}^2/N$$

и поэтому можем записать:

$$F_x = mN \overline{v_x^2}/L.$$

Для получения давления на стенку разделим силу на площадь стенки и получим:

$$P = F_x/s = N m \overline{v_x^2}/Ls,$$

а так как $Ls = V$ — объем ящика, то имеем:

$$P = N m \overline{v_x^2}/V.$$

Исходя из того, что $v_x^2 = v_{ix}^2 + v_{iy}^2 + v_{iz}^2$ то, усредняя по всем частицам, имеем: $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \overline{v^2}$, следовательно, $\overline{v_x^2} = \overline{v^2}/3$, поэтому получаем: $PV = mN \overline{v^2}/3$, и окончательно: $PV = 2N \overline{E_k}/3$. Поскольку $\overline{E_k}$ была связана нами ранее с температурой, то окончательно имеем $PV = N k_B T$. Так как никаких предположений о свойствах молекул не делалось, то отсюда следует, что при одинаковых давлениях и температурах разные газы, занимающие одинаковые объемы, содержат одинаковое количество молекул.

В химии принято за единицу вещества брать один моль. Один моль — это количество вещества в граммах, численно равное его молекулярному весу.

Исходя из этого определения, получаем, что в одном моле любого вещества содержится одинаковое количество молекул. Это число называется числом Авогадро и равно $6 \cdot 10^{23}$. Число молекул в объеме газа можно записать в виде: $N = \nu N_A$, где ν — количество молей.

Поэтому можем записать: $PV = \nu RT$, где $R = k_B N_A$ — газовая постоянная, численно равная работе, совершаемой одним молем газа при его нагревании на один градус Кельвина при постоянном давлении. Это уравнение называется уравнением состояния идеального газа.

Как видно, кинетический подход позволяет с помощью достаточно простых рассуждений получить соотношение между макропараметрами системы частиц. Довольно быстро были получены соотношения и для внутренних характеристик частиц системы — распределение по скоростям и их усредненным величинам. Основным выводом из полученных результатов явилось то, что, подчиняясь в каждом конкретном акте взаимодействия законам Ньютона, в целом поведение частиц в ансамбле становится неинвариантным относительно замены t на $-t$. В механике Ньютона система как бы «помнит» свои начальные условия, т. е. если мы заменим в уравнениях t на $-t$, то система из любого состояния вернется в исходное. В газе все происходит по-другому. Каким бы ни было начальное распределение скоростей в нем, оно неминуемо превращается в одно и то же распределение скоростей в соответствии с формулой Максвелла:

$$dN_v = N(m/2\pi k_B T)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} dv_x dv_y dv_z.$$

Система как бы «забывает» свою историю, и из рассмотрения распределения ничего нельзя узнать о ее начальном состоянии. Когда чайник остывает, нагревая воздух в комнате, никаким способом в дальнейшем нельзя определить форму этого чайника, потому что такое же распределение получится при нескольких чайниках с меньшей температурой. Это совсем не похоже на случай с электромагнитной волной, которая несет нам информацию о далекой звезде, расположенной на расстоянии от нас в несколько миллиардов световых лет.

Таким образом, в системах многих частиц появляется необратимость времени, или, как говорят, «стрела времени». Как следствие этой необратимости — не все термодинамические величины имеют свои аналоги в классической механике. Одним из таких параметров является энтропия, которая была открыта чисто теоретическим способом. Рассмотрение принципиальных основ термодинамики обычно проводится через анализ цикла Карно, который пер-

вым изучил тепловые процессы в тепловой машине и в 1824 г. опубликовал книгу «Размышления о движущей силе огня и машинах, способных развивать эту силу». Но она не привлекла внимания, потому что в это время не был еще открыт закон сохранения энергии.

Во всех наблюдаемых явлениях энергия, а в то время она имела название «движущая сила», казалось, исчезает. Осознание того, что она не исчезает бесследно, а переходит в другие формы, и в частности в теплоту, сразу же поставило все на свои места. Первый, кто сформулировал положение об эквивалентности тепла и работы, был Клазиус (1850). Он высказал простую на первый взгляд мысль: «Всякое тело имеет внутреннюю энергию, которую можно увеличить двумя путями — подводя к телу тепло и производя над телом работу». Например, газ в определенном объеме можно нагреть или сжать либо одновременно проделать и то, и другое. При этом в зависимости от того, как и в какой последовательности мы это сделаем, внутренняя энергия газа будет различна. Смысл утверждения Клазиуса сводится к следующему:

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

где ΔU — приращение внутренней энергии тела, ΔQ — подводимое тепло и ΔA — совершаемая телом или над телом работа.

При совершении газом работы ΔA должна быть взята со знаком «минус», так как внутренняя энергия газа тратится на совершение им работы. Из этой формулы видно, что по конечному состоянию системы нельзя определить, за счет чего система увеличила или уменьшила свою внутреннюю энергию: за счет притока тепла или за счет совершенной им самим или над ним работы. К состоянию с одной и той же энергией U можно прийти разными путями: варьируя количество тепла и количество совершаемой работы, оставляя одинаковым только их сумму. Заслуга Карно состоит в том, что он, во-первых, сообразил, что изменение внутренней энергии при разных температурах происходит по-разному, во-вторых, рассмотрел обратимый процесс, что позволило исключить из рассмотрения свойства рабочего газа, так как система после полного цикла возвращается в исходное состояние. В результате сложных рассуждений им было получено, что коэффициент полезного действия (КПД) теплового процесса равен:

$$\mu = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = (T_1 - T_2) / T_1,$$

где Q_1 — подведенное тепло, а Q_2 — отданное холодильнику тепло при T_2 .

То есть КПД зависит только от соотношения T_2 к T_1 , и чем ниже температура холодильника, тем выше КПД. При абсолютном нуле температуры холодильника КПД обратимого процесса равен 1. В реальных случаях строго обратимых процессов из-за трения и потерь тепла не существует, поэтому реальный КПД всегда меньше 1. Из полученного выражения для КПД следует, что $|Q_1| : |Q_2| = T_1 : T_2$, или $Q_1/T_1 = -Q_2/T_2$, где знак «минус» свидетельствует, что тепло отнимается от рабочего тела. Отсюда:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0.$$

Величина Q_1/T_1 равна отнятой от нагревателя, а Q_2/T_2 — отданной холодильнику. Клазиус констатировал, что существует величина S , которая, подобно энергии, давлению и температуре, характеризует состояние газа, ее приращение равно: $\Delta S = \Delta Q/T$, это приращение он назвал энтропией. Эта сохраняющаяся величина в обратимом процессе оказалась совсем новой величиной, о существовании которой ранее не подозревали. В реальных процессах она не сохраняется и всегда только увеличивается. То есть не всю подведенную теплоту в реальном процессе можно превратить в работу. Казалось, что найденные соотношения в статистической физике и термодинамике установили окончательно мост между механикой Ньютона и тепловыми процессами. Трудность, однако, заключалась в том, что для энтропии не было аналога в классической физике. Объяснение физической сущности энтропии дал Больцман в 1872 г. Соотношение, открытое Больцманом, имеет чрезвычайно простой вид:

$$S = k \ln w,$$

где w — вероятность состояния системы, а k — введенная позднее Планком так называемая константа Больцмана.

Это великая формула, и Больцман, признанный создатель статистической физики, навсегда вошел в историю науки, а найденное им соотношение легло в фундамент физики. Для того чтобы понять физическую сущность формулы Больцмана, рассмотрим изотермическое расширение идеального газа. При изотермическом расширении газ для поддержания своей температуры должен забирать тепло от источника тепла. При этом расширяющийся газ совершит работу:

$$A = \int_{v_1}^{v_2} p(v) dv.$$

Используя уравнение состояния идеального газа $Pv = Nk_B T$, получим:

$$A = Nk_B T \int_{v_1}^{v_2} dv/v = Nk_B T \ln(v_2/v_1).$$

Эта работа равна теплоте Q , отбираемой от источника тепла. Следовательно:

$$Q = Nk_B T \ln(v_2/v_1).$$

Исходя из того, что $\Delta S = \Delta Q/T$, получаем: $\Delta S = Nk_B \ln(v_2/v_1)$.

Выделим в объеме V_0 небольшой объем V_1 . Так как атомы в объеме движутся беспорядочно, то с течением времени выделенный какой-либо атом (назовем его 1) побывает в объеме V_1 . При этом вероятность найти атом 1 в объеме V_1 равна отношению V_1/V_0 . Для любого другого атома 2 вероятность его нахождения в объеме V_1 равна также V_1/V_0 . Вероятность обнаружить оба выделенных атома в объеме V_1 равна произведению этих вероятностей: $w = (V_1/V_0)^2$. Продолжая так же рассуждать, мы найдем, что вероятность найти все атомы в объеме V_1 равна: $w = (V_1/V_0)^N$, где N — число Авогадро, а так как оно чрезвычайно велико, то и w чрезвычайно мала, поэтому никогда не бывает так, чтобы газ собрался в небольшом объеме, очистив остальную часть объема V_0 . Сравнивая выражения ΔS для изотермического процесса с выражением вероятности, видим, что $\Delta S = k_B \ln w$, а это и есть формула Больцмана для идеального газа при постоянной температуре.

В реальных процессах энтропия всегда растет и, в конце концов, достигает своего термодинамического равновесия, т. е. полностью устраняется разность температур. Выведенные формулы позволили сформулировать три основных постулата термодинамики.

Первое начало термодинамики — это закон сохранения энергии для тепловых процессов. Он включает в себя принцип эквивалентности тепла и механической работы (и этим отличается от закона сохранения в механике) и формулируется так: изменение внутренней энергии системы равно сумме подведенного к ней тепла и совершаемой над ней работы.

Второе начало термодинамики связано с законом возрастания энтропии: энтропия замкнутой системы не может уменьшаться, и достигает своего максимума при полной термализации системы в целом. Этот закон гласит о том, что не существует такого процесса, единственным результатом которого было бы одновременное охлаждение одного тела и совершение работы, или нельзя превратить тепло в работу целиком. Доля тепла, превращенного в работу, не может превышать значения функции Карно.

Нерстом сформулировано и **третье начало**: никаким конечным числом операций нельзя охладить тело до температуры, равной абсолютному нулю. Квантово-механическое рассмотрение показало, что принцип возрастания энтропии — это свойство нашего микромира, которое не может быть сведено к другим более простым законам, поэтому-то и не находится аналога энтропии в классической механике. Всюду и всегда энтропия растет, задавая «стрелу времени».

Выводы по разделу 4.2

Статистическая модель газа в виде маленьких шариков, упруго взаимодействующих при ударе, как между собой, так и с окружающими объем газа стенками, позволила дать интерпретацию макроскопическим, измеряемым параметрам — температуре и давлению. Однако эта модель не позволяла объяснить поведения ансамбля многих частиц, стремящемуся

всегда к полученному Максвеллом распределению частиц по скоростям, если в каждом конкретном акте столкновения частиц между собой и ограничивающими стенками их движение подчиняется законам Ньютона. Объяснение этому эффекту было дано позднее в квантовой механике, где было доказано, что исходная модель газа в виде упругих шариков не верна. Тем не менее, эта модель позволила понять основные закономерности при преобразовании тепла в работу и наоборот, а также обнаружить новый, ранее неизвестный параметр, характеризующий состояние системы, равный отношению количества подведенного тепла к температуре, который в закрытой системе всегда только растет.

Вопросы к разделу 4.2

1. Объясните, в чем заключается отличие термодинамического и статистического методов описания ансамблей систем многих частиц.
2. Можно ли по конечному состоянию системы определить за счет чего система увеличила или уменьшила свою внутреннюю энергию — за счет притока тепла извне или за счет совершения ею или над ней работы?

4.3. Асимметрия работы и тепла

Обратим внимание на важную роль холодильника. В отсутствие холодильника работа, совершенная двигателем, равнялась бы нулю. Таким образом, нам приходится «платить» за полезную работу, полученную путем отбора теплоты от нагревателя, и цена этого как раз равна той части теплоты, которую мы отдаем холодильнику. В этом состоит суть второго начала (или закона) термодинамики. То есть природе присуща асимметрия: работа в тепло может быть преобразована полностью, а вот тепло в работу можно преобразовать только с коэффициентом меньше единицы. Значение этого коэффициента зависит как от абсолютного значения температуры рабочего тела, определяемого нагревателем, так и от температуры холодильника. Чем меньше температура холодильника и больше температура рабочего тела, тем меньше проявление асимметрии. Ранее считалось, что во Вселенной, получившей при своем возникновении определенное значение энергии, происходят только процессы преобразования одного вида энергии в другой. При этом, согласно закону сохранения, ее количество остается постоянным. Согласно теории большого взрыва, полная энергия Вселенной, действительно, постоянна, но равна при этом нулю! Положительная часть энергии Вселенной, представленная в основном энергией, эквивалентной массе существующих во Вселенной частиц, может быть в точности скомпенсирована отрицательной частью энергии, обусловленной гравитационным потенциалом поля притяжения. Таким образом, все наблюдаемые во Вселенной процессы являются результатом преобразования изначально образовавшихся форм энергии друг в друга. Отсутствие симметрии приводит к тому, что «качество» энергии понижается. В процессе преобразования неупорядоченного движения в упорядоченное, происходит ли это в тепловом двигателе, химическом реакторе или в живом организме, есть неизбежная потеря ее «качества». Человечеству грозит не энергетический, а «энтропийный» кризис. Дело не в том, что энергии мало (ее количество строго контролируется законом сохранения энергии), а в том, что качество энергии понижается. Именно этот фактор оказывается решающим при использовании солнечной энергии, накопленной в различных видах ископаемого горючего, или энергии радиоактивных веществ, образовавшихся в результате термоядерных реакций в недрах звезд, или в исходных элементах для термоядерных реакций — дейтерия и трития, образовавшихся во время рождения Вселенной. Природа не облагает «налогом» преобразование работы в теплоту (например, за счет трения мы можем полностью превратить работу в теплоту), а вот для получения работы из теплоты мы часть теплоты должны бесполезно отдать холодильнику, т. е. понизить ее «качество». С понижением температуры рабочего тела коэффициент ее преобразования в работу уменьшается.

Энтропия является показателем существующей асимметрии, следовательно, энтропия — это мера беспорядка или хаоса в системе.

Выводы по разделу 4.3

Рассмотрение процессов превращения тепла в работу и работы в теплоту выявило принципиальную асимметрию этих процессов — работа может быть полностью превращена в тепло, а вот при обратном процессе мы часть тепла должны отдать холодильнику, т.е. понизить ее «качество». Это свойство деградации энергии является принципиальным для нашего мира.

Вопросы к разделу 4.3

1. Чему равно значение полной энергии во Вселенной по теории Большого взрыва?
2. Вселенной грозит энергетический или энтропийный кризис?

4.4. Принципы самоорганизации живой материи

Каким же образом происходит повсеместно наблюдаемое усложнение и самоорганизация? Детальное изучение различных физических и химических процессов показало, что противоестественное может возникать в ходе естественных процессов. Оказалось, что глобальное стремление систем к хаосу может инициировать локальное уменьшение хаоса, которое приводит к появлению определенных структур. Однако их появление сопровождается соответствующим увеличением хаоса где-либо в другом месте. То есть хаос может порождать порядок! Приведем простую механическую аналогию таких процессов. Два груза, не связанные между собой, стремятся упасть вниз (см. рис. 3). Однако если их соединить нерастяжимой нитью, то более легкий начнет двигаться вверх, и если бы мы не видели конкретного механизма их связи, то движение малого груза для нас бы казалось противоестественным.

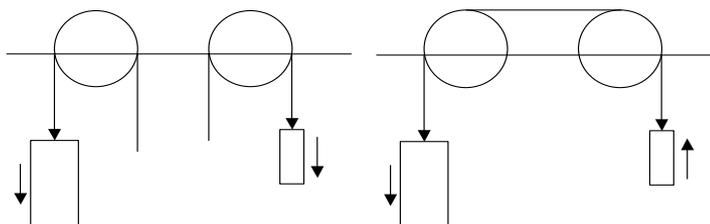


Рис. 3

Охлаждение продуктов в домашнем холодильнике — это тоже пример кажущегося противоестественного процесса. Действительно, из опыта мы знаем, что все тела со временем приобретают температуру окружающей среды. Это естественный процесс повышения хаоса. До того, как тело охладилось, мы можем получить работу, используя окружающий тепло воздух в качестве холодильника. После уравнивания температур тела и воздуха в комнате мы никаким образом извлечем энергию (не используя разность температур в комнате и за окном) не сможем. Однако охлаждение продуктов в холодильнике не противоречит второму закону термодинамики, так как он запрещает самопроизвольный переход теплоты от холодного тела к горячему, если он не сопровождается другими изменениями где-либо во Вселенной. Как идет процесс в холодильнике? В соответствии с законом $PV = RT$ теплоноситель, расширяясь, охлаждается. Камерой расширения служат трубки, окружающие морозильную камеру. За счет теплопроводности температура в морозильнике уменьшается. Затем газ поршня компрессора начинает сжиматься, его температура растет, но в это время он проталкивается в трубки теплообменника, которые расположены вне холодильника. Так как стенки теплообменника соприкасаются с воздухом комнаты, то часть тепла отдается ему. Таким образом, мы осуществляем «противоестественный» процесс. Одновременно где-то должен происходить другой процесс, неразрывно связанный с этим, в ходе которого возникает, по крайней мере, такое же количество энтропии, чем и компенсируется ее уменьшение. Таким процессом в нашем случае является сгорание топлива на электростанции, которая питает наш холо-

дильник. Так как КПД процессов всегда меньше единицы, то в целом энтропии (т. е. беспорядка) всегда образуется больше, чем порядка. Локальное уменьшение беспорядка в нашей комнате (возникновение структуры — разности температур) сопровождается соответствующим увеличением хаоса (нагревом холодильника теплоэлектростанции) в другом месте.

Оказывается, что сложные и тонкие структуры, характерные для явлений жизни, также могут возникать только при условии, что какая-либо другая часть окружающей среды возвращается при этом в «компенсирующий» хаос. Именно в этом открывается истинная роль хаоса. Он перестает быть орудием слепого и бесцельного рассеяния энергии, проявляя себя как созидательное начало, обуславливающее зарождение даже самого человеческого сознания. Рассмотрим на конкретных примерах, как это реализуется на молекулярном уровне. Рассмотрим вначале вопрос: почему капля масла не растекается по воде и не растворяется в ней, как это происходит с каплей чернил? Какой процесс при этом вступает в силу, препятствуя естественному стремлению вещества и энергии к рассеиванию? Оказывается, что ограничением в данном случае служит именно тенденция к увеличению хаоса! Только стремление к хаосу «решает», какой процесс должен происходить, и кажущееся отсутствие рассеяния в данном случае является его замаскированным проявлением. Кажется очевидным, что рассеяние молекул масла в воде соответствует большему рассеянию частиц и тем самым увеличению энтропии, поскольку мир становится более хаотичным и беспорядочным, чем когда капля не растекается. Детальное рассмотрение показывает, что при попадании молекулы масла в среду молекул воды образуется своеобразная «ловушка», имеющая структуру. Возникновение подобных структур привело бы к тому, что смесь воды с растворенным маслом стала бы иметь более высокую степень организации, чем исходная система, а это запрещает второй закон термодинамики для закрытых систем. Увеличение порядка в данном случае превосходит увеличение беспорядка за счет рассеяния частиц масла по всему объему воды. Таким образом, направлением естественного изменения системы является переход от отдельных диспергированных молекул масла к капле. Растворение же капли масла является противоестественным процессом, чтобы он произошел, необходимо совершить работу путем взбивания или размешивания. Явление кажущегося преодоления хаоса при собирании масла в каплю называется гидрофобным эффектом. Аналогичное явление имеет место с белками, определяющими процессы в живой материи. Но об этом чуть позже. Сначала рассмотрим механизмы «противоестественных» химических реакций. Для того чтобы протекала эндотермическая реакция, т. е. неспонтанно идущая реакция, необходимо к реактору подвести тепло. Значит, где-то в другом месте (для получения электрической энергии) или рядом необходимо, чтобы шла самопроизвольная (экзотермическая) реакция химических реагентов. То есть во всех случаях одна реакция «питается» энергией другой. При этом энтропия мира в целом растет, несмотря на то, что энтропия в эндотермической реакции уменьшается. Наиболее интересный случай возникает, когда реагенты обеих реакций находятся в непосредственном контакте, что имеет место, например, в клетке живого организма. Для рассмотрения термодинамики химических реакций Д. У. Гиббс (1839–1903) ввел понятие *свободной энергии*, которое позволяет определить «движущую энергию» химической реакции. Она позволяет определить: способна ли данная реакция (например, синтез белка) идти за счет другой (например, переваривания пищи). Так же как не всякий большой груз поднимет меньший (в механическом аналоге), так как ему необходимо еще преодолеть трение в блоках, так и в химической реакции часть тепла будет безвозвратно рассеяна в окружающей среде. То есть не вся энергия, выделившаяся в ходе химической реакции, доступна для совершения полезной работы. Поэтому естественно поставить вопрос: каково минимальное количество энергии, которое может «утечь» в окружающее пространство в виде теплоты, чтобы произведенное количество энергии позволило реакции протекать спонтанно? Допустим, что в результате реакции энтропия системы понизилась на некоторую величину. Для того чтобы реакция могла идти самопроизвольно, по крайней мере, такое же количество энтропии должно быть произведено в окружающей систему среде. Это количество задается выражением: количество сообщенной теплоты / температура = ΔS .

Следовательно, минимальное количество энергии, которое должно быть сообщено окружающей среде при экзотермической реакции, равно: минимальное количество отданной теплоты = $\Delta S \cdot T$.

Если мы отнимем это количество отданной теплоты в окружающую среду от полной энергии, высвобождающейся в реакции, то получим количество энергии, которое мы можем использовать для совершения работы.

Эта энергия получила название свободной энергии Гиббса: свободная энергия = полная энергия $-\Delta S \cdot T$.

Возможны варианты, когда энтропия окружающей среды уменьшается, но за счет большего ее увеличения в системе. Если свободная энергия в ходе реакции убывает, то реакция, идущая в этом направлении, является самопроизвольной. То есть единственный закон спонтанного изменения системы состоит в том, что Вселенная при этом стремится повысить свою энтропию. Часть свободной энергии может вызвать другую (самосопряженную с первой) реакцию, происходящую в «противоестественном» направлении, в полной аналогии с поведением системы двух грузов, как на рис. 3.

Здесь и спрятан ключ к пониманию явления биосинтеза. В клетках живых организмов многие реакции связаны друг с другом. Некоторые реакции идут как бы в противоестественном направлении. Однако такие реакции идут в требуемом направлении за счет других реакций с большим отрицательным по величине изменением свободной энергии. То есть одни реакции играют роль тяжелых грузов, а другие — легких. Вещества с высокой свободной энергией мы получаем с пищей. Питательные вещества в химических реакциях организма опускаются вниз по шкале свободной энергии и в конечном итоге выделяются из организма в виде экскрементов. Другие реакции, используя выделяющуюся при этом энергию, осуществляют процессы, поддерживающие его организацию.

Таким образом, живые организмы являются открытыми системами, потребляющими энергию внешней среды. Жизнь в конечном итоге сводится к процессам постоянного производства энтропии, т. е. хаоса, в окружающей среде и созданию порядка в небольшом ее объеме.

Живые организмы состоят из небольших органических молекул, называемых мономерами, объединенных в более крупные структуры (полимеры), называемые макромолекулами. Организм строит свои макромолекулы, соединяя в определенной последовательности мономеры. Процесс обратим: полимеры могут быть разрушены до мономеров. Именно это и происходит в желудочно-кишечном тракте, где макромолекулы пищи разрушаются до мономеров, которые затем всасываются в кровь и используются в клетках для образования новых макромолекул, свойственных данному организму.

Все живые организмы содержат четыре главных класса органических соединений: углеводы, липиды, белки и нуклеиновые кислоты. Соединения каждого класса построены из своих особых мономеров. Белки выполняют в организме больше функций, чем остальные макромолекулы. Они входят в состав ферментов, гормонов, сократительных белков, структурных белков и т. д. Изучение белков показало, что они имеют сложную организацию.

Первичная структура белка определяется последовательностью содержащихся в нем мономерных блоков — аминокислот — небольших органических молекул, каждая из которых содержит группы атомов углерода, кислорода и азота и отличается лишь их числом.

Атом углерода в аминокислотах связан с азотом и группой COOH. В природе существует двадцать разновидностей аминокислот, которые могут соединяться друг с другом в любой комбинации, так что число возможных видов макромолекул белка практически неограниченно, что и дает такое большое разнообразие живых организмов. Двенадцать этих аминокислот вырабатывается в организме человека, а остальные восемь должны поступать в него с пищей и потому называются незаменимыми.

Последовательность мономеров называется пептидной цепочкой. Она свернута в так называемую альфа-спираль, образуя **вторичную структуру**. В свою очередь, альфа-спираль скручивается в клубок, образуя **третичную структуру** (или глобулу). Совокупность глобул

некоторых белков может образовать *четвертичную структуру*. Оказывается, что за невероятной сложностью на первый взгляд скрывается стремление природы к хаосу, которое и приводит к сложным конфигурациям аминокислот в цепочках белков, являющихся основой жизни на планете.

Почему макромолекулы белка имеют спиральную структуру? При детальном анализе оказывается, что альфа-спираль более выгодна с энергетической точки зрения, чем случайное расположение элементов цепочек. При упорядоченности спиральной конфигурации пептидных связей молекула белка сама по себе менее хаотична, однако при образовании спирали мир в целом становится более хаотичным, так как при формировании водородных связей именно с такой конфигурацией расположения мономеров происходит максимальное выделение энергии в окружающую среду. При этом энтропия системы, включающая в себя окружающую среду, в целом становится больше. Конкуренция этих процессов решается в пользу рассеяния энергии, так как общее повышение хаоса в мире в этом случае становится больше, чем в неупорядоченной структуре цепочки мономеров. Аналогичная ситуация и с образованием третичной структуры. Она является следствием взаимодействия, как между различными частями цепочки, так и их взаимодействия с молекулами воды, реализуется ранее рассмотренный гидрофобный эффект: более маслоподобные части молекул прячутся внутри, а менее маслоподобные (более водоподобные) части молекул обращены к воде. В этом случае в целом образуется меньше порядка, но этот «беспорядок» имеет сложную структуру, которая является характеристикой конкретного белка. Если мы растянем молекулу конкретного белка (т. е. совершим работу) в воде, то, опустив ее, получим ту же самую исходную структуру, но при этом выделится тепло в количестве, эквивалентном произведенной нами работы. Прюделав то же без воды, мы получим другую структуру, определяемую только внутренними связями. Четыре белковые нити-глобулы гемоглобина, каждая из которых со своей характерной третичной структурой, объединяются вместе таким образом, что гидрофобные части каждой нити как бы укрывают друг друга. Они группируются вместе совершенно так же, как сливаются капельки масла, так что молекулы воды уже не могут образовать свои «ловушки». То есть стремление природы к хаосу прижимает белковые нити друг к другу таким образом, что повышается степень беспорядка в окружающей среде, но возникает стабильная четвертичная структура, а мы получаем вещество, способное в соответствующих условиях захватывать и отдавать кислород, т. е. жить.

Известная спираль ДНК образуется по той же самой схеме: мономер аденина располагается всегда напротив мономера тимина, а гуанин — напротив цитозина, потому что именно в этих реакциях выделяется максимум энергии. Последовательность мономеров может быть любой, так как структурные группы фосфорной кислоты, расположенные с разных их сторон, имеют совершенно идентичные связи с водой. То есть в очередной раз мы видим проявление энтропии.

Выводы по разделу 4.4

При анализе всех природных процессов выявлена закономерность, что при глобальном стремлении систем к деградации (понижение общего порядка) могут реализовываться режимы, приводящие к локальному увеличению порядка. Такое локальное увеличение порядка получило название самоорганизации. Т.е. в этом случае в локальной области энтропия уменьшается, но в целом в более широкой области она растет.

Вопросы к разделу 4.4

1. Всегда ли увеличение хаоса в системе порождает порядок в какой-либо ее локальной области?
2. За счет чего поддерживается организация живых организмов?

4.5. Проблема возникновения жизни

[Строение материи. Проблема возникновения жизни]

Энергетическое безразличие в последовательности мономерных групп порождает основной вопрос о возникновении жизни, так как с помощью комбинаций их последовательностей в организме записана вся программа производства всех видов макромолекул, которые вступают в реакции и выполняются в соответствии с вышеописанными правилами. В чем, собственно, проблема? Дело в том, что макромолекулы содержат огромное количество аминокислотных остатков. Так, одна из простейших белковых молекул — цитохром С, транспортирующая в клетке электроны, состоит примерно из ста мономеров. Сколько различных последовательностей могут иметь белковые молекулы такой длины? Для каждого из ста положений в полипептидной цепи имеется двадцать возможностей. Следовательно: $N = 20 \cdot 20 \cdot 20 \cdot \dots \cdot 20 = 20^{100} \approx 10^{130}$. Продолжительность состояния Вселенной, в котором могли разыгрываться реакции органической химии, порядка 10^{17} с. Если взять время на разрыв одной полипептидной связи равным 10^{-3} с, то и в этом случае природа могла испробовать только ничтожную долю из возможных последовательностей. Молекула ДНК клетки кишечной бактерии состоит из $4 \cdot 10^6$ элементов. То есть число альтернативных последовательностей равно $\approx 10^{1000000}$. Это говорит об уникальности наблюдаемых последовательностей и производимых ими структур. Но природе за весь период существования Вселенной не хватило бы времени, чтобы простым перебором попробовать все возможные комбинации и отобрать лучшие. Так, узнавание комплиментарных структур нуклеиновых кислот происходит за время порядка 10^{-6} с. То есть в живом организме макромолекулы работают «как можно быстрее» и «настолько точно, как это нужно». Это, собственно, и является основным возражением противников эволюционного возникновения жизни. Следовательно, по их мнению, этот сложный живой мир был создан Творцом, а далее все происходило и происходит согласно открытым законам. В этом суть основного положения теологической гипотезы возникновения жизни, т. е. сотворения жизни Богом. Окончательно разработанной эволюционной теории возникновения жизни в настоящее время не создано. Однако разработанная М. Эйгеном теория самоорганизации предбиологических макромолекул, за которую он получил Нобелевскую премию, основанная на открытых им гиперциклах, позволила существенно продвинуться в понимании возможных вариантов самоорганизации на уровне биологических макромолекул. Суть теории сводится к тому, что если на каждом шаге учитывается ценность полученного качества или существуют некоторые правила отбора случайных изменений в системе, то количество требующихся переборов для оптимизации и достижения определенной цели существенно сокращается.

В 60-х гг. двадцатого столетия в различных областях естествознания были открыты структуры, показавшие возможность возникновения сложных структур в неживой природе. Одной из первых открытых структур подобного типа была ячеистая структура, образующаяся в жидкости между двух пластин, нижняя из которых нагрета сильнее, чем верхняя. Если разность температур мала, движение частиц имеет хаотический характер, перенос тепла идет за счет обычного механизма теплопроводности. При достижении определенных температур возникает неустойчивость Бенара (первый наблюдавший ее), в жидкости образуется ячеистая структура. Структура сохраняется при достаточном подводе тепла, когда он прекращается, структура сразу распадается. При возникновении такой структуры скорость производства энтропии существенно возрастает, поскольку энергия рассеивается быстрее. Подобные структуры были открыты и в химии. Образование структур в химических системах обусловлено автокатализом (присутствие продукта увеличивает скорость его собственного образования), что приводит к периодическим изменениям концентраций реагирующих веществ, при этом изменения могут происходить как во времени, так и в пространстве. При изменении во времени одно вещество периодически сменяется другим, потом вновь восстанавливается. При пространственных перемещениях вещества в сосуде, где идет реакция, они разделяются. Первой из таких реакций была открыта Белоусовым и Жаботинским реакция в смеси сульфата цезия малоновой кислоты и бромата калия, растворенного в серной кислоте. В сосуде на-

блюдаются сложные спиральные структуры, которые то появляются, то исчезают с периодичностью, обуславливаемой параметрами организации процесса (скорость поступления веществ, температура, давление и т. д.). То, что подобные структуры заведомо сыграли свою роль на первом этапе самоорганизации биологических структур, подтверждается тем, что и в настоящее время они продолжают действовать. Так, оказалось, что частота биения сердца определяется и поддерживается целым комплексом осциллирующих химических реакций. К реакциям, обладающим периодичностью в пространстве, относятся и реакции в клетках. Возникновение полосатой окраски — также следствие подобных реакций. Полосатая стратификация геологических структур — каменная «летопись» подобных процессов в неживой природе. Детальной картины всего комплекса процессов перекачки энтропии из структур неживой природы в предбиологические структуры пока не создано. Тем не менее, ясно, что резонансное совпадение временных характеристик определенных цепочек реакций с частотами колебаний процессов, возникавших в неживой природе, могло обеспечивать эффективный процесс перекачки энергии из одной структуры в другую. Таким образом, исходный «бульон» имел и механизмы пространственного и функционального дифференцирования, и механизмы подпитки энергией из процессов неживой природы. Обособлявшиеся области сами по себе и с системой вместе постепенно начали эволюционировать в сторону дальнейшего усложнения с использованием принципов отбора в соответствии с дарвиновской триадой — изменчивость, наследственность, отбор.

На основе изучения подобных структур возникла новая термодинамика необратимых процессов. Было обнаружено, что для существования подобных структур необходим постоянный подвод энергии или вещества, которое в процессе взаимодействия в среде переходит на более низкий энергетический уровень, т. е. точно так же, как в живом организме. Такие системы были названы диссипативными. Таким образом, неживое в ряде случаев функционирует точно так же, как живое, и разрыв между ними минимален.

Необходим был также и механизм возникновения новых структур на основе уже возникших, который бы и был основой эволюции системы в целом на том уровне. Такой механизм относительно недавно был обнаружен. Оказалось, что даже очень простые и давно известные системы при определенных условиях ведут себя совершенно хаотично, порождая условия возникновения структур, обладающих совершенно другими свойствами и функциональными возможностями. Так, обычный маятник, точка подвеса которого периодически колеблется, начинает вести себя совершенно хаотическим образом. При этом в зависимости от сил трения, амплитуды и частоты колебаний точки подвеса характер колебаний будет существенно разный. Траектории его движения в фазовой плоскости (амплитуда — угол) будут иметь совершенно разный вид. Траектории будут располагаться вблизи различных областей. То есть они как бы притягиваются к определенным областям фазового пространства. Такие области притяжения траекторий получили название «странные аттракторы» (от англ. *attract* — притягивать), а скачкообразные переходы из одной области к другой — «бифуркация» (от англ. *bifurcate* — раздваиваться, разветвляться). Случайное поведение полностью детерминированных систем получило название «детерминированный хаос». Процессы его проявления открыты во всех областях естествознания. В настоящее время это одна из интереснейших областей развития физики.

В свое время Ж. А. Пуанкаре (1854–1912) показал, что задача о нахождении динамики трех взаимодействующих тел приводит к полностью хаотическим траекториям. Примерно через 60 лет Колмогоровым, Арнольдом и Мозером было доказано, что в классической механике движение в фазовом пространстве не является ни полностью регулярным, ни полностью нерегулярным и тип траектории зависит от выбора начальных условий. Таким образом, устойчивые регулярные движения в классической механике являются редкими исключениями.

Коротко говоря, процессы перехода порядка в хаос и хаоса в порядок являются неотъемлемой частью нашего мира, поэтому возникновение жизни на нашей планете и в других частях Вселенной — закономерный процесс. Другое дело, что вероятность возникновения

необходимых условий для реализации процессов самоорганизации на космических объектах и эволюции живых организмов до уровня возникновения сознания чрезвычайно мала.

Выводы по разделу 4.5

Энергетическая независимость последовательности мономеров в полимерах, их огромное количество в белках, и функциональная эффективность всех составляющих компонентов живых организмов, ставит под сомнение существовавшее объяснение развития и усложнения живых организмов по упрощенной теории мутаций, так как для перебора возможных вариантов просто бы не хватило времени существования Вселенной. Развитие неравновесной термодинамики необратимых процессов позволило понять основные принципы самоорганизации, отличающихся от процессов простого перебора.

Вопросы к разделу 4.5

1. В чем суть теории самоорганизации предбиологических систем, развитая М. Эйгеном?
2. Чем обусловлено возможное образование структур в химических системах?

Выводы по теме

Теория атомного строения вещества позволяет описать превращение веществ, как в неорганическом, так и органическом мире.

Вопросы к теме

1. Что представляют собой изотопы химических элементов?
2. Что такое энтропия?
3. Что определяет понятие «стрела времени»?
4. В чем суть асимметрии тепла и работы?
5. В чем суть проблемы возникновения жизни?

Литература основная

1. *Суханов А. Д., Голубева О.Н.* Концепции современного естествознания. Учебник для вузов / Под редакцией А. Ф. Хохлова — М.: Агар, 2000. С. 269–340.

Литература дополнительная

1. *Седов Е.А.* Одна формула и весь мир. Книга об энтропии. — М.: Наука, 1983.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Вода знакомая и загадочная. — [Электронный ресурс] / авт. Л.А. Кульский, В.В. Даль, Л.Г. Ленчина. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/kl/vz.htm> — Загл. с экрана.
3. Наука и техника — электронная библиотека. Загадки простой воды. — [Электронный ресурс] / авт. В.И. Арабаджи. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/ar/zv.htm> — Загл. с экрана.
4. Наука и техника — электронная библиотека. Превращение элементов. — [Электронный ресурс] / авт. Б.И. Казаков. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/kz/pe.htm> — Загл. с экрана.
5. *Евстигнеев В.Р.* Идеи И. Пригожина в экономике. Нелинейность и финансовые системы. // Общественные науки и современность. — 1998. — № 1. — С. 112–122.

ТЕМА 5. СТРОЕНИЕ АТОМОВ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Краткое содержание темы

Приводятся основные результаты, полученные при изучении строения атомов путем использования естественной радиоактивности, и рассматриваются причины, приведшие к необходимости, для описания взаимодействия элементарных частиц, разработки квантовой механики, принципиально отличающейся от классической механики, описывающей кинематику и динамику макротел. Рассмотрены также исходные факты, приведшие к необходимости построения кварковой теории строения элементарных частиц.

Методические рекомендации по изучению темы

Основным в данной теме является представление иерархической структуры строения вещества и несводимых друг к другу методов описания каждого из уровней. Открытие структуры строения атомов поставило множество вопросов, на которые уже не возможно было ответить, используя законы классической механики и электродинамики. Это привело к необходимости разработки принципиально новой механики, поведение частиц в которой описывается уравнением Шредингера, имеющее вид волнового уравнения. Это уравнение позволяет учесть как волновые, так и корпускулярные свойства элементарных частиц. Изучение строения ядер и взаимодействия частиц привело к открытию двух новых, ранее неизвестных фундаментальных сил — ядерных и, так называемых, слабых взаимодействий, ответственных за β -распад. При освоении материалов темы следует четко уяснить, что к настоящему времени открыто четыре фундаментальные силы (гравитационные, электромагнитные, ядерные и слабые взаимодействия), с помощью которых возможно объяснить все наблюдаемые явления в природе. Изучение свойств элементарных частиц при больших энергиях привело к необходимости разработки квантовой электродинамики, где было получено, что взаимодействия между ними можно объяснить обменом виртуальными частицами, масса которых определяется силой их взаимодействия. Оказалось, что элементарные частицы в свою очередь состоят из кварков, для описания которых потребовалось уже введение параметров, не имеющих аналогов в нашем макромире. Кажущая иррациональность в подходах к описанию элементарных частиц, поведение которых противоречит нашему обыденному опыту, не должна смущать, так как наш практический опыт основан на наблюдениях взаимодействий макротел, свойства которых принципиально отличаются от свойств микрочастиц, несмотря на то, что они состоят из них.

План темы

- 5.1. Основы радиоактивности.
- 5.2. Принципы квантовой механики.
- 5.3. Строение элементарных частиц.

5.1. Основы радиоактивности

 [Эволюция основных физических представлений. Основные разделы естествознания о природных объектах и явлениях. Квантовая механика]

«Случайное» открытие Анри Беккерелем в 1896 г. испускания невидимых лучей веществами, содержащими в своем составе уран, дало физикам невиданные возможности проникновения уже в глубь атома. Само по себе испускание каких-то лучей при кажущемся постоянстве веса излучающего вещества вызывало сомнение в уже окончательно принятом законе сохранения энергии. Калориметрические измерения, проведенные Пьером Кюри, показывали, что, например, грамм радия, открытый к тому времени, выделяет из себя 140 калорий энергии в час без видимых внешних изменений. Это не могло пройти без внимания, и к решению проблемы подключилось мировое сообщество физиков, которые с разных сторон

теоретически и экспериментально довольно быстро разрешили основные вопросы проблемы. Было установлено, что радиоактивное вещество может выделять другое радиоактивное вещество (например, радон), и проникающая способность α -, β -, γ -лучей у различных веществ отличается друг от друга так же, как и их интенсивность. Было также определено, что α -лучи — это поток ионизованных атомов гелия.

Из проведенных опытов следовало, что радиоактивность — это взрыв внутри атомов, а вылетающие частицы — это осколки этого взрыва.

Взгляд на неделимость ядер был поколеблен, но остался вопрос: почему одни атомы стабильны, а другие нет? Однако развитие экспериментальной техники позволяло приступить к решению и этой задачи.

Естественно, сначала предположили, что атом представляет собой облако положительно и отрицательно заряженных частиц. Но опыты Эрнста Резерфорда в 1911 г. по рассеянию α -частиц атомами убедительно показали, что положительный заряд атома сосредоточен в его малой области ($10^{-12} \div 10^{-13}$ см), которую он назвал ядром. Модель атома была пересмотрена, и было принято, что атом состоит из положительно заряженного ядра, состоящего из открытых к тому времени протонов, окруженного облаком отрицательно заряженных электронов.

По воззрениям того времени, для того чтобы электроны под действием сил притяжения не падали на ядро, они должны вращаться. Датским физиком Нильсом Бором была выдвинута так называемая планетарная модель атома. Но у этой модели были серьезные противоречия. Дело в том, что исходя из уравнений Максвелла заряженная частица, вращающаяся по кругу, должна излучать электромагнитные волны и, теряя при этом свою кинетическую энергию, неминуемо должна упасть на ядро. Но это противоречило наблюдаемой стабильности атомов веществ. Нильс Бор, исходя из спектральных характеристик атомов, постулировал, что электроны могут находиться только на особых стационарных орбитах и излучать только при переходе с одной орбиты на другую. Это было несовместимо с законами классической электродинамики, и становилось ясно, что законы в микромире какие-то совсем другие.

После открытия нейтрона структура атома окончательно определилась, и с тех пор наши представления об его устройстве остаются практически неизменными. Согласно этим представлениям, любой атом состоит из определенного количества трех видов элементарных частиц. Протоны и нейтроны, масса каждого из которых примерно в 1 840 раз больше массы электрона, образуют тяжелое ядро очень малых размеров ($10^{-12} \div 10^{-13}$ см). Протоны и нейтроны (которые вместе называются **нуклонами**) удерживаются внутри ядра ядерными силами притяжения. Ядерные силы приблизительно в 100–1 000 раз сильнее электромагнитных сил, поэтому ядро под действием этих сил не разлетается за счет действия электростатического поля протонов. Ядерные силы чрезвычайно короткодействующие $\cong 10^{-13}$ см, поэтому на расстояниях $r > 10^{-12}$ см протоны разлетаются за счет действия электростатических сил.

Разные типы ядер отличаются друг от друга содержанием количества в них протонов и нейтронов. В легких ядрах количество протонов и нейтронов примерно равное. В тяжелых ядрах протонов примерно 40 %, а нейтронов — 60 %. Вокруг ядра на расстояниях $\cong 10^{-8}$ см находятся отрицательно заряженные электроны, которые удерживаются в атоме электростатическими силами и занимают строго определенные уровни. Такая теория устройства атома хорошо подтверждалась экспериментами, но не объясняла причин такого устройства. Открытие **нейтронов** существенно облегчало исследование атомного ядра. Уже первые эксперименты с облучением различных ядер нейтронами позволили открыть другие элементарные частицы: μ - и π -мезоны. Их изучение привело к открытию k -мезонов и гиперонов.

Создание ускорителей заряженных частиц позволило значительно расширить область энергий, в которой возможно было вести исследования, что привело к существенному расширению количества новых открытых частиц. При этом было обнаружено, что кроме ранее известных сил: гравитационных, электромагнитных и ядерных — существуют так называемые **слабые взаимодействия**.

Выводы по разделу 5.1

В результате изучения радиоактивных веществ и наблюдаемых эффектов при рассеянии частиц на атомах было установлено, что атомы представляют собой систему в виде ядра, окруженного облаком электронов, при этом оказалось, что и ядро и электронное облако имеют сложную структуру. Ядро, оказалось, состоит из протонов и нейтронов, суммарный вес которых и определяет атомный вес конкретного химического элемента, а количество протонов определяет его положение в таблице Менделеева, поскольку заряд ядра определяет структуру электронных оболочек и тем самым химические свойства вещества.

Вопросы к разделу 5.1

1. Какие четыре фундаментальные силы определяют все наблюдаемые процессы в природе?
2. Как было объяснено Бором отсутствие излучения от движущихся внутри атомов электронов?

5.2. Принципы квантовой механики

Необычные свойства микрочастиц и удивительные процессы, которые наблюдались в опытах, требовали разработки новой теории, которая бы вскрыла сущность наблюдаемых физических явлений. Такой теорией явилась квантовая механика, существенно отличающаяся от механики Ньютона. Самое главное отличие в поведении микрочастиц относительно макрообъектов заключается в том, что они ведут себя одновременно и как частицы, и как волна.

Исходя из вновь открытых свойств микрочастиц в 1926–1928 гг. де Бройлем, Гейзенбергом, Шредингером и Дираком была создана новая механика движения микрочастиц, которая была названа квантовой (или волновой). Чем же она принципиально отличается от механики Ньютона? В механике Ньютона, усовершенствованной для больших скоростей Эйнштейном, используется понятие траектории. В основу квантовой механики положено уравнение, которое позволило описать двойственную природу элементарных частиц, ведущих себя одновременно и как волна, и как частица.

Вариант уравнения движения для больших скоростей был получен Дираком. Уравнения Шредингера и Дирака — это волновые уравнения необычного типа. Решения волновых квантово-механических уравнений получаются в виде волновых функций, которые называются в квантовой механике ψ -функциями: ψ -функции отражают волновую природу микрочастиц. В отличие от решений уравнений Максвелла, ψ -функция — комплексная величина и не имеет наглядного истолкования. Это не бегущая волна типа распространяющегося света или звука и не стоячая волна типа интерференционной картины, а волна (т. е. амплитуда и фаза) вероятности осуществления того или иного результата. Наглядный смысл имеет только квадрат модуля волновой функции $|\psi|^2$, который равен вероятности найти частицу в данной точке (x, y, z) , в данный момент времени. Вот это свойство уравнения и функции и отражает вторую (корпускулярную) сторону поведения частиц. Уравнение Шредингера для электрона имеет вид:

$$i\hbar\partial\psi/\partial t = -\hbar^2/2m(\partial^2\psi/\partial x^2 + \partial^2\psi/\partial y^2 + \partial^2\psi/\partial z^2) + V(r),$$

где m — масса электрона, а $V(r)$ — потенциальная энергия электрона в поле.

Подставляя, например, выражение $V(r)$ для атома водорода в виде $V = -e^2/r$ и решая это уравнение, мы сможем найти все стационарные орбиты электрона. Оказалось, что уравнения Шредингера позволяют найти стационарные орбиты электронов без всяких постулатов и правил отбора, которые искусственно ввел Н. Бор, и они совпали со значениями энергии, полученными при спектральных измерениях. При других значениях энергии уравнения просто не имеют решений.

Таким образом, основная трудность в теории Бора — введение постулата, что вращающийся в атоме электрон не излучает, здесь снимается автоматически. Оказывается, что электрон движется в атоме (не вращается) так, что он и не должен излучать. Действительно, ис-

ходной посылкой о необходимости излучения электроном являлось то, что он, для того чтобы не упасть на ядро, должен вращаться. Мы опирались на представления классической физики, от которой отказались в пользу квантовой механики, а она, как видно, приводит к совершенно другим выводам о характере движения электрона в атоме.

Все, с чем с трудом приходилось соглашаться в теории Бора, основывалось только на наблюдаемой стабильности атомов. Теперь же появление линейчатых спектров при возбуждении атомов было строго обосновано логически. Применение уравнения Шредингера к атомному ядру позволило разгадать загадку радиоактивности. В самом деле: почему одни элементы стабильны, а другие радиоактивны и период полураспада у них разный? Была подсчитана энергия частиц после их вылета из ядра с учетом изменения их массы по формуле А. Эйнштейна: $E = mc^2$.

Оказалось, что энергия частиц в ядре для радиоактивных элементов больше, чем после их вылета из него. Поэтому системе выгодно перейти из состояния с большей потенциальной энергией к состоянию с меньшей энергией. Ситуация аналогична случаю в классической физике: Вы находитесь на горе, как только Вы сместитесь чуть-чуть с вершины, то появляется сила, вынуждающая Вас двигаться вниз. Однако, если подсчитать энергию покоя ядерной системы в момент α -распада, когда α -частица только-только вышла из ядра, но еще не отлетела от него, то эта энергия, за счет существования кулоновского поля, оказывается больше энергии α -частицы как в ядре, так и после ее отлета от ядра на большое расстояние.

Такой подсчет легко сделать, если мысленно провести процедуру, обратную α -распаду, т. е. сблизить дочернее ядро и α -частицу до их соприкосновения. Ясно, что при таком сближении их энергия будет возрастать по закону $1/r$ за счет увеличения потенциальной энергии кулоновского отталкивания. Подсчет показывает, что возрастание энергии в несколько раз превышает разность между начальной и конечной энергиями системы при α -распаде. Другими словами, на пути α -частицы из ядра существует большой потенциальный энергетический барьер. С точки зрения классической физики, вылет α -частицы не возможен так же, как скатывание шарика с покатой крыши, имеющей желоб, в который положили этот шарик, хотя ему энергетически это выгодно, так как его потенциальная энергия на земле меньше. Шарик может скатиться только в случае, если его приподнять над краем желоба. Однако, если мы подсчитаем вероятность нахождения α -частицы за барьером по уравнению Шредингера, то для его коэффициента прозрачности получим:

$$D = e^{-2/h(\sqrt{2m(V-T)d})},$$

где m — масса частицы; V — высота потенциального барьера; T — кинетическая энергия частицы и d — ширина барьера.

То есть имеется вероятность просачивания частицы сквозь барьер — так называемый «туннельный эффект». Поэтому ядра, для которых эта величина велика, распадаются. Так как величины вероятности просачивания для ядер различных элементов разные, то и их периоды полураспада также различны. При большом энергетическом потенциале барьера и при его большой ширине вероятность просачивания становится чрезвычайно малой, и мы считаем, что эти элементы стабильны.

Таким образом, внутри ядер могут происходить очень сложные процессы, характер которых определяется соотношением количества нейтронов и протонов для каждого конкретного ядра. Из уравнения Дирака автоматически следует магнитный момент электрона и его спин (механический момент). Анализируя свое уравнение, Дирак пришел к выводу, что для каждого значения импульса уравнение имеет два решения, соответствующие двум разным значениям полной энергии. Из чего он сделал вывод, что, по-видимому, существует частица — полный антипод электрону. Так был открыт позитрон, существование которого в 1932 г. было подтверждено экспериментально.

Позитрон является **античастицей** для электрона.

Любые две частицы, имеющие равные массы, время жизни, спин, но противоположные электрические заряды, магнитные моменты и некоторые другие заряды, называются частицей и античастицей по отношению друг к другу.

Встреча двух античастиц кончается их аннигиляцией, т. е. они уничтожаются, но при этом высвобождается энергия в виде излучения. Частицы и античастицы всегда рождаются парами. Впоследствии были обнаружены антипротоны и антинейтроны, т. е. оказалось, что природа симметрична относительно существования частиц и античастиц. Исходя из этого, был сформулирован принцип зарядового сопряжения.

Как же квантовая механика объясняет другие наблюдаемые явления? Например, почему два электрона отталкиваются, а электрон и протон притягиваются? После открытия фотонов стала понятна и сущность взаимодействия электромагнитного поля и частиц. Было понято, что отталкивающиеся и притягивающиеся частицы обмениваются фотонами так, что это и приводит к их видимому сближению или разлету. Схема обмена фотонами не совсем аналогична столкновению мячей. Детальное рассмотрение этих явлений осуществляется в квантовой электродинамике. Согласно существующим представлениям, ядерное взаимодействие двух нуклонов, находящихся на расстоянии, равном радиусу действия ядерных сил 10^{-13} см, является нескомпенсированной частью кварк-глюонных взаимодействий внутри нуклонов, так же как вандерваальсовские силы межмолекулярного взаимодействия являются нескомпенсированной частью кулоновских взаимодействий внутри атомов.

Ядерные силы — это не электромагнитные силы, так как они действуют не только между заряженными частицами (протоны), но и между нейтральными (нейтроны). Ядерные силы примерно в 100–1 000 раз сильнее электромагнитных, но они действуют только на очень коротких расстояниях и обладают свойством насыщения, аналогичным валентности химических сил. Поэтому нуклон взаимодействует не со всеми остальными нуклонами ядра, а только с несколькими соседними. Ввиду наличия такого разнообразия свойств ядерных сил при увеличении количества нуклонов в ядре и изменении соотношения в содержании протонов и нейтронов существенно меняются и их радиационные характеристики, как временные, так и энергетические.

Кроме известных уже нам сил гравитации (где, как полагают, взаимодействие осуществляется через обмен гравитонами — квантами гравитационного поля), электромагнитных и ядерных, были открыты и слабые взаимодействия. Они названы слабыми, так как малы по сравнению с ядерными и электромагнитными, но в то же время они превышают гравитационные. Слабые взаимодействия проявляются при распаде частиц, например: $n \Rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$, где нейтрон распадается на протон, электрон и **нейтрино**. Радиус действия слабых сил равен нулю, и в отличие от других взаимодействий слабое взаимодействие не приводит к образованию связанных состояний, поэтому оно называется еще распадным взаимодействием.

Создание мощных ускорителей частиц и развитие техники их регистрации до и после взаимодействия и при распаде позволили перейти к систематическому изучению процессов при больших энергиях, что существенно расширило возможности проникновения в глубь материи. Оказалось, что процессы идут по определенным правилам. Эти правила были сформулированы в виде определенных законов сохранения, аналогичных законам сохранения в классической физике, однако далеко не всем вновь введенным законам там есть соответствие.

Выводы по разделу 5.2

1. Для описания поведения элементарных частиц была разработана квантовая механика, учитывающая волновые и корпускулярные свойства элементарных частиц.
2. Использование уравнения Шредингера позволило разгадать загадку радиоактивности и дать ответы практически на все стоявшие перед физиками того времени вопросы (объяснить линейчатый спектр излучения веществ, снять вопросы противоречий с классической электродинамикой и т. п.)

Вопросы к разделу 5.2

1. Какой смысл имеет квадрат модуля волновой функции в квантовой механике?
2. Как объясняется в квантовой механике, почему одни вещества радиоактивны, а другие нет?

5.3. Строение элементарных частиц

[Эволюция основных физических представлений. Основные разделы естествознания о природных объектах и явлениях. Квантовая электродинамика]

По мере накопления данных о рассеянии элементарных частиц на ядрах, взаимодействии различных частиц друг с другом и данных о продуктах их взаимодействия и открытий закономерностей, которым эти процессы подчиняются, все острее вставала проблема разработки теории, которая дала бы объяснение этим многообразным проявлениям микромира. В последние десятилетия количество открываемых частиц удваивается каждые 11 лет, и физикам, естественно, хотелось найти только те, которые на самом деле являются элементарными, т. е. те, которые являются исходными для всех остальных.

Возникла ситуация аналогичная ситуации, сложившейся в свое время в химии, когда было открыто множество закономерностей в химических процессах, но понимания их сущности не было. Открытие зависимости химических свойств элементов от их атомного веса хотя и не дало ответов на вопрос, почему же это так происходит, но позволило объяснить направленность многих химических процессов и описать свойства еще не открытых элементов. В противовес известному афоризму об истории человечества, что она учит лишь тому, что ничему не учит, история естествознания показывает, что ученые используют опыт предшественников в подходах к разрешению сложных проблем.

В 1964 г. американским физиком Гелл-Манном и швейцарским физиком Цвейгом была выдвинута гипотеза существования трех фундаментальных частиц, из которых можно было составить любую сильновзаимодействующую частицу. Самым необычным в этой теории был электрический заряд. Он с необходимостью был дробным. Никогда ранее дробный заряд в экспериментах не наблюдался. Это должны быть уж очень необычные частицы. За свои экзотические свойства они были названы **кварками**.

Гипотеза позволяла объяснить многие наблюдаемые закономерности, дать обоснование их групповых свойств: «семейств» (мультиплеты); «родов» (супермультиплеты); «племен» (адроны, лептоны, фотоны, бозоны, фермионы и т. д.) и даже предсказать свойства еще не открытых частиц, которые впоследствии были открыты. Оказалось, что если кваркам приписать определенные свойства, то достаточно трех кварков и трех антикварков, чтобы из них сконструировать любой адрон (частицу, участвующую в сильных взаимодействиях). Теоретики предполагают, что возможен еще более глубокий уровень — субкварковый.

Выводы по теме

1. Изучение радиоактивности показало, что это взрыв внутри ядра.
2. Для описания атомных частиц потребовалось разработать математический аппарат, принципиально отличающийся от законов Ньютона.
3. Переход к большим энергиям выявил наличие двух ранее неизвестных фундаментальных сил.

Вопросы к теме

1. Каким основным уравнением описываются процессы на атомном уровне? Применимы ли там уравнения Ньютона?
2. В чем проявляется корпускулярно-волновой дуализм элементарной частицы и фотона?
3. Из чего состоят протоны?

Литература основная

1. Концепции современного естествознания. Учебник под редакцией Самыгина С. И. — Ростов-на-Дону: Издательство «Феникс», 2001. С. 254–296.

Литература дополнительная

1. Янг Ч. Элементарные частицы. — М.: Атомиздат, 1963.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Революция в физике. — [Электронный ресурс] / авт. Луи де Бройль. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/br/rf.htm> — Загл. с экрана.

ТЕМА 6. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ, ЗВЕЗД, ПЛАНЕТ И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Краткое содержание темы

В теме рассмотрены вопросы становления представлений о Вселенной, ее эволюции во времени, а также процессы рождения, жизни и смерти основных объектов Вселенной — звезд, планетарных систем, и, в частности, Солнечной системы и нашей планеты — Земли.

Методические рекомендации по изучению темы

Материалы данной темы формируют общее мировоззрение на окружающий Мир. В течение продолжительного времени, вплоть до середины XX века, естествознание не могло ответить на принципиальные вопросы об устройстве нашего мироздания. Наблюдавшаяся сложность окружающего мира всегда была, а для многих и продолжает оставаться, основой для вывода о том, что мир был создан по чьей-то воле и замыслу. Действительно трудно себе представить, что этот сложный мир возник в результате стихийных сил природы, поэтому освоение достигнутого астрономическими науками помогает сформировать систему взглядов, основанную на доказательствах, а не вере. В материалах данной темы последовательно рассматриваются процессы возникновения Вселенной, звезд и планет. К настоящему моменту многое понято и доказано, однако, как будет видно, путь к истине лежал через многочисленные каналы заблуждений. В теме кратко рассмотрены возможные причины этого, анализ которых позволяет избежать многих заблуждений в будущем.

Практически только к середине XX века общая картина устройства Вселенной прояснилась. Многие, естественно, еще не понято, однако естествознание приобрело историю, анализ которой позволяет избежать многих ошибок, и дает основание для вывода, что многие из проблем, которые кажутся неразрешимыми, будут решены. Большая заслуга в этом принадлежит астрономии и ответившимся от нее наукам, представители которых создали стройную и доказательную схему возникновения и функционирования Вселенной, звезд и планет.

При изучении материалов данной темы следует обратить внимание на то, что достигнутые успехи определялись и продолжают определяться достижениями других наук, и, наоборот, достижения в астрономических науках позволяют получать ответы на вопросы, возникающие в далеких от них областях знаний.

После изучения данной темы обучающийся должен отчетливо представлять иерархию устройства Вселенной и иметь представление об основных процессах, протекавших и протекающих на разных ее уровнях. Из материалов данной темы и последующих видно, что идущие в космосе процессы влияют на нашу жизнь более существенно, чем мы себе обычно представляем. Ознакомление с данной тематикой позволит слушателю более осознанно относиться к вопросам возможности существования внеземных цивилизаций, установления с ними связи, а также сформировать свое отношение к неопознанным летающим объектам.

По данной тематике существует масса популярной литературы, ознакомление с которой существенно облегчит понимание многих вопросов, не нашедших отражения в курсе лекций, цель которых сводится лишь к тому, чтобы дать общую схему существующих в данное время представлений об окружающем нас мироздании.

План темы

- 6.1. Становление представлений о Вселенной.
- 6.2. Эволюция Вселенной.
- 6.3. Звезды, их рождение, жизнь и смерть.
- 6.4. Возникновение и эволюция Солнечной системы.
- 6.5. Планета Земля.

6.1. Становление представлений о Вселенной

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Основные разделы естествознания о космических объектах и окружающем пространстве в целом]

Вкратце история эволюции взглядов на Вселенную сводится к следующему: вначале высказываются различные гипотезы об устройстве окружающего космоса, некоторые из которых намного опережают свое время (например, гипотеза Аристарха о гелиоцентрическом устройстве Солнечной системы) и по ряду объективных и субъективных причин забываются.

Первой моделью, имеющей математическое описание и интегрирующей пятисотлетнее развитие астрономии (III в. до н. э.—II в. н. э.), является система Птолемея. В этой системе в центре Вселенной находится неподвижная Земля, вокруг которой вращаются Луна, Солнце и планеты, и все это заключено в сферу неподвижных звезд. При этом планеты вращались вокруг центров, которые вращались вокруг Земли. Так сложно описывалось движение планет для объяснения видимых петлеобразных траекторий на небосводе, возникающих из-за несовпадения периодов обращения Земли и других планет при их действительном вращении вокруг Солнца и разных наклонах их орбит к эклиптике. В этой системе было много правильного: что Земля шарообразной формы, висящая в пространстве и ни на что не опирающаяся, что вокруг нее вращается Луна. Сколько гениальных идей заложено в этой системе! Ведь до кругосветных путешествий было еще практически полторы тысячи лет, по прошествии которых перестали задаваться вопросом: почему люди не падают с противоположной стороны Земли? Все остальное, как выяснилось, неверно, и только через полтора тысячелетия эта система была подправлена Коперником.

Наша Земля стала рядовой планетой, а в центре мира встало Солнце, все остальное осталось по-прежнему. Но с этого момента выдающаяся плеяда талантливых, трудолюбивых ученых подключилась к исследованию звездного неба, и начался второй этап развития астрономии. Началось лавинообразное накопление знаний об окружающем нас космосе, которые и позволили многое объяснить, но самое главное, четко сформулировать вопросы, на которые необходимо ответить для понимания картины в целом. Почти пять столетий длился этот этап. Важнейшие результаты этого этапа:

- переход от геоцентрической к гелиоцентрической системе движения планет;
- создание небесной механики и необходимого математического аппарата (интегрального и дифференциального исчисления);
- изобретение телескопа и разработка методов наблюдений;
- открытие планет «на кончике пера»;
- накопление астроданных и составление каталогов положения звезд и скоплений;
- разработка методик определения расстояний до ближайших космических объектов;
- внедрение физических методов для определения светимостей и температур звезд и т. п.

Развитие других наук и техники подготовило переход к третьему этапу, который ознаменовался переходом к всеволновой астрономии и выходом в космос. Если раньше астрономы использовали только видимый диапазон длин волн, то на этом этапе получили развитие радиоастрономия, исследования в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах длин волн. Создаются и выводятся в космос гамма- и рентгеновские телескопы, что позволяет исключить влияние атмосферы. Запускаются исследовательские ракеты к другим планетам. Луна исследуется не только с помощью спутников и автоматических станций, но на нее организуются экспедиции с посадкой людей.

Однако главным на этом этапе является смена парадигмы: выкристаллизовывается понимание того, что **Вселенная** — не стационарный, а эволюционирующий объект. Развитие методов определения расстояний до других галактик резко изменило представление о масштабах Вселенной. Развитие новых разделов физики (квантовой механики, ядерной и атомной физики) позволило объяснить многие ранее казавшиеся неразрешимыми проблемы звездной энергетики.

Только в начале нашего столетия возникло представление о Вселенной как о мире галактик. Солнце было низведено до рядовой звезды, каких в нашей Галактике около полутора миллиардов, и далеко не самой интересной, а наша Галактика — до рядовой галактики, каких во Вселенной миллиарды. Галактики, в свою очередь, как оказалось, сгруппированы в метagalактики, и вся Вселенная структурирована ими.

В 1922–1924 гг. советский математик А. А. Фридман убедительно показал, что при наличии притяжения звездные системы, заполняющие пространство, не могут находиться в среднем на неизменных расстояниях друг от друга. Они должны либо удаляться друг от друга, либо сближаться, что с неизбежностью приводило к первому толчку и, как следствие, — к существованию истории Вселенной. Если все предыдущие космологические построения описывали наблюдаемые космические структуры с неизменными параметрами, то модели Фридмана по своей сути были эволюционными, позволяющими связать наблюдаемые параметры с предыдущей историей Вселенной.

Уже в 1923 г. американский астроном Э. Хаббл с помощью спектральных наблюдений открыл, что галактики разбегаются. А раз они разбегаются, то когда-то были вместе. Оценив возможные параметры вещества Вселенной, российский физик Г. А. Гамов, иммигрировавший в Америку, в 40-х гг. выдвинул теорию «горячей Вселенной», которая позволяла оценить распространенность элементов во Вселенной и предсказывала возможность существования излучения, оставшегося после ее взрыва.



[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Астрофизика]

Данные наблюдений по составу космических объектов подтвердили правильность оценок, даваемых этой теорией для распространенности водорода и гелия — начальных элементов взорвавшейся Вселенной. В 1965 г. американскими радиофизиками А. Пензиасом и Р. Вилсоном было обнаружено и остаточное излучение, названное Шкловским реликтовым. То есть было подтверждено, что теория в основном правильно описывает явления начальной фазы образования Вселенной во время большого взрыва. Развитые в дальнейшем теории для описания взрыва, тем не менее, не позволяют окончательно ответить на все вопросы, относящиеся к самому началу взрыва.

Выводы по разделу 6.1

Историю становления представлений о Вселенной можно разбить на четыре этапа. На первом этапе (3-й век до н.э. — 2-й век н.э.) была разработана геоцентрическая модель устройства мира, позволявшая с большой точностью рассчитывать положение планет, определять времена солнечных и лунных затмений. На втором этапе геоцентрическая модель была заменена гелиоцентрической моделью. Она поставила нашу планету в один ряд с другими планетами и позволила естественным образом объяснить наблюдавшиеся явления. Третий этап характеризуется сменой парадигмы воззрений на космос в целом. Вселенная предстала как эволюционирующий объект, имеющий свое начало. На современном — четвертом этапе человечество, вооруженное современными средствами наблюдений, приступило к изучению строения и наблюдению за всеми имеющимися во Вселенной объектами и решению проблемы ее возникновения.

Вопросы к разделу 6.1

1. Кто первый предложил гелиоцентрическую модель устройства Солнечной системы?
2. Что показал А.А. Фридман, анализируя уравнения общей теории относительности А. Эйнштейна?

6.2. Эволюция Вселенной



[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Иерархия космических объектов]

Долгое время полагали, что звезды более или менее равномерно расположены в бесконечной Вселенной. Однако если посмотреть на небосвод, то можно увидеть полосу из звезд, которую древние римляне называли *Via Laktea* — Млечный Путь. В 1750 г. английский астроном-любитель Томас Райт (1711–1786) опубликовал книгу «Оригинальная теория, или Новая гипотеза о Вселенной, основанная на законах природы и объясняющая с помощью математических принципов наиболее важные явления видимого мироздания, в частности Млечного пути». В своей книге Райт обосновывал, что наблюдаемый вид Млечного Пути можно объяснить тем, что все звезды движутся одинаковым образом (по круговым орбитам вокруг удаленного центра) и не отклоняются слишком далеко от некоторой плоскости подобно планетам в их движении вокруг Солнца.

Иммануил Кант (1724–1804) — выдающийся немецкий философ, вдохновленный работой Райта, написал и опубликовал в 1755 г. книгу «Всеобщая естественная история и теория неба». В этой работе он не только уточнил ряд сделанных Райтом утверждений, но и пошел дальше, высказав предположение, что наблюдаемые на небосклоне звездные скопления являются образованиями, подобными нашей Галактике. Кант утверждал также, что если бы «светящиеся» пятна, видимые на небосклоне, представляли собой звезды гигантских размеров, то их поверхностная яркость была бы много больше наблюдаемой. По Канту, Вселенная состоит из своеобразных островов звезд. Нарисованная им картина Вселенной, которая могла бы стать руководством для последующих поколений астрономов-наблюдателей, таковой не стала и оставалась неустраиваемой практически два столетия.

Главной причиной неприятия гипотезы Канта являлось то, что в этих туманностях иногда наблюдали взрывы сверхновых звезд. Сомнение вызывало то, что если эти звездные скопления находятся вне нашей Галактики, то подобные взрывы должны быть чудовищно мощными, а так как в то время о строении ядра ничего не было известно, то признать, а тем более, объяснить возможность взрывов такой мощности не могли.

С повышением мощности телескопов удалось различить форму этих туманностей. Наиболее типичными оказались формы в виде спиралей и эллиптические. Для доказательства их внегалактической природы необходимо было разработать методы определения расстояний до них. Способ определения расстояний до них был найден в 1923 г., когда вблизи Лос-Анжелеса был установлен сверхмощный по тем временам стодюймовый телескоп. С его помощью Эдвин Хаббл впервые смог выделить отдельные звезды в туманности Андромеды. Он обнаружил, что в спиральных рукавах этой туманности есть несколько ярких переменных звезд с тем же периодом изменения светимости, который наблюдался для некоторого класса звезд в нашей Галактике, так называемых цефеид (Цефея — звезда, у которой впервые наблюдалось строго периодическое изменение блеска). К тому времени была установлена связь между периодами изменения блеска цефеид и их абсолютными светимостями для звезд нашей Галактики. Используя этот способ, Хаббл определил расстояния до многих галактик. Из спектральных измерений было получено, что спектральные линии для многих туманностей слегка сдвинуты в красную или фиолетовую стороны. Было понято, что этот сдвиг определяется эффектом Доплера, с помощью этого сдвига можно определить относительную скорость галактик.

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Методы определения основных характеристик космических объектов]

Современные способы позволяют определять сдвиг линейчатого спектра в спектрограмме с точностью до $10^{-8}\lambda$, т. е. радиальную скорость объекта можно определить с большой точностью. Оказалось, что, за исключением нескольких близлежащих к нам галактик типа туманности Андромеды, все другие галактики удаляются от нашей. Так как наша Галактика не занимает какого-то выделенного положения во Вселенной, то это выглядит так, как будто Вселенная находится в состоянии после взрыва. Но взрыва, не исходящего от какой-то точки, а взрыва, при котором каждая галактика летит прочь от любой другой галактики. Ситуация напоминает процесс, имеющий место при надувании волейбольной камеры. В этом случае также любая точка удаляется от другой тем быстрее, чем дальше они находятся

друг от друга. Находясь на любой галактике, мы видели бы точно такую же картину. Английский астрофизик Милн назвал эту ситуацию «космологический принцип».

Прямым математическим следствием этого принципа является то, что относительная скорость любых двух галактик должна быть пропорциональна расстоянию между ними с определенным коэффициентом, что и обнаружил Хаббл. Измеряя доплеровский сдвиг, мы получаем возможность определять радиальную скорость очень удаленных объектов.

Применение сочетания измерений дальности с использованием цефеид, скорости на основе эффекта Доплера и космологического принципа позволило установить коэффициент пропорциональности между скоростью и расстоянием до галактик. После почти 50-летних наблюдений было установлено, что коэффициент равен примерно 15 км/с на миллион световых лет. Для галактик, расположенных на расстояниях в миллиарды световых лет, при расчетах следует использовать релятивистские соотношения при сложении скоростей, так как они приближаются к световым скоростям.

Знание постоянной Хаббла позволяет оценить возраст нашей Вселенной. Так, если принять, что две любые галактики разлетелись на миллион световых лет, то, деля это расстояние на 15 км/с, для верхней оценки возраста нашей Галактики получаем 20 млрд лет. Это как раз то время, которое нас отделяет от момента взрыва, которое должно быть уменьшено, так как скорость разлета вначале после взрыва должна быть больше, и она уменьшалась за счет действия притяжения. Такой возраст Вселенной подтверждается также анализом относительного содержания радиоактивных изотопов на Земле, который дает для возраста нашей Галактики $\cong 10 \div 15$ млрд лет. С учетом того, что для преобразования вещества, состоящего из легких элементов, в вещество с тяжелыми ядрами требуется время, как мы позднее увидим, порядка нескольких миллиардов лет, полученная оценка подтверждает правомерность использования красного смещения для определения возраста Вселенной.

В это же время А. Эйнштейн разработал основы общей теории относительности, которую можно было использовать для описания динамики безграничной Вселенной. Под «безграничной» в данном случае понимается не обязательно бесконечная, так как тяготение в этой теории является следствием искривления пространства, а искривленное пространство может быть безграничным, но не бесконечным. Для двухмерного пространства это наглядно видно в случае сферы, которая безгранична, но конечна. Трехмерный образ подобной «сферы» представить трудно, но в математике имеются группы преобразований, замыкающие n -мерные пространства на себя, в частности и трехмерное.

Математический аппарат для описания геометрии в таких пространствах был разработан еще Лобачевским. В зависимости от принимаемого значения коэффициента кривизны ($-1, 0, 1$) можно построить разные геометрии (Римана, Евклида, Лобачевского). В обычной жизни мы имеем дело с достаточно малыми расстояниями, и геометрия Евклида нас полностью удовлетворяет. Будет ли Вселенная всегда расширяться, или галактики за счет действия притяжения между ними остановятся и начнут сближаться? На этот вопрос однозначного ответа пока нет.

Галактики наблюдаются группами. Группы могут содержать как небольшое количество галактик, так быть и в виде скоплений, содержащих сотни и тысячи галактик. Астрономические данные показывают, что существует местное сверхскопление галактик, насчитывающее около 10 тыс. галактик и имеющее диаметр около 50 Мпс. В его центре расположено скопление галактик в созвездии Девы. Открыто несколько десятков других сверхскоплений.

Было обнаружено, что галактики в сверхскоплениях распределены не равномерно, а сосредоточены вблизи границ ячеек, внутри которых галактик практически нет. Следовательно, согласно современным представлениям, Вселенная имеет ячеистую структуру, которая напоминает губку. В крупномасштабной структуре Вселенной не существует каких-либо особых, чем-то выделяющихся мест и направлений, поэтому в больших масштабах Вселенную можно считать не только однородной, но и изотропной.

Наша Галактика имеет форму гигантской выпуклой линзы толщиной 4 кпс, а наша Солнечная система находится на расстоянии около 10 кпс (33 тыс. световых лет) от ее центра в одном из спиральных рукавов.

Галактика вращается, причем скорость ее вращения сначала возрастает с увеличением расстояния от центра, а затем уменьшается.

Обращение Солнца вокруг центра Галактики происходит со скоростью около 240 км/с, так что один оборот оно совершает за 200 млн. лет.

Наше Солнце, представляющее собой рядовую желтую звезду, принадлежащую согласно принятой классификации спектральному классу *G2*, буквально затеряно среди многих миллиардов своих «собратьев», находящихся на разных стадиях своего развития.

Выводы по разделу 6.2

Развитие методов определения расстояний до космических объектов позволило установить, что Вселенная представляет собой совокупность галактик, удаляющихся друг от друга. Определение величины постоянной Хаббла — увеличение скорости удаления галактик друг от друга с увеличением расстояния между ними, позволило определить возраст Вселенной. Разработанная А. Эйнштейном общая теория относительности позволила по новому взглянуть на устройство Вселенной, разграничив понятия «безграничная» и «бесконечная» вселенная. Наша вселенная может быть безграничной, но не бесконечной. Прогресс в развитии методов и оборудования для наблюдений позволил установить форму нашей галактики и положение Солнечной системы в ней.

Вопросы к разделу 6.2

1. Чему равна постоянная Хаббла по современным измерениям?
2. Каковы размеры нашей Галактики, какова ее форма и где расположена наша Солнечная система в ней?

6.3. Звезды, их рождение, жизнь и смерть

Ход эволюции Вселенной, как структурной, так и химической, не менее интересен и впечатляющ. Наиболее интересными объектами во Вселенной, естественно, являются звезды. Именно они переработали и продолжают перерабатывать простые исходные элементы Вселенной (водород и гелий) в элементы с тяжелыми ядрами, осуществляя ее химическую эволюцию, и создали условия для возникновения жизни.

К настоящему времени разработано несколько способов определения расстояний до космических объектов с использованием различных оптических эффектов и аналогий, однако их совершенствованию и развитию и по сей день уделяется большое внимание, так как это одна из труднейших задач астрономии. Чрезвычайно информативны спектры звезд. В связи с их существенным различием для разных звезд они поделены на классы. Последовательность классов обозначается буквами *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*. Существующая методика определения спектров настолько точна, что позволяет определить спектр конкретной звезды до одной десятой класса. Например, часто последовательности звездных спектров между *G* и *F* обозначаются как *F0*, *F1*, ..., *F9*, *G0* и т. д. Спектры звезд в первом приближении похожи на спектр излучения «черного тела» с некоторой температурой *T*. Эти температуры плавно меняются от 40–50 тыс. град для звезд спектрального класса *O* до 3 000 град — для звезд спектрального класса *M*.

Основная часть излучения звезд спектральных классов *O* и *B* приходится на ультрафиолетовую часть спектра, недоступную для наблюдения с поверхности Земли из-за поглощения атмосферой. Характерной особенностью звездных спектров является наличие в них линий поглощения, что позволяет получить ценнейшую информацию о природе наружных слоев звезд через определение их химического состава.

Знание спектрального класса или цвета звезды позволяет определить температуру ее поверхности. При принятии допущения, что звезда излучает как «черное тело» соответствующей температуры, для мощности излучения всей поверхности звезды или ее светимости можем записать:

$$I = 4\pi R^2 \sigma T^4,$$

где R — радиус звезды, а $\sigma = 5,6 \cdot 10^{-5}$ — постоянная Больцмана.

Отсюда следует, что для определения радиуса звезды достаточно определить ее светимость и температуру поверхности. При этом I должна быть измерена во всех диапазонах длин волн, включая ультрафиолетовую и инфракрасную. Как было показано, I определяет абсолютную звездную величину. Таким образом, полученные связи позволяют по известным величинам определить неизвестные или трудно напрямую измеряемые величины, как, например, R — радиус звезды.

Одной из самых важных характеристик, определяющих, как оказалось, основные процессы на звезде, является ее масса. Определение массы звезды является довольно трудной задачей, так как существует не так уж много звезд, для которых имеются надежные данные о ней. Массу звезды легче всего определить, если звезды образуют двойную систему, для которой большая полуось a и ее период обращения T известны. В этом случае массы определяются из третьего закона Кеплера (квадраты периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит), который в данном случае может быть записан:

$$a^3 / (T^3 (M_1 + M_2)) = G / 4\pi,$$

здесь M_1 и M_2 — массы компонент двойной звездной системы, а $G = 6,68 \cdot 10^{-8}$ — постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона.

Из этого уравнения можем получить только сумму масс компонент системы. Если же удастся измерить отношение орбитальных скоростей обеих компонент, то их массы можно определить отдельно. К сожалению, это удалось сделать только для сравнительно небольшого количества наблюдаемых двойных систем. Прямых методов определения масс отдельных (т. е. не входящих в состав кратных систем) звезд в астрономии не разработано. В такой ситуации астрономы принимают допущение, что звезды с одинаковой светимостью, цветом и возрастом имеют и одинаковые массы. Однако это не всегда так, так как характер звездной эволюции в тесных двойных системах не такой, как у одиночных звезд.

Знание характеристик отдельных звезд мало бы что дало для понимания процессов, идущих в галактиках и Вселенной в целом, если бы характеристики не были связаны друг с другом. Датский астроном Э. Герцшпрунг и американский астроном Г. Рассел в начале 30-х гг. нашего столетия обнаружили независимо друг от друга, что существует связь между спектрами звезд и их светимостями. Если нанести на диаграмму, у которой по оси абсцисс отложены спектры (или соответствующие им цвета), а по оси ординат — светимости (или абсолютные величины), то оказывается, что они располагаются не случайным образом, а образуют определенные последовательности. Каждой звезде соответствует точка диаграммы, получившей название диаграммы «спектр — светимость», или диаграммы Герцшпрунга-Рассела.

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Основные методы изучения космических объектов]

Если бы спектральные классы и светимость звезд оказались независимыми физическими характеристиками, то в расположении точек на диаграмме не оказалось бы закономерностей. Но точки на диаграмме сгруппировались в пределах нескольких областей, названных затем последовательностями. Сразу же было понято, что наличие этих последовательностей является отражением каких-то фундаментальных свойств всей совокупности наблюдаемых звезд и их скоплений. Подавляющее большинство звезд на диаграмме принадлежит главной последовательности, простирающейся от горячих «сверхгигантов» до холодных «красных карликов». Анализируя главную последовательность, можно заметить, что чем горячее относящиеся к ней звезды, тем большую светимость они имеют. Обособленно от главной последовательности в разных частях диаграммы сгруппированы «гиганты», «сверхгиганты» и «белые карлики». То есть звезды с определенной светимостью имеют и определенную температуру. Открытие этих закономерностей позволило астрономам получить важные сведения об эволюции звезд. Построения аналогичных диаграмм — «масса — светимость», «скорость

вращения — масса» и т. д.— позволили понять многие закономерности, которые невозможно выявить, изучая характеристики отдельных звезд. Изучение спектральных характеристик звезд позволило выявить любопытную особенность — химический состав «субкарликов» резко отличается от звезд из главной последовательности. В составе этих звезд, как оказалось, много тяжелых элементов, в частности металлов. Анализ параметров группы «гигантов», расположенных в правом верхнем углу, у которых температура мала, а светимость высокая, позволяет сделать вывод, что радиусы этих звезд чрезвычайно велики. Объекты с наибольшей светимостью, принадлежащие этой группе, были названы «сверхгиганты».

Внутри этих объектов постепенно начинают действовать другие процессы. Плотность быстрее нарастает в центре, чем на периферии, поэтому температура там выше. При соответствующих температурах и плотностях в центре начинается термоядерный синтез. Температура начинает расти, растет и давление, которое уже не может уравновесить гравитационную силу сжатия. Излучение энергии с поверхности сгустка компенсируется внутриядерным источником — звезда родилась! Весь процесс в зависимости от массы образовавшейся звезды занимает от нескольких миллионов лет для массивных звезд до сотен миллионов лет для звезд с массой меньшей, чем у Солнца.

Дальнейшая судьба звезды практически целиком зависит от ее исходной массы. Легкое ядерное горючее (водород и гелий), из которого в основном состоит протозвезда, родившаяся из расширяющегося протогалактического сгустка, выгорает быстрее в массивных звездах, так как равновесная температура и давление в них выше, и скорость высвечивания энергии излучением также выше, поскольку поверхность звезды пропорциональна квадрату ее радиуса. Для звезд, в 10–50 раз по массе превышающих массу Солнца, время выгорания легкого ядерного горючего меньше общего протогалактического сжатия, имеющего общую продолжительность от ста миллионов до нескольких миллиардов лет.

Родившаяся звезда «садится» на свое место, определяемое ее массой, на главную последовательность диаграммы (Г—Р). Массивные звезды располагаются в ее верхней части, а звезды со сравнительно небольшой массой (меньше солнечной) — в нижней ее части.

Но положение звезды на главной последовательности не остается постоянным. По мере выгорания водорода и гелия в центре большой звезды образуется кольцевая зона, постепенно продвигающаяся по радиусу к периферии. Температура поверхности сначала растет, и звезда на диаграмме передвигается влево. При дальнейшем росте радиуса зоны термоядерного синтеза звезда разбухает, так как давление верхних слоев уже не уравновешивает давление в зоне реакций. Температура ее верхних слоев из-за расширения при этом падает, и звезда резко уходит на диаграмме (Г—Р) вправо, отдаляясь от главной последовательности в область «красных гигантов».

Звезды с массой вдвое меньшей солнечной остаются в начальном состоянии почти 100 млрд. лет, а так как возраст Галактики 12–15 млрд. лет, то мы их видим практически такими, какими они были в начале образования нашей Галактики. В основном они сосредоточены в ее сферической подсистеме. По мере дальнейшего сжатия ядра звезды оно разогревается. При достижении температур в 100–150 млн. град начинается термоядерный синтез гелия с образованием углерода. Возросшее давление остановит сжатие. Светимость звезды возрастет так же, как и температура ее поверхности. При достижении соответствующих давлений ее наружные слои отделяются, образуя вокруг оставшейся части так называемую планетную туманность. При оставшейся массе ядра, меньшей $1,2 M_{\text{сол.}}$, оно обнажается и представляет собой звезду малого размера с высокой поверхностной температурой. Такие звезды называют «белые карлики» из-за их цвета, соответствующего высокой температуре, и малой массы. После высвечивания энергии излучением их температура падает, и они превращаются в звезды темного цвета — «черные карлики», так как в них больше нет ядерного горючего. Звезда умерла! Такова судьба большинства звезд. Такова судьба и нашего Солнца. Через 10 млрд. лет оно превратится сначала в «красный гигант», потом в «белый карлик» и, в конце концов, в «черный карлик», исполнив свою роль прародителя жизни на нашей планете.

Совсем иная судьба у более массивных звезд. При достижении больших температур происходит мощный взрыв. Масса отделяющейся оболочки много больше, чем в первом случае. Полагают, что появление сверхновых звезд — это взрыв таких первоначально очень больших звезд, появление которых наблюдали раньше и наблюдают в настоящее время изредка в других галактиках. Светимость звезды возрастает резко в сотни миллионов раз, и звезда в течение недели или месяца излучает энергии больше, чем вся Галактика. Отделяющаяся оболочка послужит в дальнейшем исходным материалом для других менее массивных звезд второго поколения, а ядро, не имея внутреннего горючего, высвечиваясь, начнет сжиматься.

Если его масса не превышает двух масс Солнца, то ядро превращается в нейтронную звезду. Плотность нейтронной звезды достигает плотности атомных ядер $\approx 10^{15}$ г/см³. Радиус нейтронной звезды в конечном состоянии ≈ 10 км. Вспышки сверхновых звезд происходят в галактике приблизительно раз в 100 лет, поэтому при наблюдении за многими галактиками их наблюдают довольно часто. В нашей Галактике вспышки сверхновых звезд наблюдали в 1054, 1572 и 1604 гг.

Если начальная масса $>1,2 M_{\text{сол.}}$, то силы тяготения преодолевают силы вырожденного состояния электронов, и она необратимо превращается в так называемую «черную дыру». Силы притяжения такой звезды настолько возрастают, что даже свет не может выйти за пределы их действия. Все, что находится в области их действия, втягивается, как в бездонную воронку. Радиус такой нейтронной звезды составляет всего несколько километров. «Черные дыры» можно наблюдать только по их действию на близлежащие объекты, так как на небосводе они не видны. Предполагают, что всего несколько звезд являются двойными с «черными дырами». Полагают, что в нашей Галактике таких звезд должно быть несколько миллионов.

Так рождаются, живут и умирают звезды.

 [Хрестоматия: Мартин Дж. Рис. Черные дыры в центрах галактик]

 [Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Структура квазара]

Мы рассмотрели только некоторые аспекты процессов, идущих в космосе. Что можно сказать о звезде нашей системы — Солнце?

 [Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Солнце как звезда]

Основные данные о нем получены из спектральных измерений.

Поскольку развитие звезды сопровождается непрерывным превращением внутри нее водорода в гелий, то чем старше звезда, тем меньше в ее составе водорода и больше гелия. Знание их относительного содержания позволяет вычислить возраст звезды. В 1960 г. Д. Ламбер на основании имеющихся данных о Солнце и предполагаемой его эволюции получил значение для возраста Солнца, равное $12 \cdot 10^9$ лет.

Как уже отмечалось, при изучении истории развития небесных тел нет ни необходимости, ни возможности следить за отдельной звездой от ее рождения до ее старости. Вместо этого можно изучать много подобных звезд, находящихся на разных этапах их развития.

Это позволяет выяснить не только настоящее, но и прошлое и будущее нашего главного светила — Солнца. Вначале Солнце расточительно тратило свою массу и энергию и сравнительно быстро перешло к своему современному состоянию, характеризующемуся спокойным и довольно ровным излучением. В этом состоянии Солнце просуществует еще много миллиардов лет. Впоследствии за счет накопления гелия уменьшится его светимость и соответственно теплоотдача, что приведет к его разогреву. К этому времени водород весь выгорит, поэтому после непродолжительного разогрева начнется его быстрое угасание. Это случится не раньше, чем через 10 млрд. лет. Солнце можно рассматривать как машину, вырабатывающую и излучающую свою собственную энергию. Важнейшей особенностью является регулярность его действия. Преобладающим элементом на Солнце является водород: атомов водорода примерно в 10 раз больше, чем всех остальных элементов, а по массе водород со-

ставляет 70 % всей массы Солнца. Следующим по обилию элементом является гелий — около 29 % массы Солнца. Всего чуть больше 1 % массы Солнца приходится на все вместе взятые остальные элементы. Большинство атомов Солнца ионизировано. Лишь в сравнительно тонком поверхностном слое ионизация слабая, и в нем преобладает атомарный водород. Солнце представляет, по современным воззрениям, поистине фантастический по нашим земным масштабам саморегулирующийся термоядерный реактор. Этот плазменный шар обладает весьма высокой температурой. Газокинетическое давление плазмы на Солнце уравнивается силами гравитации, которые возрастают по мере приближения к его центру. Соответственно увеличивается давление внутри Солнца, а вместе с ним и температура.

Расчеты показывают, что температура в ядре Солнца превышает 10 млн. градусов, а давление — сотни миллиардов атмосфер. При такой температуре возможно протекание термоядерных **реакций синтеза**, при которых выделяется огромное количество энергии. Естественно, что термоядерные реакции наиболее интенсивно происходят в центре Солнца, где температура и давление (плотность ядер) максимальны.

По мере удаления от центра температура и давление уменьшаются. Передача энергии путем многократного переизлучения происходит в слое примерно от 0,3 до 0,6 радиуса Солнца. Выше находится слой протяженностью около 0,1 солнечного радиуса, называемый конвективной зоной. Эта зона заметно холоднее. Она переходит в самые внешние слои Солнца — его атмосферу. В конвективной зоне при пониженных температурах излучение оказывается неспособным перенести весь поток энергии, идущей из глубины. Поэтому в ее переносе принимает участие само вещество: из глубины поднимаются вверх потоки горячих газов, передающих свою энергию непосредственно внешним слоям — фотосфере.

Громадность масштабов действия Солнца подчеркивается тем фактом, что в нем в каждую секунду превращается в гелий свыше 700 млн. т водорода. Это означает, что Солнце ежесекундно теряет около 6 млн. т массы. Если считать, что генерирование энергии Солнцем происходит с момента возникновения Солнечной системы 5 млрд. лет, то, несмотря на огромное энерговыделение ($4 \cdot 10^{23}$ кВт), за это время оказывается «сожженным» всего лишь 5 % солнечного водорода, следовательно, состав вещества Солнца за такой огромный промежуток времени изменился совсем незначительно. Именно этим объясняется равномерность и длительность излучения. Оценки показывают, что при такой интенсивности «сжигания» водорода Солнце в состоянии обеспечить равномерный поток в течение последующих 10 млрд. лет.

А что же будет потом? Уменьшение количества водорода приведет к снижению выделения энергии в ядре Солнца и вследствие действия гравитационных сил — к сильному сжатию, сопровождающемуся повышением температуры до 100 млн. градусов, и повышению плотности до 10^5 г/см³. В этих условиях становится возможной термоядерная реакция синтеза ядер гелия в ядра углерода (гелиевый цикл). Солнце начнет расти и из «желтого карлика» превратится в «красного гиганта». Температура земной поверхности повысится настолько, что океаны выкипят, жизнь на нашей планете станет невозможной.

Выводы по разделу 6.3

Для изучения космических объектов были разработаны различные методы наблюдений. Одним из наиболее информативных методов является метод использования спектральных характеристик излучения звезд. С его помощью удалось определить температуру различных звезд, их скорость и химический состав. Измерение абсолютных сил излучения, в сочетании с другими методами измерений, позволяет определять размеры звезд. Обнаружение связи между спектрами звезд и их светимостям позволило построить теорию эволюции звезд во времени, которая, как оказалось, существенным образом зависит от начальной массы вещества, из которого формируется звезда. В зависимости от начальной массы эволюция звезды будет развиваться принципиально по-разному, давая весь спектр наблюдаемых вариантов звезд (сверхновые, пульсары, квазары, красные гиганты, белые и черные карлики, нейтронные, черные дыры и т.п.).

Вопросы к разделу 6.3

1. Как определяются радиусы звезд?
2. Остается ли положение конкретной звезды на главной последовательности диаграммы Гершпрунга-Рассела неизменным?

6.4. Возникновение и эволюция Солнечной системы

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Планеты Солнечной системы]

Несмотря на то, что процессы, идущие в звездах, удаленных от нас на миллиарды световых лет, достаточно хорошо поняты, о процессах образования Солнечной системы и отдельных планет астрономы могут говорить в настоящее время менее определенно. На первый взгляд это кажется странным и парадоксальным, однако в этом нет ничего удивительного. Дело в том, что астрономы наблюдают огромное количество звезд, находящихся на разных стадиях своей эволюции, поэтому у них имеются наблюдательные данные обо всех этапах их развития. Так как планет у других звезд астрономы наблюдать еще не могут (в силу их малой светимости), то отсутствуют и данные о разных этапах образования планетных систем. Астрономы могут наблюдать только нашу планетную систему и выдвигать гипотезы из имеющихся данных о ее современном состоянии с использованием понятых процессов эволюции звезд, в частности Солнца.

Долгое время в космофизике господствовали две теории образования Солнечной системы Канта и Лапласа. В ряде важных вопросов они резко различались, но в основном имели общую идею. Кант исходил из эволюционного развития холодной пылевой туманности, в ходе которой сначала возникло центральное массивное тело — будущее Солнце, а потом планеты. Лаплас считал первоначальную туманность газовой, очень горячей и быстро вращающейся. Сжимаясь под действием притяжения, вследствие сохранения момента количества движения туманность вращалась все быстрее и быстрее. Из-за больших центробежных сил с экваториальной области от него последовательно отделялись кольца. Из этих колец впоследствии и образовались планеты при дальнейшей их конденсации. Таким образом, по гипотезе Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Однако в общем обе гипотезы совпадают, так как исходят из представления, что Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности. Однако вскоре выяснилось, что обе гипотезы не объясняют распределения вращательного момента в Солнечной системе. Выяснилось, что 98 % всего момента системы связано с орбитальным движением планет и только 2 % с вращением Солнца. При этом момент между планетами распределен неравномерно. Наибольший момент имеет Юпитер, который в 380 раз превышает суммарный момент Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Большой орбитальный момент имеет и Сатурн. С точки зрения теории Канта — Лапласа это непонятно, так как Солнце должно на единицу массы иметь такой же момент, как и отделившаяся в прошлом масса, из которой должны были образоваться Юпитер и Сатурн.

Наш соотечественник О. Ю. Шмидт в 1944 г. предложил гипотезу, согласно которой планетная система образовалась из вещества, захваченного из газопылевой туманности, через которую некогда проходило Солнце, уже тогда имевшее почти современный вид. При этом никаких трудностей с вращательным моментом планет не возникает, так как первоначальный момент вещества облака может быть сколь угодно большим.

Появились и другие разновидности этой теории. Во всех этих гипотезах почти современное Солнце сталкивается с более или менее рыхлым космическим объектом, захватывая часть его вещества. Для того чтобы Солнце захватило достаточно много вещества, его скорость по отношению к туманности, как показывают расчеты, должна быть маленькой — порядка 100 м/с. Если учесть, что скорость внутренних движений элементов облака должна быть не меньше, то, по существу, речь идет о «застрявшем» в облаке Солнце, которое, скорее всего, должно иметь с облаком общее происхождение. Тем самым образование планет свя-

зывается с процессом звездообразования. Современные гипотезы образования планет основаны в основном на идеях перекачки вещества и момента из Солнца или космического объекта через магнитные поля, но достаточно однозначных доказательств о происходящих процессах при планетообразовании наука к настоящему времени пока не имеет. Современный вид Солнечной системы приведен в разделе.

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Устройство Земли]

Девять больших планет делят на две основные группы: планеты типа Земля (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). У всех планет, кроме Венеры и Меркурия, есть спутники, общее их количество — 41, которые в основном принадлежат планетам-гигантам. Кроме основных планет в Солнечной системе имеются малые планеты, которые называются также астероидами. В каталоги занесено 2 300 малых планет, в то время как их общее количество с размером ≈ 1 км оценивается величиной не менее 10^5 . Подавляющее большинство астероидов занимает область пространства между орбитами Марса и Юпитера, на среднем расстоянии от Солнца 2,75 а. е. Поперечник самого крупного астероида — Цереры — равен 1 000 км.

Кроме больших и малых планет вокруг Солнца движутся и кометы, которые отличаются не только своим видом, но и формой орбит. Вид комет меняется по мере приближения к Солнцу, что объясняется испарением вещества с их поверхности и образованием за счет этого светящихся хвостов, которые становятся все ярче по мере приближения к Солнцу. Орбиты большинства комет — сильно вытянутые эллипсоиды, плоскости которых под разными углами наклонены к плоскости эклиптики. Двигаясь по таким орбитам, кометы в перигелии близко подходят к Солнцу, а в афелии удаляются от него на сотни тысяч астрономических единиц, уходя далеко за пределы орбиты Плутона.

Доказано, что некоторые астероиды являются ядрами бывших короткопериодических комет, с которых испарилась газовая поверхностная составляющая. Кометы при их разрушении также являются источником метеорных потоков. Суммарная масса мелких планет и комет не превышает, однако, 0,001 доли массы Земли.

Выводы по разделу 6.4

Определение масс планет и расстояний до них, а также скорости вращения Солнца позволило определить их моменты количества движения. Оказалось, что 98 % всего момента Солнечной системы связано с орбитальным движением планет. Установление этого факта позволило отбросить ранее выдвигавшиеся гипотезы (Канта и Лапласа) образования Солнечной системы и выдвинуть гипотезу (О.Ю. Шмидт) захвата Солнцем газопылевого облака, в которое оно попало при движении вокруг центра нашей Галактики. Успехи в понимании процессов термоядерного синтеза позволили понять энергетику процессов, имеющих место как внутри звезд, так и внутри нашего Солнца.

Вопросы к разделу 6.4

1. Почему астроному, существенно продвинувшись в понимании процессов, идущих внутри далеких звезд, мало что могут сказать об образовании и эволюции близких к нам планет?
2. Чем отличаются астероиды от комет?

6.5. Планета Земля

[Возникновение Вселенной, звезд, планет и их эволюция во времени. Устройство Земли]

По существующим представлениям, планета Земля имеет следующую структуру: в центре Земли расположено твердое внутреннее ядро, состоящее из сплава железа и никеля, которое окружено внешним жидким ядром с глубиной залегания 2 900–5 000 км. Выше

внешнего ядра находится нижняя мантия с глубиной залегания от 900 до 2 900 км, разделенная через переходную зону от внешнего ядра. Выше нее находится верхняя мантия. Верхняя мантия отделяется от нижней ее части переходным слоем, залегающим на глубине 400 км. Земная кора — верхний слой твердой оболочки Земли — отделяется от нижних слоев так называемой поверхностью Мохоровича, при переходе через нее скачком изменяется химический состав и скорости распространения упругих волн. Толщина земной коры переменная. Под океанами она составляет 6÷10 км, а под материками достигает 60 км. На глубинах около 100÷300 км выделяется слой астеносферы, в пределах которого формируются очаги глубоководных землетрясений. Основным способом изучения строения Земли основан на измерениях сейсмических волн, прошедших сквозь земные недра, — так называемый метод сейсмической томографии. Используется тот факт, что в разных слоях Земли сейсмические волны распространяются с разными скоростями.

В 1912 г. А. Л. Вегенер выдвинул гипотезу дрейфа континентов. Основанием для выдвижения гипотезы послужило сходство очертаний материков и геологического строения, а также фауны и флоры краев частей, по гипотезе некогда единого континента. В дальнейшем гипотеза была подтверждена многими геологическими наблюдателями и геофизическими измерениями.

Основной силой, вызывающей движение континентов, является сила трения между континентальными плитами и магмой, совершающей круговые конвективные движения. Восходящие магнитные потоки, достигая астеносферы, приводят к горизонтальному движению вещества в этом сравнительно маловязком слое мантии. Поскольку под океанами мощность астеносферы намного больше, а вязкость в 10–30 раз меньше, чем под континентами, вертикальные потоки возникают только в средней и нижней мантии, а в астеносфере возникают преимущественно горизонтальные течения со скоростью до нескольких сантиметров в год. Под континентами в силу того, что астеносферный слой существенно сокращается в мощности и как бы вырождается, горизонтальные составляющие конвективного потока появляются в более глубоких горизонтах мантии. Поэтому скорость дрейфа континентальных и континентально-океанических плит значительно меньше, чем чисто океанических. Таким образом, главным механизмом движения плит является их волочение конвективными потоками за счет вязкого трения.

Под влиянием конвективных течений плиты стремятся переместиться из области восходящих потоков к местам нисходящих потоков мантийного вещества, т. е. в зоны так называемой субдукции, где континенты надвигаются друг на друга.

В современной структуре Земли имеется несколько региональных областей восходящих и нисходящих мантийных потоков. Динамическими усилиями конвективных потоков мантии земная литосфера в настоящее время расчленена на несколько плит, границы которых выделяются зонами повышенной сейсмичности, обусловленной взаимодействием литосферных плит при их движении относительно друг друга. Выделяют девять главных литосферных плит, которые объединяют как континентальные, так и океанические пространства. Главные плиты в поперечнике в среднем имеют 6–7 тыс. км. Ширина самой крупной Тихоокеанской плиты 10–11 тыс. км, а самых мелких — Кокосовой и Наска — 1 тыс. км. Кроме главных плит существуют малые плиты, или микроплиты, обычно располагающиеся на границах больших. В местах расхождения плит образуются рифтовые зоны. На дне мирового океана протянулась рифтовая зона длиной около 60 тыс. км. В рифтовых зонах образуется щель, которая заполняется базальтовой магмой, поднимающейся из астеносферы. А другой конец океанической плиты, так как он более плотный относительно материковых, погружается под кору материковой плиты. По существующим представлениям, органические осадки, накапливающиеся в межконтинентальных морях, выполняют своего рода функцию смазки между скользящими друг относительно друга плитами.

Попадая в зону высоких давлений и температур, органические вещества осадочных пород активно преобразуются в углеводороды нефтяного ряда и как результат — высокая нефтегазоносность недр шельфа. Трение между плитами приводит к выделению 500–700 кал на

каждый грамм породы. За счет этого тепла кора может разогреваться до температур $\approx 1\ 000^\circ\text{C}$. Однако во внешнем выступе, непосредственно перед зоной погружения, разогрев коры еще сравнительно невелик. Поэтому создается участок, где существует весьма благоприятный температурный режим для термического разложения и возгонки биогенных веществ, рассеянных в осадочных породах пододвигаемой плиты. В зоне такого режима, с температурами $100\text{--}400^\circ\text{C}$, осадки могут существовать около 2 млн. лет. Таким образом, создаются природные условия, аналогичные искусственным в лаборатории, когда за короткий отрезок времени, но при сильном температурном воздействии из растительных и животных остатков получается нефть.

Интересно отметить, что при наложении вибраций скорость процесса преобразования органики существенно возрастает. Что, собственно, и реализуется в природных условиях, так как именно в этих районах имеют место слабые и сильные землетрясения.

Следует также обратить внимание и на тот факт, что так как органические вещества экранируются от доступа кислорода, то они выбывают из круговорота биосферы. Большая точность постоянства процентного состава атмосферы, обеспечиваемая биосферой в прошлом, говорит о том, что ее характеристики согласованы с физическими процессами, идущими внутри Земли.

Таким образом, параметры биосферы согласованы как с космическими воздействиями, так и с воздействиями, определяемыми процессами внутри Земли. То есть биосфера встроена в единый космо-земной саморегулирующийся объект и выполняет в нем существенную функцию по поддержанию его постоянных характеристик. Человек, извлекая захороненные органические вещества, действует в противофазе с биотой. Воздействие человека уже привело к отклонениям в характеристиках окружающей среды, и с ростом мощности его воздействия они будут только нарастать.

Отметим также и тот факт, что места первых цивилизаций расположены в очагах наиболее сильных тектонических процессов. Наиболее древние цивилизации возникли в местах разветвления тектонических разломов. По-видимому, процессы, протекавшие в окружающей среде, приводили к существенным мутациям, которые и поставляли материал для дальнейшего отбора.

Исследования показали, что воздействие геопатогенных зон на биологические объекты проявляется двояко. Например, исследования в районе Карело-Кольского региона показали, что в районах активных разломов наблюдается наибольшее разнообразие древесных форм. Прекрасно здесь себя чувствуют многие виды насекомых. В их пределах предпочитают сооружать муравейники красные муравьи и термиты. Преимущественно в таких зонах зимуют и откладывают яйца пресмыкающиеся. Пчелы, улья которых расположены в этих местах, производят в 3 раза больше меда. Усиливается деятельность многих микроорганизмов.

На человека эти зоны воздействуют двояким образом. Так, средний вес новорожденных у людей, проживающих в этих зонах, резко отклоняется от среднего в ту или другую сторону: если средний вес новорожденных около 3,5 кг, то в этих зонах резко увеличивается количество новорожденных с весом более 4,1 кг и менее 1,7 кг. При жестком естественном отборе вид только бы выиграл, так как слабые дети ранее погибали или, как в Спарте, уничтожались. Египет, Греция, Древний Рим, Мексика, Индия, Персия, Израиль, Вавилон, кавказские государства сформировались в пределах территорий множественного развития зон активных разломов, имеющих четко выраженную геопатогенную природу. Медицинские исследования показывают также, что в пределах этих зон существенно повышается заболеваемость раком, ишемией сердца, рассеянным склерозом, смертность детей, их заболеваемость лейкозом и врожденными пороками. Сильное влияние оказывают эти зоны и на психическое состояние. В зависимости от индивидуальных физиологических особенностей человека психогенное воздействие проявляется по-разному. Оно может приводить к замедлению реакций, неуверенности, страху, злобе, неспособности контролировать собственные поступки, адекватно оценивать и анализировать ситуацию, правильно ориентироваться во времени и пространстве и т. п. Или, наоборот, проявляться в виде повышенной возбудимости, приливе бодрости,

агрессии и т. п. Ведь недаром основными регионами, где возникали всемирные войны, являются регионы с повышенной геопатогенной активностью. Например, Балканы. События на Кавказе также активизируются во время повышения активности Солнца и затихают в спокойный его период. Наибольшее воздействие геопатогенных зон наблюдается именно во время неспокойного Солнца. Именно тогда в этих зонах наблюдаются их наиболее интенсивное физико-химическое проявление и воздействие на биологические объекты.

Каков же возраст нашей планеты? Для определения ее возраста были использованы радиоактивные методы. В чем их суть? В их основе лежит несколько исходных посылок. Во-первых, на Земле отсутствовали и отсутствуют условия для образования тяжелых радиоактивных элементов. Поэтому, например, уран-238, который имеется в горных породах, является первозданным, т. е. полученным ею вместе с веществом, из которого Земля образовалась. Во-вторых, предположение о том, что земные горные породы сформировались не раньше, чем сама Земля, и ее возраст несколько больше возраста минералов. В-третьих, имеются различные радиоактивные изотопы, скорости распада которых существенно различаются, что позволяет применять различные радиоизотопы для определения временных отрезков с существенно различной продолжительностью. В-четвертых, скорость распада радиоизотопов не зависит от температуры и давлений, в диапазоне имевшихся на Земле. В-пятых, при радиоактивном распаде продукты распада обычно остаются внутри материала. Именно это обстоятельство и используется для отсчета времени существования горных пород. Действительно, если мы не знаем начального содержания урана в образце и измерили, сколько в нем его сейчас находится, а также определили, какое количество его успело распасться (по количеству продуктов распада), то при знании скорости распада этого достаточно для определения возраста данного образца. Применение этих методов потребовало от ученых, однако, большой изобретательности, так как не все продукты процесса с течением времени оставались в минералах, т. е. система не всегда замкнута. Использование радиоактивных методов позволило определить возраст пород, который составил для различных регионов от 2,17 млрд. лет (для галенита из Южной Родезии) до 3,9 млрд. лет (для пород Антарктиды). Возраст Земли, естественно, больше, так как земная кора не может быть моложе эпохи образования минералов, кристаллизовавшихся на определенном этапе ее развития. Таким образом, можно утверждать, что возраст Земли не менее 4 млрд. лет.

Выводы по разделу 6.5

С помощью сейсмических исследований удалось установить структуру строения Земли, которая продолжает эволюционировать, существенно определяя процессы, идущие на поверхности Земли. Конвективное движение магмы двигает континенты. Вдоль контуров разломов литосферных плит происходят сложные физико-химические процессы. Попадание органических соединений в зоны надвига плит приводит к процессам образования нефти и газа. Зоны разломов оказывают значительное влияние на все виды биосферы.

Вопросы к разделу 6.5

1. Что послужило для А. Вегенера исходной основой для выдвижения гипотезы дрейфа литосферных плит?
2. К каким эффектам воздействия на человека приводят зоны разломов?

Выводы по теме

Астрономия прошла долгий эволюционный путь развития. В результате были объяснены основные процессы возникновения и дальнейшего развития основных наблюдаемых космических объектов, включая Вселенную в целом.

Вопросы к теме

1. Чем принципиально отличались выводы А. А. Фридмана от ранее существовавших воззрений?
2. Что установил Хаббл?
3. Как с помощью цефеид определяют расстояния до звезд?
4. Как определили возраст Вселенной?

Литература основная

1. *Шкловский И.С.* Звезды, их рождение, жизнь и смерть. — М.: Наука, 1977. С. 113–142.

Литература дополнительная

1. *Чижевский А.П.* Земное эхо солнечных бурь. — М.: Мысль, 1976.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Этюды о Вселенной. — [Электронный ресурс] / авт. Т. Редже. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997-2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/rj/ev.htm> — Загл. с экрана.

ТЕМА 7. БИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Краткое содержание темы

Вводятся основные понятия: биосфера, биотический круговорот, понятие биоты и порога ее устойчивости. Рассмотрены основные закономерности, действующие в биосфере и ограничения на возможные величины воздействия на нее, не приводящие к ее выводу за порог устойчивого существования. Сформулированы основные выводы экологов, полученные на основе рассмотрения сложившейся ситуации. Рассмотрены глобальные экологические проблемы, дающие основной вклад в развитие негативных тенденций.

Методические рекомендации по изучению темы

В материалах данной темы рассматриваются процессы, происходящие в биосфере при воздействии на нее со стороны человека. После проработки данной темы обучающийся должен отчетливо представлять процесс круговорота веществ в природе. Особое внимание следует обратить на процесс накопления кислорода в период формирования атмосферы и поддержание биотой его концентрации в настоящее время. Также должно быть понято, что биосфера — это самоорганизующаяся система, имеющая порог устойчивости, которой в результате воздействия со стороны человечества, к настоящему времени превышен в 10 раз. В результате чего, выведенная из равновесия биота сама выбрасывает дополнительно в атмосферу окислов углерода в количестве, сравнимом с выбросами всех промышленных предприятий. Следует также обратить внимание на то, что искусственные посадки не обладают свойством саморегулирования, и поэтому воздействуют отрицательно на окружающую среду, так как сокращается площадь, занимаемая дикой природой, что также приводит к понижению ее устойчивости.

Порог устойчивости биоты равен всего одному проценту ее мощности и был преодолен человечеством в начале XIX века. Это и есть главная проблема экологии. Использование безотходных технологий не решает проблемы, а только позволяет уменьшить неадекватное воздействие человека на биосферу, и, тем самым, выиграть время, необходимое для решения главной проблемы: кардинального уменьшения общего воздействия, включая сокращение посевных площадей и сокращение использования органического топлива. К сожалению, в большинстве учебников по экологии и охране окружающей среды данные проблемы на должном уровне не рассматриваются, поэтому на материалы данной темы слушатель должен обратить самое пристальное внимание, так как только осознание данных проблем руководящим составом дает надежду на разрешение стоящих перед человечеством проблем. Решение этих проблем лежит вне сферы естествознания. Оно может только показать допустимые величины воздействий. Ввести человечество в соответствующее русло развития уже проблема чисто гуманитарная.

К середине XX века человечеством была осознана необходимость коэволюционности развития биосферы и ноосферы. Результаты моделирования социально-эколого-экономических процессов показали существенный вклад биосферных процессов в развитие цивилизации. Было обнаружено, что существующее противоречие между ограниченностью земных ресурсов и растущими темпами их использования может привести в середине XXI века к глобальному кризису — катастрофическому загрязнению окружающей среды, окончательной потере ею устойчивости, резкому возрастанию смертности, истощению природных ресурсов и, как следствие, распаду производства. Естественно, начался процесс поиска выхода из создавшегося положения. В материалах данной темы рассматриваются предполагаемые варианты выхода. При изучении данной темы слушатель должен осознать всю остроту проблемы и понять, что ситуация не трудная или сложная, а катастрофическая. Довольно широко распространенная концепция устойчивого развития не отвечает на многие острые вопросы, и часто порождает иллюзии, выдавая желаемое за возможное, при отсутствии на то

доказательных оснований. Поэтому в этой теме рассматривается и альтернативный вариант: экспоненциальный рост цивилизации с ее выходом в космическое пространство.

Материалы этой темы еще раз демонстрируют тот факт, что традиционное разделение знаний на естественнонаучную и гуманитарную сферы является одной из главных причин создавшегося положения, и без знаний основ и открытых естествознанием ограничений невозможно разрабатывать стратегию развития цивилизации не только на перспективу, но и на ближайший период. Этот факт должны быть продуман на максимально возможную глубину, что позволит более глубоко понимать вопросы, изучаемые в курсах экономики, геополитики, социологии и управления.

План темы

7.1. Основные закономерности, действующие в биосфере.

7.2. Глобальные экологические проблемы.

 **[Биосфера Земли. Основные разделы естествознания о живой природе]**

 **[Биосфера Земли. Биосфера Земли (основные концепции и проблемы)]**

 **[Биосфера Земли. Биосфера Земли (основные структурные уровни)]**

7.1. Основные закономерности, действующие в биосфере

Понятие биосферы, круговорот веществ в окружающей среде

В книге «Биосфера» замечательный российский ученый В. И. Вернадский дал завершённую концепцию о биосфере Земли: оболочка земного шара, занятая живым веществом. Она включает в себя часть атмосферы (тропосферу) на высоту до 10–15 км, всю водную оболочку и твердую верхнюю часть поверхности планеты на глубину до 2–3 км.

Было понято, что биосфера — это элемент природы, созданный ею в течение собственной эволюции. Ведущим элементом в биосфере является биотический цикл, который, постоянно действуя, производит круговорот других ее составляющих — твердой, жидкой и газообразной.

Основным энергетическим элементом для биосферы является поток солнечного излучения. Энергия падающего на поверхность Земли солнечного излучения диссипирует через создание воздушных потоков в атмосфере, испарение воды и химических процессов, идущих в неживой материи.

Одновременно в биосфере проходит специфический процесс, который состоит в том, что энергия солнечного излучения может аккумулироваться, иногда на очень длительный период. Это происходит при образовании органического вещества в ходе фотосинтеза. Запасенная энергия затем используется на поддержание множества других биохимических реакций.

Поток энергии от Солнца проходит сложный путь, трансформируясь в элементах биосферы, прежде чем выйти вновь в неживую среду в форме теплового излучения и отложений органического углерода в слое Земли. Бесперывный поток энергии, накапливаемый в зеленых растениях, растекается по сложной сети пищевых связей, постепенно растрачиваясь в процессе обмена веществ и дыхания на каждом трофическом (пищевом) уровне.

Поток энергии от Солнца непрерывен. Это линейный незамкнутый процесс, являющийся необходимым элементом для совершения замкнутого процесса — биотического круговорота веществ в биосфере.

Биотический круговорот как замкнутый цикл возник в процессе эволюции планеты в течение нескольких миллиардов лет (3,5–5 млрд.).

Биотический круговорот — это круговая циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами. Его суть сводится к следующему: растения, потребляя из почвы минеральные вещества, а из воздуха — углекислый газ, в процессе фотосинтеза

производят кислород и органические вещества. Их называют продуцентами. В этом процессе они аккумулируют энергию в органическом веществе. Животные, потребляя кислород и поедая растения, выделяют углекислый газ и накапливают энергию в своей биомассе. Они называются консументами. Бактерии, грибы, простейшие и пр., перерабатывая мертвых животных и засохшие растения, вновь превращают их в исходное состояние — минеральные и простые органические соединения, тем самым замыкая цикл круговорота вещества и обеспечивая подготовку следующего цикла. Они называются редуцентами, или деструкторами.

Биотический круговорот — основа существования биосферы. Главный элемент круговорота — способность одних организмов питаться другими или их отходами.

Каждый вид организмов выполняет в функционировании биосферы определенную роль, и при исчезновении какого-либо элемента цепь надрывается.

В сообществе нет видов-бездельников, не выполняющих никакой работы, и тем более видов-разбойников, разрушающих скоррелированность сообществ.

В биотический круговорот вовлечены все химические вещества биосферы, хотя скорость их круговорота разная. Биотический круговорот, в отличие от геологического круговорота, происходит быстро.

Геологический круговорот — это круговорот между океаном и сушей.

Вода, испаряясь в океанах под действием солнечного излучения, воздушными потоками переносится на сушу. Выпадая в виде осадков, она способствует разрушению горных пород, делая их химические составляющие доступными для растений и микроорганизмов. Размывая верхний почвенный слой, вода уносит растворенные в нем химические соединения и взвешенные органические частицы в моря и океаны, где они становятся доступными обитающим там биологическим элементам биосферы. С поверхности Земли за одну минуту испаряется около 1 млрд. т воды, и вся затраченная на это энергия выносится в атмосферу.

Кислород атмосферы накоплен в результате деятельности растений. Потребовалось 2,5–3,0 млрд. лет на создание современного состава атмосферы, содержащей 21 % кислорода.

Живые организмы в процессе дыхания поглощают кислород, он необходим также на окисление минеральных веществ, используемых растениями. Но количество кислорода, потребляемого растениями, во много раз меньше, чем они выделяют при фотосинтезе.

Весь свободный кислород в атмосфере оценивается в $1,6 \cdot 10^9$ т. Этого количества достаточно для дыхания живым организмам на 2 000 лет, что и составляет время полного круговорота кислорода в атмосфере.

У верхней границы тропосферы часть кислорода в результате взаимодействия с жестким космическим излучением превращается в озон, который поглощает ультрафиолетовую часть излучения, идущего от Солнца, и которая губительна для живых организмов. Таким образом, живое защищает само себя.

Углекислый газ также совершает круговорот. Сначала растения поглощают его из атмосферы и воды, а затем он возвращается в процессе дыхания растений, животных и при разложении отмерших организмов. В атмосфере содержится 0,03 % углекислого газа. Полный круговорот углекислый газ совершает за 300 лет.

Азота в атмосфере содержится 79 %, и он имеет большое значение в жизненных процессах, а, следовательно, и в круговороте веществ. Азот усваивается лишь азотфиксирующими бактериями и сине-зелеными водорослями, превращая их в нитраты, которые усваиваются растениями при построении белковых соединений. Азотфиксирующие организмы ежегодно улавливают $5,4 \cdot 10^{10}$ т азота.

В круговороте участвуют элементы практически всей таблицы Менделеева. Некоторые из них образуют руды органического происхождения.

Биосфера прошла сложный эволюционный путь, прежде чем приняла свой постоянный вид. Жизнь на Земле возникла 4–5 млрд. лет назад. Первые организмы возникли в воде, так как только там они были защищены от губительного ультрафиолета. Накопление атмосферного кислорода происходило медленно. В течение 2–3 млрд. лет атмосфера имела в своем составе кислорода 1–2 %, что было недостаточно для формирования озонового слоя.

Продолжительность современного состояния атмосферы оценивается в 500–600 млн. лет. Медленное наращивание новых видов, на образование каждого из которых требуется около 1 млн. лет, привело **биосферу** в состояние, которое она имела до начала индустриального периода в развитии человечества. Становление биосферы происходило не гладко. Время от времени возникали климатические катастрофы и отбрасывали ее развитие на многие десятки тысяч и миллионы лет назад. Даже уже в развитой биосфере происходили катаклизмы, которые существенно сужали область существования живого. Но однажды возникший процесс самоорганизации материи привел к появлению неких весьма стабильных форм ее существования, способных не только поддерживать собственное существование, воспроизводя самих себя, но и воссоздавать условия для своего существования.

Возникшее живое вещество обладает как отрицательными обратными связями, благодаря которым оно способно сопротивляться вредным внешним воздействиям, так и положительными обратными связями. То есть способно эволюционировать, максимально повышая свою эффективность по использованию ресурсов внешней среды.

Каковы же основные свойства этой среды, образовавшейся в процессе эволюции нашей планеты? Основной вывод большинства ученых по данному вопросу сводится к тому, что появление жизни на Земле — это естественный этап ее развития, ознаменовавший качественное изменение направления эволюции Земли как космического тела. Возникновение живого вещества определило те эволюционные процессы, которые привели нашу планету в современное состояние. Если бы жизнь однажды не возникла на Земле, то наша планета, подобно Луне, не замечала бы уходящих миллионов лет, в течение которых на ее поверхности ничего бы не менялось.

Жизнь, согласно В. И. Вернадскому, — это связующее звено между Космосом и Землей, звено, которое, используя энергию, приходящую на Землю из Космоса (и, прежде всего, от Солнца), трансформирует мертвое (или «косное», по его терминологии) вещество, создает новые формы материального мира, в миллионы раз ускоряя все процессы, протекающие на Земле.

Палеоданные показывают, что эволюционный процесс чрезвычайно медленный. Переход **биоты** и окружающей ее среды из одного устойчивого состояния в другое определяется скоростью образования новых видов, на что требуются миллионы лет, т. е. в течение сотен тысяч лет биота не может сама перейти в новое устойчивое состояние.

Данные по составу воздуха, полученные в пузырьках ледовых кернов в Антарктиде и Гренландии, показывают, что концентрация углерода в атмосфере оставалась постоянной в течение последних нескольких тысяч лет. А за время порядка сотен тысяч лет (т. е. за времена в 10^4 раз больше времени оборота углерода в биосфере) концентрация углерода совпадала по порядку величины. Из этих данных следует, что глобальные среднегодовые потоки биологического синтеза и разложения, совершаемые биотой, совпадают с относительной точностью порядка 10^{-4} .

Из земных недр выбрасывается неорганический углерод (вулканическая деятельность и фильтрация из мантии). Геологические данные показывают, что выбросы неорганического углерода превосходят его отложения в 10^4 раз. Куда же девается эта разница? Оценка запасов органического углерода в осадочных породах дает, что они как раз равны этой разнице. То есть в течение миллиарда лет биота преобразовывает огромные выбросы неорганического углерода в органический углерод, выводя его из оборота.

Количество кислорода в атмосфере в 10^3 раз превосходит требуемое для разложения всего органического углерода биосферы (за исключением того, что биота захоронила в недрах). Это связано с тем, что при синтезе органического углерода, захороненного в осадочных породах, высвобождающийся кислород в дальнейшем не участвовал в его разложении, а накапливался в атмосфере. Продолжающийся процесс захоронения органического углерода в осадочных породах, величина потока которого составляет десятитысячную часть годовой продукции биоты, обеспечивает постоянство концентраций кислорода и углекислого газа в атмосфере. Другими словами, биота для поддержания необходимых ей параметров окру-

жающей среды часть поступающего неорганического углерода хоронит в осадочных породах в виде органического углерода, а возникающая при этом разность в процессах синтеза и разложения обеспечивает постоянство кислорода в атмосфере, и делает это она с очень большой точностью.

Биота и ее порог устойчивости

[Биосфера Земли. Возникновение и эволюция биосферы]

Таким образом, биосфера является сложным самоорганизующимся организмом. Очевидно, что существует пороговый предел возмущений параметров окружающей среды и самой биоты, и при его превышении нарушается устойчивость установившихся циклов. Превышение порога устойчивости приводит к дезорганизации и, как следствие, к гибели всей биоты или переходу в какое-то другое состояние, которое по параметрам вновь созданной окружающей среды будет существенно отличаться от существовавшего в доиндустриальную эпоху.

Появление разумного существа в природе, с одной стороны, явилось новым качественным скачком в эволюции биосферы, а с другой — стало мощнейшим возмущающим фактором для равновесного функционирования биоты. Человек, являясь элементом природы, приспособился к параметрам окружающей среды и может нормально существовать только при существующих ее параметрах. Для эволюционирования и приспособления к другим условиям ему, как и любому другому виду, необходимы миллионы лет. Поэтому при быстрой смене параметров окружающей среды он обречен, как и другие виды, на вымирание.

Пока воздействие человека и его хозяйственной деятельности находилось в пределах устойчивости биоты, она компенсировала создаваемые им возмущения. Однако к началу XX-го столетия степень воздействия человека на окружающую среду возросла настолько, что это вывело биоту из равновесия. Этот факт был понят не сразу, так как вопросом оценки устойчивости биоты экологи практически не занимались. В конце XIX-го столетия были поняты причины локальных экологических катастроф. Они возникали при перевыпасах скотоводами на определенной территории (например, в Северной Африке), превратившими в пустыню некогда плодородные земли, или при вырубках лесов на северных склонах гор в Италии, приведших к потере водных источников, и т. п.

Однако оценок планетарной устойчивости биоты сделано не было. С другой стороны, человечество, вооруженное победной идеологией — «Мы не можем ждать милости от природы, взять их у нее — наша задача», интенсивно внедрялось в деятельность биоты. Проблема состоит в том, что имеется предел возможного влияния на биоту даже при использовании сверхчистых технологий, и превышение его ведет к ее разрушению. Поэтому чем интенсивнее мы используем биоту (даже не варварски и с заботой о ней), тем больше наносим невосполнимый урон и тем дальше уходим от порога равновесия, который был, как оказалось, превышен уже к концу XIX-го столетия.

Исчезновение черноземов в европейской части России мощностью до 4 м до сих пор объясняется неправильной агротехнологией, а не невозможностью искусственной среды (посевов) играть роль регуляторов, т. е. хоронить излишек углерода в гумус. Чем более урожайные сорта мы выводим, тем больше возмущений в работу биотического цикла они производят. Человечество, выйдя на этап индустриального развития, стало потреблять то, что биота выводила из области своей деятельности. Начав использовать энергетические ресурсы, ранее захороненные биотой, в виде органического углерода, оно стало действовать в противофазе с биотой.

Распахивая новые поля и засаживая их агрокультурами, проводя мелиорацию земель, оно включало в действие незамкнутые циклы. Чем масштабнее становилась его деятельность, тем больше было его влияние на функционирование биотического цикла. Медленно, но верно отрицательные факторы начали проявляться в глобальном масштабе. К этому времени накопилось достаточное количество научных результатов, чтобы провести сложнейшие исследования по выявлению взаимосвязей и оценить устойчивость биотического цикла.

Выдающиеся деятели науки конца XIX — начала XX столетий интуитивно чувствовали ситуацию, но необходимых данных в то время они не имели. И хотя в общих высказываниях у них содержались предупреждения, содержательной части, ясно определяющей суть проблемы, они не имели. Это можно отнести и к работам В. И. Вернадского.

Устойчивость биоты

Анализ данных об изменении содержания углекислого газа в атмосфере показал, что его количество растет в настоящее время в два раза быстрее, чем должно было расти, из-за выбросов от сжигания угля, нефти и газа. Такая ситуация возникла уже в начале XIX в. То есть с начала прошлого столетия биота суши перестала поглощать избыток углерода из биосферы. Наоборот, она начала выбрасывать углерод в атмосферу, увеличивая, а не уменьшая загрязнение окружающей среды, производимое промышленными предприятиями. Это означает, что биота суши оказалась нарушенной в глобальном масштабе. Учитывая, что любая хозяйственная деятельность человека направлена на преобразование биосферы, включая и сельское хозяйство, можно оценить порог антропогенного воздействия, начиная с которого биота теряет устойчивость. Исходя из того, что в начале XIX столетия площади эксплуатируемых земель составляли 5 % территории суши, на которых человек использовал приблизительно 20 % продукции биоты, получаем, что порог устойчивости составляет всего 1 % от всей продукции биоты. Оценки показывают, что современная нагрузка на биоту составляет ориентировочно 10 %, т. е. порог устойчивости биоты превышен в 10 раз. Оказалось также, что изменение теплового режима планеты также приводит биосферу в разомкнутое состояние, т. е. человечество, даже имея неограниченные и чистые источники энергии, не может ими воспользоваться.

Основные выводы экологов

На основании полученных к настоящему времени научных данных, экологами сделаны следующие выводы:

1. Сохранение существующего состояния окружающей среды возможно только при строгом равенстве скоростей биологического синтеза и разложения, т. е. при высокой степени замкнутости биохимических круговоротов веществ.

2. В отсутствии жесткой корреляции между биологическим синтезом и разложением окружающая среда может быть искажена до непригодного для жизни состояния в течение порядка десяти лет.

3. В современной окружающей среде может существовать множество различных видов животных организмов, включая разнообразные культурные сорта растений и породы животных. Однако произвольный набор организмов не может обеспечить устойчивость окружающей среды. Только определенный набор организмов, возникший в период эволюции биоты, образующий жестко скоррелированные сообщества, способен поддерживать состояние среды на приемлемом для жизни уровне.

4. Существует пороговая величина возмущений окружающей среды и естественной биоты, выше которой нарушается устойчивость биоты и среды обитания.

5. Хозяйственная деятельность людей в доиндустриальную эпоху не приводила ни к каким видимым изменениям среды обитания. Биота естественных невозмущенных сообществ была способна компенсировать все возмущения среды, включая локальные нарушения биоты, которые вызывались хозяйственной деятельностью человека. При этом не возникало проблем очистки окружающей среды от загрязнения и не было необходимости в использовании каких бы то ни было безотходных технологий. Подобная ситуация имела место до начала индустриальной эры в прошлом столетии.

6. В нашем столетии произошло существенное искажение естественной биоты, увеличилась скорость загрязнения окружающей среды. В результате искажения биота потеряла способность компенсировать антропогенные возмущения, и среда обитания начала изменяться в глобальных масштабах.

7. Выход из создавшегося положения обычно видят в переходе к безотходным технологиям. Однако это не может решить проблему сохранения окружающей среды. Любая хозяйст-

венная деятельность основана на потреблении энергии и направлена на перестройку естественной биоты.

8. Современная деформированная людьми биота не способна компенсировать антропогенные возмущения, но и сама искажает среду обитания по порядку величины с той же скоростью, что и промышленные предприятия.

9. Дальнейшее продолжение возмущения естественной биоты за счет расширения хозяйственной деятельности на базе использования даже абсолютно чистых источников энергии может привести биоту в полностью разомкнутое состояние.

10. Переход к безотходным технологиям практически не изменит ситуацию. Этот переход приведет лишь к ликвидации явных локальных загрязнений.

11. Заменить естественную биоту техносферой, работающей как биота на базе возобновляемой солнечной энергии, невозможно: информационные потоки в биоте на 15 порядков превосходят реально достижимые максимальные информационные потоки в техносфере.

12. Реальный выход из положения состоит в восстановлении естественной биоты в объеме, необходимом для поддержания устойчивости окружающей среды в глобальных масштабах. Это требует сокращения хозяйственной деятельности и связанного с ней потребления энергии.

13. Порог устойчивости биоты к настоящему времени превышен в 10 раз.

Все эти полученные результаты и привели к выводу, что ситуация не трудная или сложная, а катастрофичная. Как и всякая катастрофа, она может начать развиваться практически мгновенно — небольшие на первый взгляд изменения в окружающей среде вдруг начнут приводить к глобальным катаклизмам, порождая другие, еще более мощные и т. д. Из теории катастроф известно, что, достигнув определенного уровня, отклонения начинают нарастать экспоненциально.

Естественно, возникает вопрос: есть ли выход из создавшейся ситуации или человечество, нарастив мускулы (численность и энерговооруженность), слишком поздно поумнело? Да, есть еще возможность возврата биоты в устойчивое состояние при переходе к допороговым нагрузкам на нее, утверждают экологи, но для этого нужны экстренные действия всех сообществ, живущих на Земле. Они должны не закрывать глаза на существующие проблемы, а наоборот, вскрывать те вопросы, которые ранее казались неразрешимыми, включая и идеологические разногласия, и причины бедности, и вопросы оплаты ресурсов внешней среды богатыми странами, потребляющими их за счет бедных стран, и проблемы народонаселения, и проблемы войн и т. д. и т. п.

Отступить некуда — вот главный императив настоящего времени.

Отбросив идеологические разногласия, ища совместно ответы на сложнейшие вопросы, человечество не только должно, но и обязано их разрешить, в противном случае — вымирание. Природа, в конце концов, отступит, уйдет на новый виток эволюции и, может быть, вновь повторит свой эксперимент с разумом, но это будет уже другой разум, не наш.

Выводы по разделу 7.1

Биосфера и, в частности, биота является самоорганизующейся системой, происходящие процессы в которой согласованы с процессами, идущими внутри Земли. Существует порог устойчивости величины воздействия на нее, при превышении которого она выходит из устойчивого состояния с переходом в состояние, существенно отличающимся от существующего. По исследованиям экологов порог антропогенного воздействия на биосферу в настоящее время превышен в 10 раз. В таком состоянии она может существовать в течение непродолжительного времени. Необходимо срочно менять систему сложившихся воззрений на биосферу как на безграничный источник ресурсов, для предотвращения катастрофических последствий для жизни на Земле.

Вопросы к разделу 7.1

1. Как действует биотический круговорот?
2. Как был определен порог устойчивости?

7.2. Глобальные экологические проблемы

Законы и проблемы экологии

[Биосфера Земли. Законы экологии]

Как и всякая наука, экология имеет свой предмет исследования и свои методы их проведения. Предметом исследования для экологии является изучение взаимодействия живых организмов так называемой биоты (фауны + флоры), как между собой, так и с окружающей средой.

Так как человек является одним из элементов природы, то его взаимодействие с биотой и окружающей средой также является предметом изучения экологии. В человеческих сообществах и обществе в целом действуют социальные законы, которые не присущи другим составляющим биосферы. Поэтому, пока человеческий фактор не стал для окружающей среды определяющим, исследования в экологии в основном не имели социоприродной направленности. В. И. Вернадский один из первых в начале века в философско-постановочном плане привлек внимание к данным вопросам, однако его идеи не стали предметом рассмотрения для широкого круга исследователей последующих лет.

Американский эколог Б. Коммонер сформулировал четыре экологических закона.

Первый закон: «Все связано со всем», исходя из того, «что большинство экосистем настолько сложны, что их циклы представляют собой не просто круговороты, а имеют пересекающиеся разветвления, похожие на паутину. Глобальные изменения параметров окружающей среды являются сигналами того, что экологические петли где-то надорваны и, следовательно, система значительно упростилась, став, таким образом, более чувствительной к нагрузкам и ближе к гибели».

Второй закон: «Все должно куда-то деваться». По сути, это закон сохранения применительно к экологии. Суть его состоит в том, что «огромные количества веществ извлечены из земли, преобразованы в новые соединения и рассеяны в окружающей среде без учета того факта, что «все куда-то девается». В результате пагубно большие количества веществ нередко накапливаются в тех местах, где по природе их не должно быть».

Третий закон: «Природа знает лучше». Исходной предпосылкой для его вывода является то, что «структура организма нынешних живых существ или организация современной природной экосистемы — наилучшие в том смысле, что они были тщательно отобраны из неудачных вариантов и что любой новый вариант, скорее всего, будет хуже существующего ныне».

Четвертый закон: «Ничто не дается даром» потому, «что глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом улучшения,— все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено».

Формулировки законов показывают междисциплинарную сложность предмета экологии, взаимопересеченность различных дисциплин. Однако для поиска путей выхода из катастрофического состояния, наоборот, важно расчленив проблемы, выявить наиболее существенные ветви, решение которых позволит в кратчайшие сроки и с минимальными затратами продвинуться в решении задачи выхода на режим устойчивого развития.

[Биосфера Земли. Глобальные экологические проблемы]

В программе ООН глобальные экологические проблемы группируются в следующие основные разделы:

1. Изменения атмосферы и климата.
2. Изменения гидросферы.

3. Изменения литосферы.
4. Изменения биоты (животного и растительного мира).
5. Изменения в сельском и лесном хозяйствах.
6. Демографические проблемы (проблемы производства продуктов питания).
7. Урбанизация (проблемы населенных пунктов).
8. Влияние окружающей среды на здоровье человека.
9. Проблемы развития промышленного производства.
10. Проблемы, связанные с производством и потреблением энергии.
11. Проблемы, связанные с развитием транспорта.
12. Развитие природоохранного образования и понимания обществом проблем окружающей среды.
13. Воздействие войн на окружающую среду.

Последствия ядерного конфликта

Уже сама приоритетность поставленных проблем позволяет увидеть, как далеко понимание выявленных глобальных проблем от реальной возможной действительности.

Продолжающееся совершенствование ядерного оружия, дорогостоящие разработки систем противоракетной обороны и т. п. показывают, что полученные результаты исследований последствий ядерного конфликта, проведенных еще в 1982 г., так и не поняты ни военными, ни политиками, ни народами в целом.

Приведем основные выводы, полученные сотрудниками ВЦ АН под руководством Н. Н. Моисеева.

После масштабного применения атомного оружия за счет того, что в верхние слои атмосферы попадет огромное количество пыли и сажи, на всей территории Земли возникнет ситуация, получившая название «ядерной ночи». То есть солнечное излучение не будет достигать поверхности Земли. Как следствие, на поверхности Земли резко понизится температура, т. е. возникнет режим «ядерной зимы», что приведет к гибели биосферы.

Эти расчеты проведены еще в 1982 г., общедоступную известность получили в 1983 г., однако продвижения по полному запрещению ядерного оружия и его уничтожению практически нет. Бытует мнение, что наличие такого вооружения является фактором сдерживания. Но если результат не зависит от того, будет нанесен ответный удар или нет, так какой же это фактор сдерживания? Фактором сдерживания является информированность населения вероятного противника. А разработка дорогостоящей противоракетной обороны — вообще бессмысленная задача. Достаточно на своей территории взорвать ядерный заряд, и все будет развиваться по описанной схеме.

Поэтому проблема информированности населения и формирования экологического сознания является следующей приоритетной задачей, хотя она и стоит по списку на 12-м месте.

Формирование экологического сознания

Вопросами формирования экологически ориентированного сознания занимается вновь возникшая наука социальная экология, где эти вопросы анализируются подробно, поэтому рассмотрим эту проблему вкратце.

Экологический кризис возник объективно. Возможность гибели цивилизации ведущими учеными в прошлом не рассматривалась как возможное следствие ее саморазвития, обусловленное постоянным ростом удовлетворения растущих потребностей людей, которые постепенно выросли в развитых странах в избыточные и сверхизбыточные. Только в настоящее время в критической ситуации этот вопрос стал рассматриваться ввиду того, что во всем мире резко увеличилось количество катастроф природного и антропогенного происхождения. Так, только за последние 20 лет от них понесли материальные потери около миллиарда человек. Человек разумный оказался идеологически не подготовленным к предвидению своего возможного трагического финала.

Проблема лежит, по всей видимости, глубже, чем простое распространение экологических знаний. Нужно философско-нравственное осмысление ситуации. В ряде религий эколо-

гический настрой входил составной частью. Особенно он силен в восточных религиях, например в джайнизме, где он получил наиболее яркое воплощение. Путь напряженной духовно-нравственной жизни характерен и для христианства, в котором проповедуются идеи ограниченного потребления и воздержания, в крайнем своем проявлении реализующиеся через монастырь. В западной модели цивилизации возобладал культ все большего удовлетворения потребностей, стремление к удобствам и комфорту, престижному потреблению как антипод христианской альтернативе.

Формирование духовных потребностей требует достаточно продолжительного времени и сил, так как западные приоритеты глубоко укоренились в современном образе жизни. По-видимому, во всеобщем обращении к религии в России проявляется природный инстинкт, который не смогли уничтожить вихри двадцатого столетия. Так же как нетронутые большие российские просторы позволили сохранить естественную биоту на достаточно большом пространстве, так и заложенные христианством в течение тысячелетий нравственные основы являются основой надежды, что в России экологические проблемы будут решены.

Однако долго внедрявшаяся идеология по удовлетворению все больших потребностей дала свои корни, и ввиду дефицита времени экологическое сознание должно формироваться интенсивно. Это должно стать одной из приоритетных задач любых властных структур, и нужно согласиться с А. В. Яблоковым: «Любые властные структуры должны гораздо больше, чем все остальное население, понимать приоритет экологических императивов, несоблюдение которых может в скором времени ликвидировать любую власть, игнорирующую проблемы окружающей среды. Полагаем, что в достаточно быстром темпе будут меняться властные структуры и вообще все руководители, не исходящие в своей деятельности из требований экологически безопасного устойчивого развития».

Мощнейшим фактом, способным существенно сдвинуть сознание широких масс в необходимом направлении, является возрождение традиционных культур и традиций народов, корни которых уходят глубоко в века и которые являются, по-видимому, памятью о не раз случавшихся в прошлом локальных экологических катаклизмах. Так, кедровые урочища у алтайцев традиционно считались святыми местами, потому что там была основа их жизни. В этих местах в принципе не мог появиться собиратель кедровых шишек с пилой «Дружба», как это нередко случается сейчас.

Демографические проблемы

Третьей проблемой по значению является демографическая проблема, очень тесно связанная с проблемой производства питания. Дело в том, что именно она является ключевой для решения других проблем.

Современное энергопотребление на 90 % основано на невозобновляемых ресурсах, поэтому сокращение числа потребителей в 10 раз приведет к сокращению во столько же раз их потребления, т. е. позволит выйти на допороговый уровень по потреблению энергии.



[Хрестоматия: Девис Р. Тед. Энергия для планеты Земля]

Вопрос сокращения численности населения при его постановке всегда принимал идеологическую и политическую окраску, что затрудняло выкристаллизовать его содержательную часть. Пример Китая, однако, показывает, что это решаемый вопрос, решение которого положительно повлияло на смягчение многих ранее, казалось, неразрешимых проблем.

Сокращение численности популяции является нормальным явлением для всех видов живых организмов при ухудшении условий жизни. При улучшении жизненных условий численность популяции вида возрастает, при их ухудшении включаются всевозможные механизмы (сокращение помета, увеличение самцов в помете, уменьшение продолжительности жизни и т. д.), приводящие к сокращению численности популяции.

Имеющийся в настоящий момент темп роста населения, конечно, не позволит сократить рост энергопотребления, учитывая стремление развивающихся стран выйти на уровень развитых стран. Переход от растущей сейчас с двухпроцентной скоростью численности населения к сокращающейся с той же скоростью не должен привести к каким-либо экономическим проблемам. Демографическая нагрузка от детей до 15 лет превосходит демографиче-

скую нагрузку от стариков свыше 60 лет, так как дети проходят дорогостоящий период обучения. Подготовка одного военнослужащего обходится в 1,6 раз дороже, чем обучение ребенка, поэтому наилучшим был бы вариант всеобщего сокращения армий, но до практического решения этого вопроса еще далеко.

Традиционно престиж многодетных семей определялся боязнью депопуляции и потери конкурентоспособности нацией в сравнении с нациями, увеличивающими численность. Однако в современном мире для малочисленной нации, имеющей высокий экономический потенциал и, как следствие, более совершенное оружие, ее численность уже не является определяющей. Эта опасность также исчезает при переходе к всеобщему контролируемому пропорциональному сокращению всех наций. Пример Китая и других стран показывает, что ограничение рождаемости возможно и является реальным как с экономической, так и с моральной точки зрения, для этого требуется только политическая воля.

Население растет быстрыми темпами как раз в тех районах, где продуктивность биоты максимальна. Тропические сообщества биоты в 4 раза превосходят по продуктивности сообщества биоты умеренных широт. По этим двум причинам решение именно там демографической проблемы должно рассматриваться как первоочередная задача для цивилизации в целом.

Многие развитые страны практически полностью уничтожили естественную биоту на своих территориях, т. е. развитие этих стран произошло взаимы. Для остановки дальнейшего разрушения биосферы все развитые страны должны безвозмездно выплачивать всем странам, обладателям нетронутой цивилизацией естественной биоты, международный налог в размере, превышающем возможный доход от использования ресурсов этой биоты. Не экономическая удавка в виде займов, а плата.

Сохранение атмосферы и климата

Антропогенное воздействие на атмосферу приводит к следующим эффектам:

- нарушению озонового слоя;
- увеличению углекислого газа;
- выпадению кислотных дождей;
- запылению;
- образованию и накоплению в атмосфере токсичных веществ, вредно влияющих на здоровье людей и состояние биоты.

Все эти факторы приводят в итоге к изменению ландшафтов и климата Земли.

Нарушение озонового слоя

Одним из существенных факторов, существенно влияющим на экологическую обстановку, является наличие озонового слоя в верхних слоях атмосферы. Несмотря на то, что количество озона в атмосфере невелико ($2 \cdot 10^{-6} \%$), он играет очень важную роль в процессах прохождения излучения Солнца к поверхности Земли, поглощая губительное для всего живого ультрафиолетовое излучение. Так называемые озоновые дыры были обнаружены в 1987 г. с помощью спутников. Измерения показали, что в области озоновых дыр на 40 % меньше озона, чем в других областях. С этим уменьшением связывают резкое повышение заболеваемости меланомой жителей Австралии.

Возникновение озоновых дыр объясняют поступлением в атмосферу фтор-, хлор- и бромсодержащих углеводородов антропогенного происхождения. Продолжительность жизни этих искусственно синтезированных соединений в атмосфере чрезвычайно велика.

Парниковый эффект

В настоящее время в мире сжигается ежегодно 3,5 млрд. т нефти и нефтепродуктов, более 4 млрд. т каменного угля, большое количество торфа, горючих сланцев, дров. Углекислый газ, образующийся при горении, поступает в атмосферу. В 1958 г. содержание углекислого газа, замеренное на островах Тихого океана и в Антарктиде, составляло 0,028 %. В 1993 г. оно возросло до 0,035 %, т. е. на одну четверть от своей величины. Углекислый газ является главным в парниковом эффекте, так как он хорошо пропускает коротковолновое излучение, идущее от Солнца, и не пропускает более длинноволновое, идущее от поверхности

Земли, которая излучает после ее нагрева солнечными лучами, т. е. ведет себя как полиэтиленовая пленка, прозрачная для видимого излучения и не пропускающая инфракрасное излучение. Такое свойство углекислого газа при увеличении его концентрации в атмосфере приведет к повышению средней температуры атмосферы, т. е. к изменению климата. Произведенная в США машинная обработка метеоданных показывает, что за последние 25 лет средняя температура на Земле поднялась на 0,7 град и продолжает подниматься. К парниковому эффекту приводит и поступающая в атмосферу пыль, основным источником которой являются карьерные разработки и выбросы тепловых электростанций. Поэтому противникам атомной энергетики следует учитывать эти факторы. Как показывают исследования, радиационная опасность выбросов тепловых электростанций некоторых углей даже больше атомных, правильно эксплуатируемых, но менее заметна, так как саже-золотые выбросы, содержащие радиоактивные элементы, распределяются на большие территории. Со временем они, преимущественно по розе ветров, накапливаются в почве. Такое «тихое» накопление радиоактивных элементов в почве даже более опасно, чем контролируемое концентрированное их захоронение, конечно, с исключением попадания в грунтовые воды, которые разнесут их по подземным каналам также на большую площадь. Поиск путей уменьшения радиационного загрязнения должен стать приоритетным направлением исследований.

Кислотные дожди

Сжигание твердого природного топлива в тепловых электростанциях, газовые выбросы черной, цветной и химической промышленности являются источником поступления в атмосферу оксидов (SO_2 , CO_2 , NO_2 и т. д.), которые, взаимодействуя с атмосферной влагой, образуют кислоты. Выпадая вместе с дождем и снегом на поверхность, они наносят непоправимый вред биосфере. Самым сильным загрязнителем является диоксид серы (SO_2), который под действием атмосферных окислителей — кислорода и озона — сначала превращается в серный ангидрид, а затем в серную кислоту. В настоящее время в атмосферу выбрасывается всеми промышленными предприятиями около 150 млн. т, основная доля которых приходится на северное полушарие. Количество образующейся серной кислоты в атмосфере превышает ее количество, вырабатываемое для производственных нужд.

Кислотные дожди приводят к гибели всех видов гидросферы и угнетают все виды биоты суши. Кислотные дожди способствуют вымыванию токсичных металлов (ртути, свинца, кадмия, меди и др.) из пород с последующим их поступлением в водоемы и подземные источники питьевой воды.

Поступившие в подземные источники вымытые из отвалов горных пород тяжелые металлы усваиваются растениями и по трофическим путям попадают в организмы животных и людей, вызывая трудноизлечимые болезни.

Продолжительность жизни в атмосфере молекул сернистого газа чрезвычайно велика, поэтому воздушными потоками он разносится на большие расстояния.

Загрязнение гидросферы

Совокупность водоемов Земли называется гидросферой. Основными источниками загрязнения гидросферы являются:

- кислотные дожди;
- городские и промышленные сточные воды;
- сельскохозяйственные сточные воды (полевые, дренажные, от животноводческих помещений).

Больше всего потерь воды в сельском хозяйстве, где до 3/4 теряется безвозвратно на отмывку солончаковых земель. Лишь малая часть используется растениями. Большая часть фильтруется почвой, при этом из нее вымываются минеральные удобрения и ядохимикаты. А так как сине-зеленые водоросли усваивают азотные и фосфорные удобрения, то сначала наблюдается их бурный рост, чрезмерное накопление биомассы с последующим интенсивным гниением, приводящим к резкому снижению количества кислорода в воде и гибели всего живого в водоемах. Особенно опасно загрязнение радиоактивными элементами подземных водоемов, так как они являются основными источниками питьевой воды для населения.

Концентрация растворенного углекислого газа в глубине океана в несколько раз выше, чем у поверхности. Поверхностная же концентрация CO_2 находится в равновесии с атмосферой. При прекращении жизни в океане концентрации в глубине и у поверхности сравниваются. Это приведет к повышению концентрации CO_2 и в атмосфере. В этом случае за счет парникового эффекта изменение климата на Земле произойдет в течение порядка 10 лет. Тот факт, что отношение концентраций N/P/O_2 в водах океана совпадает с отношениями концентраций этих элементов при синтезе и разложении живых существ, обитающих в океане, говорит о том, что параметры поверхностного слоя океана также сформировала биота океана. Биота океана также жестко скоррелирована, и его загрязнение также ведет к безвозвратной гибели видов и разрыву невосстановимых связей.

Особенно сильно влияет на живые организмы попадание нефтепродуктов. Образуя тонкую пленку на поверхности воды, они резко уменьшают доступ кислорода, что ведет к гибели всего живого в поверхностном слое. Только за год в море поступает около 3 млн. т нефтепродуктов. Ежегодно в прибрежную зону сбрасывается 300 млрд. м^3 сточных вод, которые содержат до 30 тыс. различных искусственных химических соединений, к воздействию которых морские организмы не приспособлены. С мусором, годовое поступление которого оценивается в 7 млн. т, поступают чрезвычайно устойчивые синтетические продукты, пагубно влияющие на морские микроорганизмы. Если прибавить сюда менее вредные, но изменяющие прозрачность воды, что очень существенно для глубоководных организмов, микрочастицы грунта (220 млн. т), то возникает печальная картина самоуничтожения. Попадающие со стоками с полей удобрения (35 млн. т азота, 40 млн. т фосфора) локально изменяют круговороты в водах океана, а возможность их самовосстановления весьма проблематична, если вспомнить о явлении все ускоряющегося приближения к поверхности глубинных мертвых вод Черного моря. При таких поступлениях загрязнителей необходима тщательная оценка предела устойчивости биоты океана на антропогенное воздействие, иначе рискуем оказаться в ситуации глобально необратимых процессов.

Загрязнение литосферы

Литосфера — это верхняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю ее мантию. Суша занимает до 30 % поверхности земного шара, но далеко не вся она пригодна для жизни человека. Пригодная к жизни территория необратимо выводится из обращения. Каковы причины? Это:

- ветровая и водная эрозия;
- засоление почв;
- открытые горно-промышленные разработки;
- отторжение, с дальнейшим засорением, под военные полигоны и городские свалки;
- опустынивание вследствие вырубки лесов и распашки без организации защиты от ветровой эрозии.

Только за последние 100 лет выведено из оборота с безвозвратной потерей около 30 % плодородных земель. В бывшем СССР ежегодный объем горно-рудных предприятий составлял 2,5 млрд. м^3 . Все это складировалось в виде отвалов и терриконов. Ряд отходов, складированных в виде «хвостов», является источниками поступления тяжелых металлов, интенсивность поступления которых в 100–1 000 раз больше, чем из естественных руд, так как порода подверглась дроблению и химической обработке.

Количество полигонов под свалки растет в геометрической прогрессии. Наибольшую опасность представляют свалки токсичных отходов. Предупреждение попадания со свалок ядовитых веществ в подземные воды — чрезвычайно трудная задача.

В последнее время возрастает скорость опустынивания земель. Под угрозой находится не менее 30 млн. км^2 земель. Уже видно, к чему это приводит в Северной Африке. В локальных войнах гибнут миллионы людей (просто один клан вырезает другой). Скорее всего, это проявление межвидовой борьбы за экологические ниши.

Уменьшение видового разнообразия

Исследователи приводят данные по темпам сокращения видового разнообразия элементов естественной биоты. Состав биоты не остается постоянным. В связи с изменением окружающей среды возникают и исчезают элементы биоты. Этот процесс до вмешательства человека шел достаточно медленно. Средняя продолжительность существования вида в естественной биоте составляет около 5 млн. лет. За последние 200 млн. лет исчезли одни, но при этом возникли другие виды (около 900 тыс.), т. е. в среднем исчезал один вид в год. Исследования показывают, что в настоящее время эта скорость возросла в 10 тыс. раз. Темп нарастания такой, что к 2000 г. средняя скорость исчезновения видов достигла 100 за сутки. При таком темпе исчезновения элементов биоты в ближайшее время ни о какой скоррелированности в биоте уже не может быть и речи. Виды исчезают из-за резкого сокращения территории естественной среды обитания, браконьерства, перевылова, загрязнения среды, воздействия искусственно поддерживаемых условий, благоприятных для размножения домашних животных, и т. д.

Уже неоднократно случались локальные экологические кризисы при уничтожении определенных видов биоты, которые все чаще возникают в разных местах. Проявление некоторых эпидемиологических болезней животных и человека биологи в ряде случаев связывают с сокращением биологического разнообразия. Сохранение видов только на заповедных территориях проблемы не решает.

Из кратко рассмотренных проблем видно, какие сложные и трудные задачи возникли перед человечеством. Такой совокупности сложнейших задач перед человечеством никогда ранее не стояло. Их одновременность, скоротечность, взаимопересеченность, глобальность породили огромную массу проблем, к решению которых человечество в большинстве случаев не готово ни идеологически, ни экономически. Вот почему, несмотря на осознание их важности и значительности, человечество за 30 лет после Стокгольмской конференции практически не продвинулось в их решении.

Выводы по разделу 7.2

К настоящему времени установлены основные закономерности, действующие в биосфере. На международных симпозиумах и конференциях определены основные глобальные экологические проблемы и проведены исследования по определению антропогенной нагрузки на биосферу от различных источников. Решение каждой из 13 сформулированных проблем является сложной задачей, как с экономической, так и социальной точки зрения. Проведенный мониторинг изменений в биосфере показывает, что проблемы с каждым годом только усугубляются, несмотря на прилагаемые усилия со стороны человеческого сообщества. Человеческая цивилизация попала в социально-экономический штопор, выход из которого еще не найден, а предлагаемые меры не адекватны сложившейся ситуации.

Вопросы к разделу 7.2

1. Сформулируйте основные экологические законы, предложенные Б. Коммонером.
2. Перечислите существующие глобальные экологические проблемы.

Выводы по теме

Биосфера Земли является самоорганизующейся системой, имеющей порог устойчивости, который к настоящему времени превышен в 10 раз. Это породило проблему принципиальной выживаемости человечества, к пониманию которой оно оказалось не готовым. Человечеству необходимо срочно пересмотреть свои взаимоотношения с природой, что требует политических решений по консолидации усилий всех стран.

Вопросы к теме

1. Как происходят круговороты веществ в биосфере?

2. Основная функция биоты в круговороте.
3. Каков порог устойчивости биоты и как он был определен?
4. Каковы основные выводы экологов о современном состоянии биосферы?
5. Какой основной вывод был сделан по результатам моделирования последствий ядерного конфликта?
6. В чем суть демографической проблемы?

Литература основная

1. *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. / В.Г. Горшков — М., 1995. С. 8–38.

Литература дополнительная

1. *Шипилов И.А.* Экология. Учебник для высшей школы. — М.: Высшая школа, 1998.
2. [Моисеев Н.Н. Системная организация биосферы и концепция эволюции. // Общественные науки и современность. — 2000. — № 2. — С. 123–131.](#)

ТЕМА 8. ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ ЗЕМНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Краткое содержание темы

В теме рассмотрены процессы, обуславливающие Солнечно-земные связи и их влияние на биосферу Земли и, в частности, на человека, являющегося одним из ее видов.

Методические рекомендации по изучению темы

Материалы данной темы слабо представлены в учебной литературе. Тем не менее, в специализированных источниках они весьма широко обсуждаются. Бездоказательность многих утверждений в широко распространенных книгах по оккультным наукам настолько скомпрометировали сам вопрос, что их включение в рассмотрение означает для автора добровольное отстранение от научного сообщества.

Основная задача этой темы показать, в какой момент во многих утверждениях «вместе с водой выплескивается и сам ребенок». В теме подробно рассматриваются вопросы взаимодействия человечества с окружающей средой не только в настоящее время, но и на протяжении всей истории его развития. Показывается определяющая роль биосферы в развитии земной цивилизации. С другой стороны показано, что процессы в биосфере тесным образом связаны с космическими явлениями. Опосредованно процессы, идущие в космическом пространстве, и особенно на ближайшей звезде — Солнце, самым непосредственным образом влияют на поведение, как отдельного человека, так и общества в целом. Большая заслуга в открытии этих связей принадлежит российским ученым и, в частности, А.Л. Чижевскому. В теме последовательно показано проявление всей цепочки протекающих многообразных процессов в окружающей среде.

При изучении данной темы необходимо четко выделить основные звенья протекающих процессов. Основная сложность здесь в том, что необходимо увидеть связь в чрезвычайно разнородных явлениях, которые, как правило, рассматриваются в различных отраслях знаний. Но природа действует по своим законам и не знает о наших ее делениях на различные отрасли знаний при ее изучении. Со временем появляются новые комплексы знаний, более полно охватывающие существующие связи в природе. В частности материалы этой темы относятся к новой науке — гелиобиологии, где и увязываются такие, на первый взгляд, несвязанные друг с другом процессы, как вспышки на Солнце и их отклик в биосфере или в обществе.

План темы

- 8.1. Солнечно-земные связи.
- 8.2. Активность Солнца.
- 8.3. Влияние солнечной активности на биосферу Земли.
- 8.4. Солнечная активность и человек.

8.1. Солнечно-земные связи

Еще с глубокой древности человек интуитивно постиг главенствующую роль Солнца для жизни на Земле. Однако наука о Солнце, происходящих на его поверхности и внутри него процессах и их влиянии на Землю возникла относительно недавно.

В начале XVII в. европейскими учеными Фабрицием, Шейпером, Гарриотом и, прежде всего Галилеем были начаты исследования пятен на Солнце. Долгое время существование пятен, открытых Галилеем, было предметом споров. Однако, в конце концов, существование пятен стало общепризнанным, и за ними были установлены систематические наблюдения. Наблюдения за пятнами позволили открыть вращение Солнца вокруг собственной оси с периодом 25 земных суток.

Со времени обнаружения солнечных пятен и по сей день сотни астрономов и любителей астрономии устремляли и устремляют свои взоры на Солнце, чтобы понять их природу. Сна-

чала это делалось с помощью примитивных телескопов с зарисовкой их форм, а со временем аппаратура для наблюдений усложнялась, область ее спектральной чувствительности расширялась, а в настоящее время используется оборудование, которое устанавливается на спутниках. При этом одновременно фиксируются как корпускулярные потоки, так и излучение в диапазоне от рентгеновских длин волн до сверхдлинных волн радиодиапазона. Практически за первые десятилетия наблюдений было установлено, что число пятен изменчиво: бывают годы, когда по солнечному диску все время одно за другим проходят пятна больших размеров, и, наоборот, в течение продолжительного времени они не наблюдаются совсем. Цюрихский астроном Р. Вольф (1816–1893) путем обработки всего накопленного разными наблюдателями материала определил более точно период пятнообразования и получил, что его среднеарифметическое значение равно одиннадцати годам. Он также предложил формулу для определения пятнообразовательной солнцедейтельности, которой пользуются до сих пор. Таким образом, помимо вращения со скоростью примерно один оборот в месяц, у Солнца есть и другой очень важный цикл — в 11 лет. Особенностью этого ритма является то, что он несет на себе следы множества других ритмов. Во-первых, его продолжительность заметно меняется в пределах примерно от 7–9 до 14–17 лет. Поэтому говорят не о периодической активности, а о ее цикличности, подразумевая при этом, что продолжительность отдельных циклов может меняться, но в среднем всегда получается около 11 лет. Во-вторых, само количество пятен в максимуме солнечной активности тоже меняется. Поэтому говорят о высоких и низких максимумах. Наконец, так как магнитная полярность пятен (т. е. идущих впереди и сзади пятен) в каждый из периодов меняется, то правильнее рассматривать циклы попарно и считать цикл не в 11 лет, а в 22 года. Со времени создания службы Солнца прошло 22 цикла солнечной активности. Поэтому максимум активности в 1991 г. считают 22-м (первым принято считать цикл, начавшийся в 1755 г.).

Видно, что нарастание максимума происходит не постепенно, а скачками, т. е. кривая претерпевает многочисленный ряд скачков сверху вниз и снизу вверх. Величина этих скачков по мере усиления пятнообразовательного процесса все растет и растет, а в момент максимума достигает своего максимального значения. Эти скачки в появлении и исчезновении пятен, по-видимому, и являются виновниками многих эффектов, которые развиваются на Земле.

Родоначальником систематического изучения влияния активности Солнца на многие процессы на Земле по праву считается ученый А. А. Чижевский (1897–1964). Он суммировал большое количество фактических данных по влиянию солнечной активности на возникновение и интенсивность эпидемий, на сердечно-сосудистую и нервную деятельность людей, на смертность от различных заболеваний и т. д. Он развил научный метод, названный методом «наложения эпох», который позволил правильно использовать сложный, запутанный и на первый взгляд противоречивый материал. Сущность этого метода состоит в том, что данные по какому-либо исследуемому явлению, полученные в различное время (в различные эпохи), рассматривались на одинаковых отрезках времени, «накладывались» друг на друга с совмещением моментов времени, соответствующих определенной фазе солнечной активности, а затем по этим данным проводилось усреднение. В результате такой процедуры удалось отбросить факторы, обусловленные конкретными земными условиями, и выявить статистические закономерности, обусловленные непосредственно солнечно-земными связями. Новым фактором, найденным в результате этих исследований, оказалось статистически надежно установленное влияние на биологические процессы не только долгопериодных процессов, но и отдельных вспышек на Солнце, длящихся дни и часы. Далекое не сразу его идеи и результаты получили признание. Это длилось до тех пор, пока в естествознании не накопился богатый материал, который подтверждал многое из того, что было высказано еще в 30-е гг. К настоящему времени в различных науках накоплен огромный эмпирический материал, подтверждающий корреляционную связь многих явлений с активностью Солнца. Оказалось, что с ней связаны:

— погода на Земле;

- явления в гидросфере и литосфере Земли;
- процессы в биосфере Земли;
- состояние и здоровье людей;
- нарушение радиосвязи и перебои в работе радиолокационных установок;
- магнитные бури и полярные сияния;
- вариации магнитного поля Земли;
- изменение климата;
- вариации в изменении скорости вращения Земли;
- психоэпидемии;
- землетрясения и техногенные катастрофы;
- вулканическая деятельность и т. п.

Приведем только некоторые примеры влияния солнечной активности, связанные с биосферой Земли и общественными явлениями:

1. Величина урожая кормовых злаков.
2. Количество и качество производимого вина.
3. Рост древесины (толщина годичных колец).
4. Время начала цветения растений.
5. Пышность цветения растений.
6. Эпифитотии (широкое распространение инфекционных болезней, охватывающих район, область или страну).
7. Размножаемость и миграция насекомых.
8. Размножаемость и миграция рыб.
9. Время весеннего прилета (миграции) птиц.
10. Размножаемость и миграция животных (грызунов, пушных).
11. Эпизоотии, падеж скота.
12. Количество кальция в крови.
13. Количество гроз и пожаров от молний.
14. Колебания веса младенцев.
15. Психопатические эпидемии, массовые истерии, галлюцинации и т. п.
16. Частота преступлений.
17. Частота несчастных случаев.
18. Повышение нервно-психического тонуса.
19. Частота внезапных смертей.
20. Эпидемии и пандемии.

Видно, что солнечно-земные связи влияют практически на все процессы, идущие в биосфере. Ниже проявления некоторых из них рассмотрены более подробно.

Выводы по разделу 8.1

В результате длительных наблюдений за Солнцем и проявлениями его активности на Земле установлено, что все явления в биосфере остро откликаются на все процессы идущие на нем. Оказалось также, что явления во всех оболочках Земли (атмосфере, гидросфере, литосфере и техносфере) также подвержены сильному влиянию процессов, идущих в околоземном пространстве и на Солнце.

8.2. Активность Солнца

Комплекс нестационарных образований в атмосфере Солнца (пятна, факелы, протуберанцы и др.) называется солнечной активностью. Солнце в основном находится в спокойном состоянии, т. е. на его поверхности не наблюдается каких-то нестационарных явлений. Никакой поверхности (в обычном смысле слова) Солнце не имеет. Мы непосредственно наблюдаем фотосферу, которая является нижним слоем солнечной атмосферы, толщина которой 300÷400 км. Этот слой и излучает практически всю энергию, приходящую к нам от Солнца.

Ниже этого слоя из-за его непрозрачности мы видеть ничего не можем. Температура в фотосфере растет с глубиной и в среднем равна $6\ 000^{\circ}\text{K}$.

При спокойном Солнце вся его поверхность имеет вид гранул, неодинаковых по размерам. Гранулы ярче и, следовательно, горячее, чем окружающие его участки фотосферы. Размеры гранул равны нескольким сотням километров. Время существования отдельных гранул равно $8\div 10$ мин. По существующим представлениям, гранулы — это верхушки конвективных потоков, проникающих из нижних слоев Солнца, подобно подъему перегретого пара в воде в сосуде, подогреваемом снизу. Время от времени на Солнце появляются темные пятна. Пятна кажутся темными лишь по контрасту с фотосферой. На самом деле температура даже самой холодной части пятна $4\ 300^{\circ}\text{K}$. Солнечные пятна значительно крупнее гранул. Диаметры наибольших пятен достигают десятков тысяч километров. Размеры пятен непостоянны, так же как и их форма, и существуют они от нескольких дней до нескольких месяцев. Иногда на Солнце не бывает пятен совсем, а иногда одновременно наблюдаются десятки крупных пятен. Для характеристики пятнообразовательной деятельности на Солнце были введены так называемые числа Вольфа W , определяемые по формуле:

$$W = k \cdot (f + 10 \cdot g),$$

где k — коэффициент, зависящий от условий наблюдения;

f — полное число пятен, включая и пятна в группах;

g — число групп пятен на видимом диске Солнца.

Центральная часть пятна (ядро) окружена волнистой полутенью. Анализ изменения изображения пятна при его приближении к краю солнечного диска позволяет сделать вывод, что пятно представляет собой коническую воронку глубиной $300\div 400$ км.

От цикла к циклу происходит регулярное изменение магнитной полярности пятен. Если для четных циклов ведущие пятна (передние в группе) имеют одну полярность, то для нечетных — другую, причем в северном и южном полушариях Солнца полярность основных образований различна. Поэтому ряд исследователей полагают, что основным является 22-летний цикл, который состоит из двух полуциклов примерно в 11 лет.

Во время активного Солнца из разных его слоев в окружающее пространство выбрасывается мощный поток энергии в виде излучения разных длин волн и корпускулярных потоков, которые, достигая верхних слоев атмосферы Земли, в свою очередь, приводят к многочисленным физическим нестационарным процессам, порождающим отклик в биосфере Земли.

Выводы по разделу 8.2

В активности Солнца наблюдается цикличность, проявляющаяся в виде темных пятен с периодом — 11 лет. При появлении темных пятен на Солнце в его атмосфере протекают сложные процессы, приводящие к выбросу сгустков плазмы, инициирующие, в свою очередь, сложные процессы в верхних слоях атмосферы Земли.

Вопросы к разделу 8.2

1. Какова температура Солнечных (темных) пятен, возникающих во время его активности?
2. Как оценивается активность Солнца?

8.3. Влияние солнечной активности на биосферу Земли

Биосфера Земли длительное время рассматривалась как изолированная саморегулирующаяся система, подчиненная лишь своим внутренним законам.

В работах А. Л. Чижевского, еще в 30-х гг., было показано, что многочисленные функциональные и органические нарушения в жизнедеятельности и развитии биологических систем — от отдельных организмов до популяций и сообществ — обуславливаются комплексом возмущений во внешней физико-химической среде, который имеет своим источником космические воздействия. Особенно резкие изменения в биосфере происходят при изменениях нормального хода процессов на Солнце.

А. Л. Чижевским и другими исследователями было показано, что пики заболеваемости многими болезнями (холерой, чумой, скарлатиной, дифтерией, брюшным и сыпным тифом, малярией, менингитом и др.) строго коррелируют с пиками активности Солнца. Однако ряд заболеваний, типа онкологических, приходятся, наоборот, на минимум активности. В дальнейшем было получено, что не только человек реагирует на солнечную активность, но и жизнь растений, животных и микроорганизмов также зависит от космических процессов.

Наиболее наглядным проявлением влияния космической погоды на растительность является цикличность в толщине годичных колец деревьев. Эти исследования позволили проследить не только влияние 22-годовой цикличности, но и выявить наличие векового цикла, который для секвойи равен 84 годам, и цикл, равный примерно 600 годам. Более короткие циклы модулируются более длительными циклами, и от их соотношения в определенное время зависит конечный результат.

На основе наблюдений А. Л. Чижевского провел исследования влияния солнечной активности на жизнедеятельность микроорганизмов бактериолог С. Т. Вельхвер, который открыл, что рецепторный аппарат коринебактерий чутко реагирует на процессы, идущие на Солнце. При изменении солнечной активности меняются физико-химические свойства этих бактерий, и они переходят из состояния покоя в возбужденное состояние. Эти и другие подобные исследования позволили сделать вывод, что в период повышения активности Солнца многие болезнетворные микроорганизмы, находящиеся до того в латентном состоянии, резко повышают свою активность и растет их число, а это приводит к вспышкам всякого рода заболеваний и эпидемиям.

Наиболее чувствительными являются люди с пониженной сопротивляемостью. Здоровый организм справляется с отклонениями в своей микрофлоре, а для ослабленного организма патогенные микробы представляют собой взрывчатый материал, готовый вспыхнуть от ничтожной искры. Этим и объясняется эпидемиологический характер многих болезней, которые вдруг неожиданно охватывали огромные территории, никак не связанные друг с другом.

Какие же физико-химические механизмы ответственны за столь всеохватные проявления солнечной активности в биосфере, являющейся совокупностью весьма разнородных биологических объектов, различающихся как по размерам, так и степени организованности? При действии на каждый из биологических объектов, по-видимому, воздействует в большей или меньшей степени тот или иной агент или их сочетание в зависимости от его состояния или от состояния окружающей среды.

Главное разделение идет по двум группам факторов — прямое и опосредованное воздействие. Для растительности, по-видимому, проявление, как прямых воздействий, так и опосредованных, дает практически одинаковый вклад. Влияние освещенности и изменения спектра падающего излучения общеизвестно, так же как влияние температуры и влажности. Засухи и весенние заморозки явно ограничивают возможности за вегетационный период обеспечить высокую урожайность.

Жизнедеятельность микроорганизмов в почве, способствующих накоплению азотистых соединений в корневых системах, также способствует росту и урожайности растительных культур. Сложнее дело обстоит с микроорганизмами. Короткие электромагнитные волны (короче видимого излучения) практически не доходят до поверхности Земли, по крайней мере, их вариации крайне малы. Длинные электромагнитные волны (больше размеров микроорганизмов), доходящие до поверхности Земли, вряд ли могут воздействовать непосредственно на микроорганизмы и как-то влиять на их деятельность, так же как и инфразвук. Волны различной природы могут воздействовать на микроорганизмы, когда длина волны соизмерима с их размерами. А вот на биологические объекты, имеющие размер 0,1÷2 м с такой же длиной волны, могут воздействовать как электромагнитные, так и звуковые волны уже достаточно эффективно. Воздействие слабых электрических и магнитных полей с частотами (2÷10 Гц), совпадающими с биоритмами, исследовалось экспериментально. Установлено, что как эти поля, так и поля, совпадающие с геомагнитными пульсациями (частота 0,01÷20 Гц), приводят к изменению ферментных элемен-

тов в крови. Опыты на животных с воздействием ультразвуком и инфразвуком показали их сильное влияние на организм. Животные хорошо слышат звуки очень низких частот. Они воспринимают звук с частотой 12 Гц и даже 8 Гц. Многие представители животного мира являются своеобразными датчиками-предвестниками землетрясений. Опыты с ними показали, что они реагируют и на ультразвук, и на инфразвук, и на изменения электрических и магнитных полей, по величине равные геофизическим полям во время магнитных бурь. Возможно и опосредованное влияние этих воздействий на окружающую среду. Так, ультразвук вызывает помутнение водоемов и изменение химического состава воды подземных источников. У кошек, собак, хомячков, крыс и ящериц очень широкий диапазон порога слышимости — до 100 тыс. колебаний в секунду, что позволяет им слышать ультразвуковые колебания, возникающие, по-видимому, при образовании микротрещин в напряженных породах перед землетрясением. Возможно, что разные представители фауны в зависимости от региона приспосабливались к разным эффектам, имеющим место в предкатастрофических ситуациях. Для жителей Японии, например, основным предвестником является поведение глубоководных рыб, которые перед землетрясением всплывают на поверхность. Ряд наблюдений показывает, что, по-видимому, у многих животных имеется реакция на заряженные аэрозоли, количество которых существенно изменяется в воздухе перед землетрясением. Величина заряда, в свою очередь, определяется состоянием электростатического поля, которое определяется разностью потенциалов между Землей и радиационным поясом Земли.

Однако в последнее время все большее количество ученых склоняется к тому, что основным посредником между живым организмом и геофизическими факторами является вода. Она-то и является синхронизатором многих разнородных явлений, территориально далеко проявляющихся друг от друга. Учеными из г. Пушино обнаружены макроскопические флуктуации в скоростях химических реакций различной природы и их космическая обусловленность. Изменение свойств растворов может приводить к изменению проницаемости клеточных мембран, что, в свою очередь, приведет к изменению процессов в клетке, а значит, и всей биологической системы.

Выводы по разделу 8.3

А.Л. Чижевским и другими исследователями была установлена корреляционная связь между активностью Солнца и процессами в биосфере. При этом было установлено, что влияние может быть как прямым, так и опосредованным. Установлены основные механизмы воздействия солнечной активности на различные виды биосферы.

Вопросы к разделу 8.3

1. Какие болезни у человека коррелируют с пиками активности Солнца?
2. Какие болезни коррелируют с минимумом солнечной активности?

8.4. Солнечная активность и человек

А. Л. Чижевский в 1924 г. в Калуге издал книгу «Физические факторы исторического процесса: влияние космических факторов на поведение организованных человеческих масс и на течение всемирно-исторического процесса начиная с V в. до РХ и по сие время. Краткое изложение исследований и теорий». Именно эта работа заложила основы системных исследований общественных и природных процессов с оценкой влияния на них космофизических факторов. Но его главный труд «Земля в объятиях Солнца» был полностью напечатан только в 1995 г. Им была доказана синхронность максимумов солнечной активности с периодами возникновения революций и войн. Найдено, что так называемые психозидемии наиболее часто происходят во время наибольшего роста солнечной активности. На синхронность «пассионарных толчков» с максимумом солнечной активности указывал также в своей теории этногенеза Лев Гумилев. Многие исторические события с учетом открытых 72-летних (2

по 36 лет) циклов Ганского и 600-летнего цикла Рубашева находят свое естественное физическое объяснение.

Ряд ученых систематизировали наблюдавшиеся исторические события. На основе исторических источников были просуммированы известные события по годам. При этом суммировались события вне зависимости от истории их возникновения, социального значения, идеологии и т. п. В одну и ту же колонку года могли попасть, с точки зрения их социального значения, прямо противоположные события. Например, борьба за социальное равенство в одном государстве и установление монархии в другом. Полученный одним из исследователей (Головановым) график распределения событий (1750–1930) четко коррелирует с активностью Солнца.

Одновременное увеличение и уменьшение массовых проявлений активности на всей поверхности Земли показывают, что причина, инициирующая это, лежит вне социального фактора. В связи с тем, что для определенной территории такой непрерывной периодичности массовых движений не наблюдается, можно сделать вывод, что внешний фактор является своеобразным толчком. При отсутствии объединяющего массы социального фактора повышенная возбудимость выливается в индивидуальные поступки, которые исторически незначимы. Однако при наличии социального фактора индивидуальные поступки создают в среднем единообразное поведение групп индивидов, из которых возникает коллектив, объединенный общими идеями и общим поведением. Следуя законам психической инфекции (или индукции), коллектив растет, постепенно охватывая огромные территории. И это происходит тем быстрее, чем сильнее воздействие космического агента.

Анализ психических эпидемий показывают, что главным показателем участников являются их повышенная возбудимость и ослабление рассудочности при одновременном возрастании роли инстинктивных реакций. Как только для такой возбужденной массы возникают преграды или ущемление ее интересов, рождаются массовые истерии и психозы, выливающиеся в насилие.

Особенно сильное воздействие на биологические объекты наблюдается в так называемых геопатогенных зонах. Эти зоны можно разделить на два больших класса. К первому классу относятся зоны, под которыми проходят трансконтинентальные тектонические разломы, ко второму классу — зоны геологической неоднородности земной коры. Это зоны повышенных напряжений и проницаемости, представленные разломами различного происхождения: палеоруками и руслами рек, подземными водотоками, карстами и пустотами, месторождениями полезных ископаемых, а также структурными нарушениями, заполненными породами, резко отличающимися по своим характеристикам от вмещающих их образований. Все это обуславливает сложные геологические процессы в этих местах, сопровождающиеся изменениями полей: геофизических (гравитационных, магнитных, электрических, инфразвуковых и др.) и геохимических (с выделением повышенных количеств растворов и газов, таких как радон, гелий, двуокись углерода, метан и др., нередко со значительным содержанием тяжелых металлов).

Итак, корреляционные связи причинно-следственной цепочки: определенная конфигурация планет \Rightarrow соответствующая активность Солнца \Rightarrow многообразные процессы на Земле — к настоящему времени достаточно обоснованно установлены.

Таким образом, процессы, происходящие в атмосфере, гидросфере и литосфере, взаимно связаны через сложные цепочки с нелинейными связями. Как известно, нелинейные системы неустойчивы и в них возможно развитие всевозможных процессов с кумуляцией их физического проявления. Вполне возможно, что Земля за время своего существования неоднократно испытывала на себе проявления подобных катастрофических процессов, что и доказывают палеонтологические исследования и легенды многих народов мира.

Выводы по разделу 8.4

Исследованиями установлено, что существует корреляционная связь между количеством происходящих исторически значимых событий и солнечной активностью. Одновременное увеличение и уменьшение массовых проявлений активности людей в различных сообще-

ствах, живущих в разных странах, далеко удаленных друг от друга, позволяет сделать вывод, что причины этого явления лежат не в социальной сфере. Социальные факторы, по-видимому, являются только фоном, на котором проявляется психическая активность, обусловленная внешними воздействиями Солнца на Землю.

Вопросы к разделу 8.4

1. Каковы проявления наблюдаемых психоэпидемий в социальной среде?
2. Влияют ли геопатогенные зоны на эффект воздействия Солнца на Землю?

Выводы по теме

Имеется глубокая связь процессов, идущих на Земле, с процессами, идущими в окружающем нас космическом пространстве. При этом влияние расположения планет не прямое, а опосредованное, что приводит к воздействию на человека многих факторов, совместный эффект влияния которых может проявляться в принципиально различной реакции организмов конкретных людей. Тем не менее, направление вектора отклика в целом, по-видимому, совпадает.

Вопросы к теме

1. В чем заключается сущность метода наложения эпох, разработанного А. Л. Чижевским?
2. Какие явления на Земле обычно наблюдаются во время активности Солнца?
3. Как опосредованно может воздействовать солнечная активность на скорость роста деревьев?
4. Имеется ли определенная периодичность в психическом состоянии общества, и коррелирует ли она с процессами, идущими на Солнце?

Литература основная

1. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. / А.Л. Чижевский. — М.: Мысль, 1976. С. 5–37.

Литература дополнительная

1. *Витинский Ю. И.* Солнечная активность / Ю.И. Витинский. — М.: Наука, 1969.
2. [Авдюшин С.И. Данилов А.Д. Солнечная активность и события на Земле, вымысел и реальность. // Природа. — 1993. — № 3. — С. 33–43.](#)
3. [Ковтюх А.С. Планетарный кольцевой ток как экологическая проблема. // Экология и жизнь. — 2001. — № 6. — С. 46–49.](#)

ТЕМА 9. ОБЩЕСТВО И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Краткое содержание темы

В теме рассмотрены вопросы взаимодействия общества и окружающей среды. Показывается, что с точки зрения естествознания, историю человечества можно рассматривать, как непрерывный процесс повышения коэффициента использования окружающей среды. Однако в конце 20-го века выяснилось, что у биосферы нашей планеты существует предел возможного воздействия на нее. В связи с этим возникает проблема поиска путей дальнейшего развития земной цивилизации. Анализ выдвинутых методов и подходов к решению данной проблемы показывает, что зачастую они носят декларативный характер, а их авторы выдают желаемое за возможное. Наша цивилизация стоит на пороге нового антропогенеза и, по видимому, исходя из истории развития, следует сделать вывод, что мы неминуемо выйдем на освоение новой среды обитания — космос. Временной анализ тенденций развития космонавтики показывает, что это далеко не фантастика в ближайшей перспективе. Основная задача для человечества — уложиться в сроки, определяемые возможностями окружающей среды выдержать существующую антропогенную нагрузку.

Методические рекомендации по изучению темы

В настоящее время получила широкое распространение — концепция устойчивого развития, где неявно предполагается, что еще возможно развитие человечества без принципиального пересмотра стратегии во взаимоотношениях с окружающей средой. Однако обнаруженный выход биоты за порог устойчивости налагает жесткие ограничения на временной интервал, имеющийся у человечества. Основная трудность при освоении данной темы в ее выводах, принципиально отличающихся от широко распространенных в литературных источниках и в ряде дисциплин гуманитарного профиля взглядов, авторы которых не знакомые с проблемой на необходимом уровне, считают, что локальными мерами можно исправить ситуацию. Оптимизировать взаимоотношения с окружающей средой надо, однако необходимо понять, что это дает только выигрыш времени, которое можно беспечно растратить, если будем руководствоваться не точным прогнозом, каким бы нежелательным он нам не был, а иллюзиями и нежеланием решать все усложняющиеся проблемы.

План темы

9.1. История взаимоотношений общества с биосферой.

9.2. Поиск решений стоящих проблем.

9.1. История взаимоотношений общества с биосферой

 [Общество и окружающая среда. Этапы развития человечества в его взаимодействии с природой и ее ресурсами]

Исторически сложилось так, что одна из форм материи — человеческое сообщество — изучается гуманитарными науками без привлечения естествознания. Представители гуманитарных наук объясняют это спецификой объекта изучения исходя из посылки: в природе действуют независимые от объекта процессы, обусловленные причинно-следственными связями, а в обществе ничего не совершается без сознательных целей, интересов и мотиваций людей. Действительно, настоящее физической системы определяется ее прошлым, а поведение мыслящего субъекта определяется не только прошлым, но и представлениями о будущем. В связи с этим сложились как бы две независимые культуры — естественно-научная и гуманитарная. Тем не менее, человечество и все объекты окружающей нас действительности — суть произведения природы, появившиеся на разных этапах ее развития, порождения одного и того же начала и результат единого процесса самоорганизации. Поэтому вряд ли следует противопоставлять одно другому. Более рационально изучать развитие искусственного и естественного с

единых позиций анализа последовательного развертывания все более сложных форм организации материального мира. Человечество — лишь одна из форм природы, в которой появился новый инструмент, именуемый разумом, обладающий определенными свойствами и возможностями саморазвития.

Разделение изучения материального мира на три раздела — мира неживой природы, живых существ и общества на начальных этапах — для детального изучения каждой из подсистем вполне укладывается в общую схему развития науки. Эти три уровня самоорганизации материи разделены качественными скачками в ее эволюции. Но все эти три канала, тем не менее — части единого процесса ее самоорганизации. Поэтому по мере накопления знаний в каждой из подсистем необходимо переходить к рассмотрению системы в целом. Исключение из рассмотрения влияния какой-либо подсистемы может привести к принципиальным ошибкам в интерпретации наблюдающихся явлений.

Появление новых законов в саморазвитии материи с появлением разума не только не отменяет законов, действующих на других ее уровнях, но и позволяет найти ограничения для них, исходя из общей тенденции развития системы природа — общество в целом. Например, закон сохранения энергии, открытый для неживой материи, заведомо неотвратимо ограничивает желания и мотивации людей. Его влияние настолько всеобъемлюще, что с трудом поддается вычленению в каждом конкретном общественном явлении, нам даже не приходит в голову связать какое-либо конкретное общественное явление с процессом его проявления. Проявление законов, действующих в живой материи, уже проще увидеть в общественных явлениях. Так, триада — изменчивость, наследственность, отбор,— открытая Дарвином, достаточно четко проявляется в рыночных взаимоотношениях в обществе.

Поэтому освоение достижений, средств и методов естествознания следует рассматривать не как самоцель, а как возможность использования его достижений при решении социальных проблем. Естествознание в ряде случаев является единственным ключом к пониманию многих гуманитарных проблем и общественных явлений.

На протяжении всей истории человечества делались многочисленные попытки определить основную историко-метрическую единицу развития общества. У Геродота история развития общества базируется на культурно-исторической концепции, в которой рассмотрение истории основано на противопоставлениях: демократии и тирании, эллинских полисов и династий монархов, государств свободных граждан (римлян) и варваров и т. п. Влияние данной концепции нашло отражение и в марксизме при делении общества на буржуазию и пролетариат. В другой, не менее распространенной концепции, история представляется в виде единого всемирно-исторического процесса, в котором ведущую роль играют антропологические особенности народов, религии, национальные особенности и т. п. Одним из ярких представителей интерпретации данной концепции является А. Дж. Тойнби (1889–1975), который за единицу деления исторического процесса взял периодичность развития цивилизации, которая, в свою очередь, определяется изменяющимися географическими факторами.

Довольно близок к данной концепции и подход Л. Н. Гумилева. В его подходе основой является пассионарность — «потенциальная» энергия этноса. И хотя влияние географического фактора у Гумилева является одним из основных, тем не менее, главным регулятором социальных исторических процессов в обществе он у него не является.

Аналогичную ситуацию можно наблюдать и в теории основоположников марксизма. Выделив экономическую составляющую исторического процесса развития общества, они природе отводят вспомогательную роль, изначально принимая постулат о неисчерпаемости ее возможностей. Однако наиболее часто историю представляют как хронологию уникальных событий, обусловленных многими случайностями, — непредсказуемыми желаниями, волей отдельных личностей, стечением обстоятельств и т. п. (финалистический подход). Несмотря на кажущиеся различия в подходах к анализу исторических процессов, все они основаны на мотивациях людей. Анализ ситуации, в которой оказалось человечество в настоящее время, позволяет по-новому взглянуть и на предыдущую историю его развития.

В биосфере основным условием смены одного вида другим является повышение коэффициента использования внешней среды. Имея более высокий коэффициент, новый вид получает преимущества и вытесняет старый из экологической ниши. Историю человечества можно рассматривать как историю непрерывного повышения коэффициента использования окружающей среды. Вначале собирательство растительной пищи, затем охота, т. е. расширение пищевой базы. На последующем этапе человечество для повышения коэффициента использования окружающей среды начало преобразовывать биосферу, изобретая земледелие и скотоводство. На всех этих этапах генетический отбор начал постепенно заменяться новым отбором, реализующимся через общественные отношения.

Переход от генетической эволюции к фенотипической, т. е. обусловленной социальными отношениями, дал одному из видов популяции пралюдей существенные преимущества. Постепенно данный вид вытеснил всех остальных, ему подобных, не принявших этот путь развития. Полученное преимущество было настолько велико, что *homo sapiens* — единственный вид из всех представителей биосферы, получил практически неограниченную возможность в увеличении своей численности. Его численность стала ограничиваться только возможностями окружающей среды в отличие от ситуации для других представителей биосферы, где продолжалась и продолжается межвидовая конкуренция. Единственным врагом для этого вида в природе является он сам. *Homo sapiens* — единственный вид в природе, который уничтожает себе подобных. Получив преимущество над всеми остальными видами, *homo sapiens* надолго попал в нишу достаточно благополучного существования. Однако это не могло продолжаться бесконечно: постепенно ареал существования начал скудеть, вновь встала проблема необходимости изменений в его взаимоотношениях с окружающей средой. Необходимо было изобрести новые способы повышения коэффициента использования окружающей среды. Освоение того, что биосфера накопила за сотни миллионов лет в своих недрах в виде каменного угля, нефти и газа, стало настоятельной необходимостью.

Уже относительно недавно человечество начало осваивать тот ресурс, который планета приобрела при своем возникновении, — радиоактивные элементы. Стоит вопрос освоения того, что образовалось при возникновении Вселенной — изотопов водорода (дейтерия и трития) — для осуществления термоядерного синтеза. Создавалось впечатление, что на этот раз человечество, освоив практически безграничный энергетический ресурс, достигнет такого уровня, когда можно процветать бесконечно. Однако в конце XX в. выяснилось, что у биосферы планеты есть предел воздействия на нее. То есть при уменьшении ареала дикой природы после определенного предела она становится разомкнутой, перестает нормально функционировать и поддерживать условия окружающей среды в определенных режимах, к которым человек, эволюционируя как биологический вид, приспособился.

Итак, мы видим, что подход к истории развития человечества, основанный на рассмотрении его взаимодействия с окружающей средой, позволяет понять мотивы и побудительные причины многих исторических событий. С его помощью также видно, что пути развития человечества, предлагавшиеся основоположниками марксизма, не имеют под собой основы. История развития человечества, которая показывает, что никогда всем всего не хватало, — это история его борьбы за освоение все новых и новых ресурсов окружающей природы, и никакое внутреннее перераспределение не решает проблемы. Открытия же последних десятилетий (предела возможностей планеты) показывают, что человечество вновь стоит перед необходимостью поиска новых ресурсов. При этом возникшая проблема не локальная, как было раньше, и требует быстрого решения, так как изменения в биосфере нарастают по экспоненте.

Из истории видно, что когда возникали аналогичные проблемы в прошлом, то решение находили через объединение людей и расширение ареала их проживания. В данном случае объединяться должно все население планеты, а расширение ареала — это выход в Космос.

Самым принципиальным вопросом в настоящее время является вопрос: а способно ли человечество осознать тот факт, что оно вывело биосферу на грань своего исчезновения, и объединить усилия для разрешения этой ситуации? Реальность такова, что род людской

сможет выжить лишь в условиях жесточайшего самоограничения и коллективной дисциплины. Способны ли мы все подчинить свое поведение требованиям реальности? Как показывает история, каждый подобный этап человечество преодолевало, платя за это стихией войн и морем крови. Однако к настоящему времени человечество накопило в своих арсеналах такую силу, с помощью которой можно многократно смести с планеты все живое. Существующие в настоящее время цивилизационные разломы настолько глубоки и широки, что фатальный исход очень вероятен. Тем не менее, люди обязаны попытаться решить возникшую проблему, так как других путей нет.

Из анализа хронологии качественных изменений взаимоотношений человека и природы видно, что темп смены этих взаимоотношений со временем нарастает. Если для перехода от собирательства к охоте прачеловеку потребовались сотни тысяч лет, то длительность последних этапов составляет максимум несколько десятилетий.

Это связано с возрастанием потенциала возможностей современного общества. Человечество всегда думало только о близлежащих целях и всегда попадало в ситуацию «уже поздно». Мы должны извлечь уроки из предыдущей истории развития взаимоотношений общества — природа. За пренебрежение естественно-научным знанием при рассмотрении общественных процессов человечество платило, платит и будет платить очень дорогую цену, которая, может статься, равна его существованию.

Выводы по разделу 9.1

Анализ глобальной истории человечества показывает, что ее можно рассматривать как непрерывный процесс повышения человечеством коэффициента использования окружающей среды. В связи с ограниченностью земных ресурсов человечество на данном этапе должно незамедлительно перейти на режим самоограничения и коллективной дисциплины, что, по видимому, является нерешаемой проблемой, учитывая все возрастающую скорость роста цивилизационных разломов. Ответа на вопрос: способно ли человечество подчинить свое поведение требованиям реальности?, в настоящее время нет.

Вопросы к разделу 9.1

1. Что является в биосфере условием смены в биосфере одного вида другим?
2. Что позволило одному из видов биосферы (*homo sapiens*) получить неограниченную возможность в увеличении своей численности?

9.2. Поиск решений стоящих проблем

Доказательств, что существующая цивилизация сможет решить выявленные проблемы и выйдет на путь устойчивого развития, к настоящему времени нет. К сожалению, большинство публикаций на эту тему имеют декларативный характер, выдавая желаемое за возможное. Попытки решить проблемы окружающей среды через ужесточение требований к выбросам задачи не решают. Они позволяют только выиграть время и решить вопросы локальной санации территорий. Необходимы новые кардинальные подходы. Основной документ конференции в Рио-де-Жанейро «Повестка дня на XIX век», где сделана попытка рассмотреть весь круг проблем, определить пути их решения, выработать формы сотрудничества, приемлемые для всех сообществ вместе и для каждого из государств, является важным и рубежным документом. Однако он не решает главной проблемы — в заданные сроки (определяемые условиями возможности перехода биоты к качествам допорогового уровня) решить вопрос восстановления устойчивости развития цивилизации. Ввиду того, что в программе не поставлена задача остановить разрушение природных систем Земли в жестко заданные сроки (пока не поздно), она представляет в целом из себя программу пожеланий, декларацию о намерениях. В ней не определены:

— цели, достижение которых в заданные сроки признавалось бы непреложным требованием дальнейшего развития всего мирового сообщества;

— цена достижения поставленных целей, источники финансирования;
— международный институт управления, обладающий авторитетной силой, чтобы обязать каждого строго следовать принятому курсу.

Это яркое свидетельство тому, что современное общество не готово принять вызов времени.

Раскроем скобки этого жестокого тезиса.

Богатые (страны, слои населения) не готовы отказаться от того уровня жизни, который отражает неоправданно большое присвоение источников существования, принадлежащих всем землянам. Попробуем осмыслить хорошо известные факты. Самые богатые 20 % людей в мире имеют доход в 150 раз больший, чем самые бедные 20 %. Промышленно развитые страны, в которых живет 25 % населения планеты, потребляют 70 % всех природных ресурсов и в наибольшей степени ответственны за загрязнение. По данным межправительственной группы по изменениям климата, только страны «семерки», включая США и Японию, выбрасывают в атмосферу 45 % газов, создающих парниковый эффект.

Обеспечение западного стандарта жизни каждому жителю Земли повлекло бы за собой полное истощение природных ресурсов и разрушение биосферы.

Бедные страны не готовы положить конец безответственному (не оправданному наличными ресурсами) росту населения. Бедственное и в определенной степени безысходное положение многих развивающихся стран обусловлено неконтролируемым и совершенно «неподъемным», с точки зрения имеющихся ресурсов, ростом населения. Перенаселенность резко ускоряет разрушение природных систем, а это ведет к голоду, высокой смертности и социальному распаду — лавинообразному разрастанию преступных банд. Ярчайшим примером является развитие событий в Сомали (1992–1993 гг.).

Огромные долги обостряют проблему. В 1989 г. развивающиеся страны были должны 1,2 трлн. долл., что составляет 44 % их общего ВВП. Чтобы погасить эти займы, им приходится ежегодно с 1983 г. экспортировать различных природных ресурсов примерно на 50 млрд. долл. Прямым следствием этой распродажи является разрушение природных систем.

Развитые страны отнюдь не торопятся помогать бедным странам. Ныне уровень помощи составляет 0,35 % ВВП развитых стран. Ожидалось, что к 1995 г. он будет поднят до 0,75 %, а к 2000 г. — до 1 %. И дело не только в том, что у развитых стран полно своих проблем, которые, как считает население этих стран, имеют первостепенную национальную значимость.

Немалую роль играет и убежденность в том, что при нынешнем социальном положении развивающихся стран большая часть помощи «уйдет в песок».

Западная мысль ищет выхода из тупика. В частности, предлагается формула — обмен долгов развивающихся стран на их обязательства проводить курс, направленный на защиту окружающей среды. Так, германский канцлер Г. Коль обещал развивающимся странам прощать часть их долга Германии в обмен на согласие проводить такой курс. Но вряд ли это будет большая часть долга. Не ясно, как скоро примеру Германии последуют другие страны. А если двигаться маленькими шажками, безнадежно потеряем то небольшое время, в течение которого мы еще можем подобрать ключи к приемлемому будущему.

Мы не готовы платить по счетам за эксплуатацию природы. В 1990 г. мир расходовал на вооружение 990 млрд. долл., что составляло 4,3 % мирового ВВП. Самые большие расходы на военные цели были у бывшего СССР — 13 % и США — 5,5 %. При этом расходы развитых стран мира на сохранение окружающей среды составляли от 1 до 2,5 % ВВП. СССР расходовал в 1988–1989 гг. 1,3 % ВВП.

По расчетам ООН, на преодоление гибели земной природы необходимо было до 2000 г. затратить не менее 600 млрд. долл. По данным других международных организаций, необходимо было в 4 раза больше средств. Столь существенная разница в расчетах, очевидно, связана с различным определением границ проблемы, а, следовательно, и той совокупности действий, которые необходимо принять для ее решения.

Если мы хотим перестать бороться со следствиями, а выйти, наконец, на первопричины, надо признать основополагающий факт — проблему сохранения природы Земли уже нельзя вычленивать из проблемы общественного развития. Мы попали в социально-экологический штопор — развитие событий, когда социальные факторы (интересы, обстановка, процессы) не позволяют остановить разрушение природных систем, а это разрушение прямо и непосредственно ведет к деградации социальных структур.

Нагляднее всего это видно на примере ряда развивающихся стран: архаичность социальных структур, низкий уровень национального продукта в расчете на душу населения, неконтролируемый рост населения определяют катастрофическое разрушение природных систем, а это рождает голод, болезни, высокую смертность, разрастание преступного мира. Все это делает невозможным принятие сколько-нибудь эффективных мер по сохранению природы, что в еще большей степени ухудшает социальную обстановку.

В социально-экологический штопор неотвратимо втягивается вся современная цивилизация. Многие в развитых странах мира продолжают видеть миражи выживания в одиночку. Скоро, очень скоро станет ясно, что это химеры.

Для решения проблем общепланетного характера необходим пересмотр системы взаимодействия государств планеты. Инициирование деятельности по нахождению решений, обеспечение и принуждение к их выполнению должен выполнять какой-то орган. ООН в настоящее время таковым органом не является. В настоящее время отсутствует международное экологическое право, подобное морскому или недавно принятому космическому праву. Многие страны являются заложниками своего расположения. Так, Россия, находясь на Востоке относительно европейских стран и тем самым в зоне действия восточных передвижений масс воздуха, из-за вращения Земли получает загрязнений в 4 раза больше с их стороны, чем выбрасывает в обратную сторону. Необходимо наделение ООН правами контролирующего, арбитражного и судебного органа. Необходима выработка мер принуждения к исполнению принятых большинством стран решений. Земная цивилизация под прессингом экологического императива должна выработать новые формы сосуществования, которые должны быть коэволюционны и разумны. Сможем ли мы решить в приемлемые сроки эту задачу — покажет время.

Однако возможны и другие варианты развития событий, и их нельзя не рассматривать. Развитые страны, не пожелав изменить приоритеты, уже сейчас способны начать их реализовывать, покинув в будущем умирающую Землю.

Возможный вариант развития событий будущего земной цивилизации хорошо описан И. С. Шкловским в его статье, в которой он доказывает, что человечество неминуемо продолжит свою экспансию Космоса.

[Хрестоматия: Шкловский И. С. О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной]

Анализируя темпы освоения Космоса, предложенные проекты и стоимость их осуществления, автор получил временную оценку создания искусственных сфер (типа Дайсона), в которых возможно поселение до 10 млрд. человек. При инкременте экспоненты, определяемом временем удвоения параметров ($\cong 15$ лет), он получил, что для этого потребуется около 250 лет. Время освоения всех материальных ресурсов Солнечной системы при таком экспоненциальном росте составляет всего 500 лет. При учете возможных задержек в развитии, связанных с освоением новых технологий, и принятии очень медленной характеристики роста $\cong 1\%$ в год, все равно характерное время освоения нашей цивилизацией Солнечной системы получается равным $\cong 2\,500$ лет. Примерно через 1 000 лет перед такой цивилизацией встанет та же проблема — ограниченность ресурсов конечной системы при экспоненциальном росте параметров ее развития. В этом случае перед человечеством встанет уже задача освоения Галактики. Скорость распространения возмущения составит:

$$V = R/C,$$

где $t \cong 1\,000$ лет (время освоения систем типа Солнечной), а $R \cong 10$ световых лет — среднее расстояние до подходящих, близлежащих звезд.

Отсюда получаем $V \cong 3\,000$ км/с, т. е. 1 % от скорости света. В таком случае, учитывая максимальные размеры Галактики (около 100 тыс. световых лет), время ее колонизации составляет всего лишь 10 млн. лет. Эта величина близка к длительности эволюции человека на Земле и весьма мала по сравнению с характерными временами в Галактике. Например, период вращения Солнца вокруг центра Галактики $\cong 200$ млн. лет, а ее возраст — 20 млрд. лет. Однако такой сценарий развития нашей цивилизации наталкивается на одно препятствие — времени для выхода на такой режим у человечества практически нет! Через 30–50 лет, если сейчас не изменим принципиально существующую стратегию своего развития, начнется общий спад, который не позволит осуществиться такому сценарию. Мы слишком поздно поумнели (некоторые) и не увидели опасности, которую сами создали на Земле. Кажущаяся фантастичность идеи заселения околосолнечного пространства в ближайшее столетие и переселение туда населения развитых стран ни в коей мере не должны определять отношение к рассмотрению проблемы. Нашей цивилизации, по-видимому, не избежать космических войн, но не между пришельцами и землянами, а между ушедшими и оставшимися, как было между Америкой и Англией в свое время. Вопреки распространенному мнению, что история ничему не учит, по-видимому, следует признать, что не учатся историки.

Выводы по разделу 9.2

Анализ результатов усилий человечества по улучшению взаимодействий с окружающей средой показывает, что ситуация со временем не только не улучшается, но с каждым годом становится все хуже. Рост темпов ухудшения экологической ситуации свидетельствует, что современное общество не готово принять вызов времени. В социально-экономический штопор втянулась вся земная цивилизация. История показывает, что на предыдущих этапах развития, когда человечество сталкивалось подобными проблемами, оно всегда шло по пути расширения своего ресурсного потенциала. Наиболее вероятно такой областью на современном этапе является околоземное пространство

Выводы по теме

Поздно осознав глобальность проблемы взаимоотношений природа — общество, человечество попало в социально-экологический штопор, из которого не найдено реального выхода. Предлагаемые варианты носят декларативный характер с принятием желаемого за возможное.

Вопросы к теме

1. Можно ли коэффициент использования окружающей среды взять в качестве историко-метрической единицы развития человечества?
2. Является ли «Программа на XXI», принятая в Рио-де-Жанейро, на самом деле программой?

Литература основная

1. *Шкловский Н. С.* Проблемы современной астрофизики. — М.: Наука, 1982.
2. [*Лазарева И.В. Лазарев В.В. Ульмасвай Ф.С. Феномен столиц. // Общественные науки и современность. — 1999. — № 2. — С. 152–164.*](#)

ТЕМА 10. ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Краткое содержание темы

В теме формулируются основные концепции современного естествознания, в том или ином виде рассмотренные в курсе. Сформулированные концепции являются базисом, определяющим современное понимание окружающего мира. Дается краткий ретроспективный анализ изменений нашей системы взглядов на окружающий мир, итогом которых явилось осознание предела наших возможностей в познании мира существующими методами. Мир оказался сложнее, чем это представлялось на заре великих достижений в его познании. Кратко рассмотрены основные проблемы, считающиеся на современном этапе наиболее важными и определяющими. К этим проблемам относятся как проблемы космологии, так и проблемы микромира, которые неожиданно, оказалось, требуют совместного решения, так как для решения проблемы сингулярной точки необходима теория объединения всех известных в настоящее время фундаментальных сил.

Методические рекомендации по изучению темы

Во многих учебниках по данной дисциплине концепции современного естествознания представляются в виде широкой панорамы современных знаний о природе, включающую в свой состав наиболее важные факты, гипотезы и теории. Однако в более глубокой физической литературе под концепциями понимаются базовые элементы наших знаний, следствием которых и являются частные гипотезы и теории. Концепции более широкое понятие, чем отдельные теории, так как они являются основой одновременно многих областей естествознания. Методологические сложности демонстрации проявления одновременно во многих областях естествознания любой из концепций существенно ограничивают возможности показа существующей системности естествознания, основанной на небольшом количестве исходных идей (концепций). Поэтому необходимо материалы предыдущих тем самостоятельно наложить на сформулированный в этой теме концептуальный каркас, что и позволит увидеть естествознание как единую систему в координатах ограниченного количества идей (концепций), на которых и основано наше современное миропонимание. Современные проблемы, стоящие перед физикой и астрофизикой на современном этапе, приведены для расширения кругозора и детальное ознакомление с ними не является обязательным, поскольку рассматриваемые вопросы выходят за рамки учебной программы поданной дисциплине.

План темы

10.1. Основные концепции современного естествознания.

10.2. Основные проблемы физики и астрофизики на современном этапе.

10.1. Основные концепции современного естествознания

В кратком пособии, естественно, невозможно отразить всей палитры современного естествознания и его достижений. Подводя итог, попытаемся выделить основные его идеи (концепции), которые так или иначе были нами рассмотрены, но не были сформулированы в окончательном виде, и которые являются основными достижениями современной совокупности наук.

К ним относятся:

- концепция относительности пространства и времени, нашедшая свое завершение в частной и общей теориях относительности А. Эйнштейна;
- концепция корпускулярно-волнового дуализма и атомного строения вещества;
- концепции неопределенности и дополнительности, являющиеся определяющими для квантовой механики;
- концепция фундаментальности случайности, также являющаяся основой физики микромира;

- концепция необратимости и роста энтропии в закрытых системах;
- концепция безграничности и эволюции Вселенной;
- концепция иерархичности построения нашего мира;
- концепция структурности в организации биологических объектов;
- концепция биосферы и регулирующей роли биоты;
- концепция эволюции биологических объектов и биосферы в целом;
- концепция самоорганизации открытых систем;
- концепция системности окружающего мира и нашего познания о нем;
- концепция единства природы и общества и их коэволюционной взаимообусловленности.

Перечисленные концепции — это только каркас, на который как бы нанизаны другие идеи и принципы, с помощью которых стало возможным описать окружающий нас мир. Естественно, не все концепции нами рассмотрены с подобающей полнотой, а о ряде основополагающих концепций, таких как, например, концепция антропоцентризма (где основополагающей идеей является: мир именно таков, чтобы было возможно возникновение и существование человечества и его разума), даже не упоминалось. Однако, как говорил Козьма Прутков: «Нельзя объять необъятное». Целью курса является дать понятие об основных закономерностях окружающего мира. Естествознание развивается, появятся новые идеи и воззрения, Вам с ними придется знакомиться и осваивать их уже самостоятельно. Автор надеется, что Вами освоено главное: естествознание прошло сложный путь своего развития. На смену умозрительным схемам об устройстве мира первых натурфилософов через революционные ломки устоявшихся взглядов приходили другие более обоснованные теории и гипотезы, на основе которых и были сформулированы перечисленные концепции, являющиеся базисом, определяющим наше понимание окружающего мира на современном этапе. То есть медленно, но верно возобладал рационализм, возникший в эпоху Возрождения и окончательно утвердившийся в XVII–XVIII вв. в эпоху, которую принято называть эпохой Просвещения. Благодаря открытиям Галилея, Коперника, Ньютона Вселенная вдруг предстала перед человечеством, казалось бы, в своей удивительной простоте. Несмотря на появления в дальнейшем новых фактов, мир предстал перед человечеством в необычайной сложности, но все-таки как механизм, который однажды был кем-то и когда-то «запущен» и который вечно действует по вполне определенным раз и навсегда начертанным и вполне познавательным законам. Возобладала мысль: если мы чего-нибудь сегодня не понимаем, то завтра заведомо поймем. Человек в эпоху Просвещения лишь посторонний наблюдатель того, что происходит во Вселенной. Хотя рационализм и был порожден эпохой Возрождения, когда человечество вернулось к утерянным и практически забытым ценностям античности, но сколь далека была новая система взглядов от того безудержного антропоцентризма, который возник еще в античной Греции. Человек там был равен богам, во всяком случае, мог с ними сравниться, и дорога на Олимп для него была открыта. Он был в силах вмешиваться в происходящее вокруг него — перемещать горы и даже останавливать Солнце. Эту же идеологию гордого человека, преодолевая средневековые воззрения, с удивительным блеском воссоздала эпоха Возрождения.

Она открыла не только античное искусство и философию, но и новые страны и континенты. Наука в эпоху Просвещения перестала быть способом удовлетворения любопытства, она стала средством покорения природы, источником новой человеческой активности. Человечество вновь изобрело способы повышения своего коэффициента использования окружающей природы. В это время возобладал взгляд о неограниченных возможностях человека. Однако оно открыло и законы, имеющие «абсолютный характер», нарушить которые никто не может (например, закон сохранения энергии). *В рамках рационализма был развит метод исследования сложных систем, получивший название редукционизма.* Его исходная идея заключалась в том, что познание сложной системы можно свести к изучению ее элементов, из которых она состоит.

На определенном этапе такой подход дал выдающиеся результаты. Однако постепенно было понято, что свойства системы далеко не всегда равны сумме свойств элементов, из ко-

торых она состоит. Это же относится и к системе знаний. А. Эйнштейн очень точно выразил эту мысль: «Как много мы знаем и как мало мы понимаем». Открытия в физике XX в. окончательно подорвали позиции редукционизма. Концепции релятивистской и квантовой механики явно не укладывались в рамки редукционизма и позволили Ивану Одоевскому (основателю кружка Любомудров) сформулировать мысль: «Хотя рационализм и привел нас к вратам Истины, но не ему суждено их открыть».

Настало время расставания с простотой окружающего нас мира и законов, им управляющих. Оказалось невозможным, например, провести четкое различие между материей и энергией, между материей и пространством. Оказалось, что все отдельные представления — суть части единого неразрывного целого, а наши определения крайне условны: все связано в единый узел.

Однажды великие представители человечества поняли самое главное: отделение человека-наблюдателя от объекта наблюдения вовсе не универсально — оно тоже условно. Субъект-объектное описание — это всего лишь иногда хорошо работающий удобный прием исследования, а не универсальный метод познания. Вспомним для примера опыт с электронами: как только мы узнаем, через какое отверстие пролетает электрон, так он начинает пролетать именно через то отверстие, хотя до этого он пролетал как бы через два отверстия сразу. То есть человек является (и его мышление тоже) неотделимой частью этой суперсистемы. Для представителя естественных наук такое утверждение в настоящее время является следствием экспериментальных данных. Все это заставляет пересмотреть наши взгляды на «абсолютную истину», одну из основных концепций марксистской философии, в которой человек как сторонний наблюдатель, обретая все больше и больше знаний, асимптотически приближается к «абсолютной истине». Но в таком случае он должен приобретать и все больше черт «абсолютного наблюдателя», т. е. не взаимодействующего с изучаемым миром, но это противоречит эксперименту.

Открытия в физике, противоречащие нашему практическому жизненному опыту, породили определенный скептицизм по отношению к науке, ранее считавшейся непререкаемой. Как следствие, резко возрос интерес к вере и оккультным учениям.

Однако открытия в естествознании ни в какой мере не подрывают его основ, а только обозначают предел наших возможностей в познании мира существующими методами. Мир оказался сложнее, чем мы предполагали. Но ведь так было всегда, когда зарождались новые концепции. Значит, мы на пороге новой революции в естествознании. Это и есть одна из последних концепций современного естествознания.

Выводы по разделу 10.1

Естествознание основано на небольшом количестве основных идей (концепций), которые являются его идейным базисом. Множество существующих в естествознании гипотез, теорий и частных законов в конкретных науках являются частным проявлением базисных концепций системы естествознания.

Вопросы к разделу 10.1

1. Перечислите основные концепции современного естествознания.
2. Универсально ли отделение человека-наблюдателя от объекта наблюдения?

10.2. Основные проблемы физики и астрофизики на современном этапе

Современная наука развивается с поразительной скоростью. На протяжении одной жизни наши представления изменяются настолько, что современному человеку, чтобы оставаться на достаточно высоком уровне, приходится доучиваться несколько раз в течение активного периода профессиональной деятельности. Поэтому полезно заглянуть немного в завтрашний день и спрогнозировать возможные достижения наук. Почему выбраны именно физика и астрофизика, несмотря на то, что определяющей наукой в наши дни считается

биология? Дело в том, что, несмотря на значительные достижения в понимании процессов в живых организмах, она, тем не менее, прикладная наука. Фундаментальные воззрения на устройство нашего мира традиционно формировались физикой и астрономией. Вопросы самоорганизации живой материи, являющиеся ключевыми для биологии, развиваются не химиками и биологами, как, казалось бы, должно быть, а физиками, вернее биофизиками, т. е. физиками, занявшимися биологическими проблемами, традиционно использующими физические методы исследований вне зависимости от изучаемого объекта. Генетика и молекулярная биология начали интенсивно развиваться после появления книги Э. Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физики», где собственно и было показано, что биологические объекты являются объектами, где физика применима без каких-либо ограничений.

Обе из рассматриваемых наук в настоящее время так разрослись и дифференцировались, что за деревьями уже трудно разглядеть лес, трудно охватить мысленным взором картину современной физики и астрофизики в целом. Тем не менее, такая картина существует, и, несмотря на все ответвления, у них есть основополагающий стержень.

Таким стержнем являются те концепции, понятия и законы, которые сформулированы в теоретической физике. Однако теоретическая физика — это достаточно медленно складывающаяся наука, отсеивающая временные теории и гипотезы, которыми заполнены многочисленные специализированные журналы, по которым неспециалисту трудно выкристаллизовать намечающиеся тенденции и главные направления исследований. Поэтому воспользуемся работой одного из ведущих физиков-теоретиков В. А. Гинзбурга, опубликованной в «Успехах физических наук» и посвященной данной проблеме.

Рассмотренные им «особенно важные» проблемы выделяются не тем, что другие менее важны, а тем, что на данный момент они находятся в фокусе внимания, т. е. в какой-то мере находятся на главном направлении развития этих наук.

Естественно, в фокус внимания могут не попасть направления, способные «взорвать» в будущем весь фундамент современной науки, так как наука — это, прежде всего, поиск неизвестного, которое к тому же неизвестно где искать. Однако прогноз, основанный на анализе тенденций, тем не менее, полезен, так как позволяет сделать обобщения, полезные сами по себе, а также позволяет увидеть картину в целом.

Интересен также вопрос эволюции «списков», составленных в разные годы, ибо это отражает процесс развития физики. Ранее подобный список составлялся тем же автором 30 лет назад, и, как показало время, кое-что можно предсказать.

Список «особенно важных и интересных проблем» 1999 г.:

1. Управляемый ядерный синтез.
2. Высокотемпературная и комнатотемпературная сверхпроводимость.
3. Металлический водород. Другие экзотические вещества.
4. Двумерная электронная жидкость (аномальный эффект Холла и некоторые другие эффекты).
5. Некоторые вопросы физики твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, переходы металл — диэлектрик, волны зарядовой и спиновой плотности, мезоскопика).
6. Фазовые переходы второго рода и родственные им. Некоторые примеры таких переходов. Охлаждение (в частности, лазерное) до сверхнизких температур. Бозе-эйнштейновская конденсация в газах.
7. Физика поверхности. Кластеры.
8. Жидкие кристаллы. Сегнетоэлектрики.
9. Фуллерены. Нанотрубки.
10. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях.
11. Нелинейная физика. Турбулентность. Солитоны. Хаос. Странные аттракторы.
12. Разеры, гразеры, сверхмощные лазеры.
13. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.
14. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. Кварк-глюонная плазма.

15. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия Λ^\pm - и Z^0 -бозоны. Лептоны.
16. Стандартная модель. Великое объединение. Суперобъединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи.
17. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях. Коллайдеры.
18. Несохранение CP-инвариантности.
19. Нелинейные явления в вакууме и в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме.
20. Струны. М-теория.
21. Экспериментальная проверка общей теории относительности.
22. Гравитационные волны, их детектирование.
23. Космологическая проблема. Инфляция. Л-член. Связь между космологией и физикой высоких энергий.
24. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.
25. «Черные дыры». Космические струны.

 [Хрестоматия: Мартин Дж. Рис. Черные дыры в центрах галактик]

26. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.
27. Проблема темной материи (скрытой массы) и ее детектирования.
28. Происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией.
29. Гамма-всплески. Гиперновые.
30. Нейтринная физика и астрономия. Нейтринные осцилляции.

Сделаем только некоторые комментарии к отдельным пунктам приведенного списка, так как детальное рассмотрение всех проблем выходит далеко за рамки нашего курса.

Работы по управляемому термоядерному синтезу начались 40 лет назад. Поначалу проблема для физиков казалась не очень сложной. Так как на частицы в магнитном поле действует сила Лоренца, направленная поперек его направления движения, то казалось, что достаточно организовать магнитное поле соответствующей конфигурации, и частицы будут достаточно долго там находиться. Если же плазму в такой ловушке нагреть до необходимых температур, то за счет столкновений будут идти реакции синтеза. Полагалось, что, регулируя температуру, можно регулировать и частоту этих процессов. Но ситуация оказалась сложнее, так как частицы ведут себя не как отдельные элементы плазмы, а обладают коллективными свойствами. Коротко говоря, обнаружилось громадное количество неустойчивостей, плазма как целое вываливалась практически из всех бесчисленных предложенных магнитных ловушек.

Понадобилось 40 лет на изучение этого строптивного состояния вещества, и к настоящему времени предложен вариант ловушки под названием «Токамак», разработана техническая документация по международному проекту создания действующего прототипа реактора стоимостью 10 млрд. долл. со сроком реализации к 2005 г. Требующиеся огромные финансовые затраты по этому проекту стимулируют поиск альтернативных вариантов.

Разрабатываются варианты с использованием идеи «холодного термояда», основанного на мюонном катализе, варианты электроядерного синтеза на основе ускорителей частиц, так называемый «лазерный термояд», т. е. импульсный нагрев дейтерий-тритиевой смеси с помощью мощных импульсных лазеров и т. п.

В общем, на данном этапе сомнений в возможности получения энергии с помощью управляемого термоядерного синтеза у физиков нет, и центр тяжести переместился в инженерную и экономическую области.

Почему же не выделяются необходимые финансы для решения проблемы, позволяющей разрешить многие экологические проблемы? Для понимания этого можно привести ответ основоположника термоядерных исследований в СССР А. Л. Арцимовича, данный им еще в 70-х гг. XX в. На вопрос: «Когда физики создадут термоядерный реактор?», он ответил: «Когда это потребуется человечеству».

Если это верно, то человечество в целом еще не созрело для осознания той громадной опасности, которая таится в выведенной из состояния равновесия биосфере. Многие по-прежнему считают, что с помощью локальных очисток территорий можно разрешить экологическую проблему. То есть путают проблемы экологии и охраны окружающей среды, которые во многом совпадают, но и имеют принципиальные различия. В этом и заключается основная проблема и, как следствие, соответствующий подход к проблеме управляемого термоядерного синтеза со стороны политиков и управленцев.

Проблемы со 2-й по 9-ю относятся к физике твердого тела, развитие которой дало мощный толчок для развития техники. Мы уже не можем себе представить жизни без переносных персональных компьютеров с большими экранами, физика формирования изображения на которых принципиально отличается от традиционной, основанной на электронно-лучевой трубке. Создание магнитов с использованием сверхпроводимости, создание принципиально новых элементов усиления сигнала, его быстрой обработки и т. п. — все это физика твердого тела, переживающая в настоящее время бурное развитие, и указанные проблемы — это только видимая часть огромного айсберга.

Проблема поведения вещества при сверхвысоких давлениях всегда вызывала у физиков живейший интерес, так как ее решение позволило бы дать ответ на вопрос: какие процессы идут в центре нашей Земли, в звездах и внутри экзотических образований (пульсарах, квазарах, нейтронных звездах и «черных дырах»)? Предполагалось, что водород при больших давлениях (проблема 3) должен переходить в металлическую фазу. При трех миллионах атмосфер, при низких температурах этого удалось достичь. Экзотические свойства при высоких давлениях удалось обнаружить и у воды, которая и при обычных условиях до сих пор является загадкой для физиков. Необычная физика обнаружена и у искусственно созданных образований — фуллеров (C_{60} , C_{36} и т. д.). Есть вероятность, что они могут обладать сверхпроводимостью при высоких температурах.

Нелинейная физика (проблема 11) сейчас переживает своеобразный бум. Дело в том, что ранее физики занимались в основном линейными процессами, т. е. параметры среды не изменялись под действием воздействия на них. Как теперь стало ясно, в основном наш мир принципиально нелинеен. Даже классический маятник при учете нелинейных эффектов ведет себя странным и удивительным образом.

В качестве примера использования нелинейных эффектов приведем только эффект обращения волнового фронта лазерного пучка. Если бы эффекта обращения волнового фронта не существовало, то не разрабатывалось бы проектов противоракетной обороны, основанных на посылке мощного лазерного пучка, прожигаящего корпус взлетающей ракеты, канализованного именно по тому пути, по которому вернулся луч, отразившийся от ракеты и имевший первоначально широкую апертуру для того, чтобы попасть в ракету на расстояниях в тысячи километров. Как видим, достижения физики сразу же используются военными и политиками.

Проблемы с 14-й по 20-ю относятся к физике микромира. Физики пытаются установить, кончится ли когда-нибудь эта «матрешка» — деление вещества на все более «мелкие» части. Пока считается, что кварки неделимы и они-то и являются теми «атомами», о которых спорили античные натурфилософы. Для доказательства своих гипотез физики нуждаются в ускорителях таких размеров, а это уже становится сложной задачей даже при международном сотрудничестве. Однако такие ускорители разрабатываются и строятся. Они нужны, чтобы проверить имеющиеся гипотезы, объединяющие сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия.

В теоретической физике еще не создана квантовая теория гравитации, и пока не удастся объединить ее с теорией других взаимодействий. Поэтому чрезвычайно интересны проблемы 15–21, в которых прямо или косвенно решаются именно эти проблемы.

Проблемы 21–30 относятся к астрофизике, где одной из основных проблем является проблема создания и проверки общей теории относительности. Существует масса проблем с экзотическими космическими объектами (не путать с летающими тарелками). Остается пока

открытым и вопрос о дальнейшей судьбе нашей Вселенной: будет ли она бесконечно расширяться или все же когда-нибудь начнется обратный процесс? Обнаружение «скрытой» массы, которая может разрешить этот вопрос (проблема 27), — одна из самых актуальных в астрофизике.

Откуда берутся во Вселенной частицы сверхгигантских энергий — тоже вопрос вопросов.

Итак, мы видим, что в современной физике громадное число нерешенных проблем. Она развивается, эволюционирует в своей системе взглядов и концепций, и это — непрерывный процесс. Для управленцев важно понять следующее: страна, которая не ведет фундаментальных научных исследований, отстает навсегда, потому что научные школы не рождаются на голом месте. Наука передается от учителя к ученику так же, как только живое порождает живое.

Выводы по разделу 10.2

В настоящее время ведутся исследования по широкому кругу проблем, решение которых позволит существенно продвинуться как в практическом использовании полученных знаний, так и в более глубоком понимании окружающего нас мира.

Вопросы к разделу 10.2

1. Можно ли сделать вывод, что человечество еще недостаточно осознает значение потери биотой устойчивости, исходя из отношения к проблеме управляемого термоядерного синтеза?
2. В какой области человеческой деятельности, прежде всего, используются новейшие научные достижения?

Выводы по теме

К настоящему времени в естествознании выкристаллизовался основной каркас наших представлений об устройстве нашего мира, на основе которого успешно ведутся исследования по широкому кругу проблем.

Вопросы к теме

1. Почему сформулированные положения являются концепциями современного естествознания?
2. Каковы наиболее характерные этапы развития естествознания и чем они отличаются друг от друга?
3. Какая парадигма в системе взглядов на природу являлась основной в эпоху Просвещения?
4. Является ли редукционизм наиболее приемлемым методом исследования природы на современном этапе?
5. Является ли человек неотъемлемой частью природы, или он стоит над ней?

Литература основная

1. Гинзбург В.Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются наиболее важными и интересными. // Успехи физических наук. — 1999. — Т. 169. — №4. — С. 419–441.

Литература дополнительная

1. Гинзбург В.Л. Физика и астрофизика. — М.: Наука, 1980.
2. Наука и техника — электронная библиотека. Культура. Техника. Образование. — [Электронный ресурс] / авт. В.И. Шубин. — Электрон. дан. — МОО «Наука и техника», 1997–2004. — Режим доступа: <http://www.n-t.org/ri/sb/kt.htm> — Загл. с экрана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтшулер Г. С.* Творчество как точная наука / Г. С. Альтшулер. — М.: Сов. радио, 1979.— С. 6–29.
2. *Гинзбург В. Л.* Какие проблемы физики и астрофизики представляются наиболее важными и интересными // *Успехи физических наук.*— 1999.— Т. 169.— № 4.— С. 419–441.
3. *Голстейн М. и др.* Как мы познаем / М. Голстейн и др.— М.: Знание, 1984.— С. 33–45, 195–204, 235–251.
4. *Горшков В. Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни / В. Г. Горшков.— М., 1995.— С. 8–38.
5. *Девис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы / П. Девис.— М.: Мир, 1989.
6. *Избранные произведения Декарта.*— М., 1950.
7. *Ландау Л. Д. и др.* Курс общей физики / Л. Д. Ландау и др.— М.: Наука, 1969.— С. 195–214.
8. *Мелюхин С. Т.* Материя в ее единстве, бесконечности и развитии / С. Т. Мелюхин.— М.: Мысль, 1996.— С. 3–11, 44–85.
9. *Ранние стадии эволюции звезд* // *В мире науки.*— 1991.— № 9.— С. 16–24.
10. *Сноу Ч. П.* Две культуры / Ч. П. Сноу.— М.: Прогресс, 1973.
11. *Фейнман Р. и др.* Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман и др.— М.: Мир, 1976.— Т. 1–2.— С. 38–71.
12. *Франк-Каменецкий М. Д.* Самая главная молекула / М. Д. Франк-Каменецкий.— М.: Наука, 1983.— С. 33–48.
13. *Черные дыры в центрах галактик* // *В мире науки.*— 1991.— № 1.— С. 16–24.
14. *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь / А. Л. Чижевский.— М.: Мысль, 1976.
15. *Шкловский И. С.* Звезды, их рождение, жизнь и смерть / И. С. Шкловский.— М.: Наука, 1977.— С. 113–142.
16. *Эйнштейн А., Инфельд.* Эволюция физики: Собр. соч.— М.: Наука, 1967.— С. 361–543.

ОГЛАВЛЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	2
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
ТЕМА 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК СИСТЕМА	10
1.1. Фазовая плоскость естествознания в координатах R, V, T	10
1.2. Проблема познаваемости окружающего мира	13
ТЕМА 2. МЕТОДЫ ПОЗНАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА	16
2.1. Рассмотрение связей и последовательности появления обобщений	16
2.2. Миропонимание, мировоззрение, картина мира	18
2.3. Математика и естествознание	20
ТЕМА 3. ЭВОЛЮЦИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ	22
3.1. Эволюция понятий: материя, пространство, время, сила	22
3.2. Кинематика и динамика материальной точки	25
3.3. Законы Ньютона	26
3.4. Законы сохранения	28
3.5. Основные законы электродинамики	29
3.6. Симметрия физических законов	32
3.7. Механика быстро движущихся тел	33
ТЕМА 4. СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ	37
4.1. Сущность химических превращений	37
4.2. Основы термодинамики и статистической физики	39
4.3. Асимметрия работы и тепла	44
4.4. Принципы самоорганизации живой материи	45
4.5. Проблема возникновения жизни	49
ТЕМА 5. СТРОЕНИЕ АТОМОВ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	52
5.1. Основы радиоактивности	52
5.2. Принципы квантовой механики	54
5.3. Строение элементарных частиц	57
ТЕМА 6. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ, ЗВЕЗД, ПЛАНЕТ И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ ВО ВРЕМЕНИ	59
6.1. Становление представлений о Вселенной	60
6.2. Эволюция Вселенной	61
6.3. Звезды, их рождение, жизнь и смерть	64
6.4. Возникновение и эволюция Солнечной системы	69
6.5. Планета Земля	70
ТЕМА 7. БИОСФЕРА ЗЕМЛИ	75
7.1. Основные закономерности, действующие в биосфере	76
7.2. Глобальные экологические проблемы	82
ТЕМА 8. ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ ЗЕМНЫХ ЯВЛЕНИЙ	90
8.1. Солнечно-земные связи	90
8.2. Активность Солнца	92
8.3. Влияние солнечной активности на биосферу Земли	93
8.4. Солнечная активность и человек	95
ТЕМА 9. ОБЩЕСТВО И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	98
9.1. История взаимоотношений общества с биосферой	98
9.2. Поиск решений стоящих проблем	101
ТЕМА 10. ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ	105
10.1. Основные концепции современного естествознания	105
10.2. Основные проблемы физики и астрофизики на современном этапе	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	112
ОГЛАВЛЕНИЕ	113