

И.С. Масленникова, А.М. Дыбов,
Т.А. Шапошникова

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

И. С. Масленникова
А. М. Дыбов
Т. А. Шапошникова

КОНЦЕПЦИИ
СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебник

Министерство образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
инженерно-экономический университет



**И. С. Масленникова, А. М. Дыбов,
Т. А. Шапошникова**

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебник

Рекомендовано
Учебно-методическим объединением по образованию
в области производственного менеджмента
в качестве учебника для студентов
экономических и управленческих специальностей

**Санкт-Петербург
2002**

УДК 50
ББК20
М31

*Утверждено
редакционно-издательским советом СПбГИЭУ*

Рецензенты:

кафедра общей, органической и физической химии СПбГУКТ
(зав. кафедрой д-р хим. наук, проф. *И. Г. Чезлов*),
засл. деятель науки РФ, д-р экон. наук, проф. *Г. А. Краюхин* (СПбГИЭУ),
д-р техн. наук, проф. *В. Е. Сороко* (СПбГТИ(ТУ))

Масленникова И. С., Дыбов А. М., Шапошникова Т. А.

М31 Концепции современного естествознания: Учебник. - СПб.:
СПбГИЭУ, 2002. - 283 с.

ISBN 5-88996-328-7

Учебник по дисциплине «Концепции современного естествознания» подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и представляет собой междисциплинарный синтез физики, химии и биологии на основе историко-философского и эволюционно-синергетического подходов к современному естествознанию. Рассматриваются универсальные, базовые принципы фундаментальных теорий, формирующие представление об интегральной картине мироздания, исходя из целостности и многообразия природы.

Настоящее издание - результат совместной работы преподавателей Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета и Удмуртского государственного университета.

Учебник предназначен для студентов экономических и управленческих специальностей, бакалавров, а также может быть полезен аспирантам и специалистам, интересующимся проблемами современного естествознания.

Авторы учебника: заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор И. С. Масленникова (СПбГИЭУ), кандидат технических наук, доцент А. М. Дыбов (УдГУ), кандидат физико-математических наук, доцент Т. А. Шапошникова (СПбГИЭУ).

УДК 50
ББК 20

ISBN 5-88996-328-7

© СПбГИЭУ, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Общество в настоящий момент переживает период радикальных преобразований. Сочетание микропроцессоров, электроники, глобальных компьютерных сетей привело к настоящему информационному буму, что повлекло за собой всесторонние изменения не только в науке и технике, но в экономической и социальной жизни. Изменилась и основная задача образования. На данном этапе главная его цель состоит в том, чтобы научить специалиста выделять в огромном потоке информации фундаментальные закономерности и универсальные принципы, управляющие окружающим миром. На первый план в области подготовки новых поколений молодых специалистов выдвинулась концепция формирования гармоничной интеллектуальной личности, способной преодолеть профессиональную замкнутость и культурную ограниченность. Требования к уровню научной грамотности и образованности определяются интересами выживания человека как биологического вида и субъекта социального сообщества. Отсюда особое внимание к естественнонаучной подготовке. Критический подход, аналитичность, рациональность, присущие естественнонаучному знанию, важны для мировоззренческой ориентации современного человека. Возникает понимание необходимости гармонизировать отношения человека с природой, использовать в любой области человеческой деятельности методы научного познания, пополнять в течение всей жизни свой научный багаж новой информацией. В сфере управления это дает возможность обеспечивать принятие наиболее обоснованных решений, оценивать ограниченность и модальность наших представлений о поведении сложных систем, понимать специфику природных и социальных явлений в их взаимосвязанности и взаимодополнительности.

Дисциплина «Концепции современного естествознания» - это междисциплинарный синтез физики, химии и биологии на основе историко-философского и эволюционно-синергетического подходов к современному естествознанию.

Студент, изучающий дисциплину «Концепции современного естествознания», должен иметь представление:

- о Вселенной в целом и ее эволюции;
- дискретности и непрерывности в природе;

- соотношении порядка и беспорядка в природе, упорядоченности строения объектов, переходах в неупорядоченное состояние и наоборот;
 - динамических и статистических закономерностях в природе;
 - вероятности как объективной характеристике природных систем;
 - соотношениях эмпирического и теоретического в познании;
 - состояниях в природе и их изменениях со временем;
 - основных этапах развития естествознания, особенностях современного естествознания, ньютоновской и эволюционной парадигмах;
 - концепции пространства и времени;
 - принципах симметрии и законах сохранения;
 - самоорганизации в живой и неживой природе;
 - иерархии структурных элементов материи от микро- до макро- и мегамира;
 - времени в естествознании;
 - основных химических системах и процессах;
 - взаимодействиях между физическими, химическими и биологическими процессами;
 - специфике живого, принципах воспроизводства и развития живых систем, их целостности и гомеостазе, иерархичности, уровнях организации и функциональной асимметрии;
 - биологическом многообразии, его роли в сохранении устойчивости биосферы и принципах систематики;
 - физиологических основах психологии, социального поведения, экологии и здоровья человека;
 - взаимодействия организма и среды, сообщества организмов;
 - месте человека в эволюции Земли, ноосфере и парадигме единой культуры;
 - физическом, химическом и биологическом моделировании;
 - новейших открытиях естествознания.
- Знать и уметь использовать:
- фундаментальные понятия, законы и модели классической и современной физики, химии и биологии;

- методы оценки численных порядков величин, характерных для различных разделов естествознания.

Содержание настоящего учебника полностью соответствует требованиям государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования в области концепций современного естествознания. Учебник состоит из 15 разделов и 8 приложений.

Авторы выражают глубокую признательность кандидату технических наук, доценту В. А. Иванову (УдГУ) за ценные рекомендации и замечания по подготовке учебника.

1. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ КУЛЬТУРЫ

1.1. Проблемы двух культур

Истоки проблемы двух культур - естественнонаучной и гуманитарной - следует искать в античности, когда возникло два типа творческой духовной активности, два подхода к познанию мира. С одной стороны, это научный подход Евклида и Архимеда, основа которого в общих чертах сохранилась и в наше время. С другой стороны, это творчество философов и художников, тоже в целом сохранившееся неизменным для духовного мира человека. Уже в геометрии Евклида выражено то, что обычно рассматривается как идеал математики в любой математизированной науке, познающей окружающий мир.

Несмотря на то, что история оставила много сведений об исследованиях Архимеда, которые имели большое практическое значение, в сочинениях ученого, дошедших до нас, нет рассмотрения технической стороны вопросов. Все изложение ведется в строго абстрактной форме. Это можно объяснить духом эпохи, презрением к физическому труду, мнением, что наука должна служить лишь духовному самоусовершенствованию. Четкого деления культур еще не произошло. Но даже при таком общем подходе в законах Архимеда все же можно проследить научный метод познания окружающего мира. Путь познания истины - это путь от интуитивного наблюдения к обобщающему закону, а затем на основе дедукции вывод новых положений, проверенных на практике. Так строится здание науки.

Но одновременно с Евклидом и Архимедом существовали великие мыслители, не допускавшие отрыва познания материального мира от четких эстетических критериев. Так, повторяемость движения планет по круговым орбитам, по их взглядам, - результат того, что круг - идеальная замкнутая кривая, т. е. гармония правит миром, является определяющим фактором.

В принципе, постулаты, вводимые подобным образом сугубо на эстетической основе, имеют такое же право на использование, как и аксиомы Евклида или законы Архимеда. Они в равной мере интуитивны, и их справедливость может быть проверена опытом. Это касается и следствий, полученных из них с помощью дедукции. Но в этом случае конкретные эстетические критерии выступают на первый план и становятся основополагающими: прекрасное, гармоничное, завершенное - вот основные двигатели науки по данной концепции.

Этот второй подход к естественнонаучным знаниям в случае его успеха проложил бы мост между эстетическим (гуманитарным) и формализуемым (дедуктивным). Однако сама история науки сняла с повестки дня такую упрощенную форму. С течением времени расхождение двух интеллектуальных систем: естественнонаучной и гуманитарной - углубилось. В конце концов их стали рассматривать как антагонистические, взаимоисключающие.

Следующий этап развития культуры - это постепенное проникновение математических методов, физических моделей в гуманитарные науки. Достаточно вспомнить таких художников XX в., как Н. Филонов, который отстаивал принцип «аналитического искусства», основанного на разложении природы на бесконечно дробящиеся первоэлементы, или К. Малевич, использовавший комбинирование на плоскости простейших геометрических фигур в соответствии с разработанной им системой «абстрактного искусства».

У многих представителей точных наук появилась глубокая уверенность, что с помощью математики можно решать любые, в том числе и чисто гуманитарные проблемы.

Еще большее сближение культур обусловило развитие кибернетики, появление в ней принципиально новых технологий. Можно считать, что наметилась тенденция к очеловечиванию естественнонаучных знаний. Теперь ЭВМ освободила ученого от логических трудностей, оставив ему лишь чисто творческую деятельность. Компьютеры получают широкое применение в качестве инструмента практически во всех сферах гуманитарной деятельности, заменяя человеческий интеллект или помогая ему.

1.2. Научный метод

В любой науке процесс познания начинается либо с наблюдения явлений в естественных условиях, либо со специально поставленных опытов - экспериментов.

На основе накопленного экспериментального материала строится предварительное научное предположение о механизме и взаимной связи явлений - создается гипотеза. Это еще не научная теория. Гипотеза требует проверки и доказательств.

Некоторые гипотезы, ряд следствий из которых противоречит опыту, оказываются ошибочными и отбрасываются при дальнейшем развитии науки, как, например, гипотеза флогистона.

Другие выдерживают проверку опытом и, правильно предсказывая новые, ранее неизвестные явления, входят в науку в качестве теорий. К хорошей теории предъявляются следующие требования. Теория должна:

- исходить из небольшого числа фундаментальных положений;
- быть достаточно общей;
- быть точной;
- допускать возможность усовершенствования.

Вся история науки показывает, что процесс познания материального мира не заканчивается четким простым циклом - от опыта к теории и от теории обратно к опыту. Очень скоро обнаруживаются новые области явления и накапливаются факты, объяснение которых не укладывается в рамки существующих теорий и требует выдвижения новых гипотез. Примером может служить непрерывное развитие наших знаний и представлений о строении вещества.

Проследив историю развития науки, можно легко различить период эволюционного и периоды революционных изменений. Это относится не только ко всей науке в целом, но к развитию ее отдельных областей и даже отдельных теорий. В эволюционный период наука или какая-то ее область развиваются спокойно, следуя уже сложившимся взглядам. В это время господствует определенная традиция, конкретная методология исследований и т. п. Большинство ученых находится под влиянием общей атмосферы науки и следует, по выражению Т. Куна, определенной «парадигме» (парадигма - строго научная теория, воплощенная в системе понятий, выражающих существенные черты действительности), над ними господствует

определенный «фон», по терминологии Д. Поппера. В этот период решение различных конкретных вопросов осуществляется по вполне установленным, отработанным, привычным принципам. Задача науки на этом этапе - проводить все более и более точные расчеты частных закономерностей, шлифовать основные положения, придавая им более совершенный, логически стройный вид, и т. п.

Но проходит время, и период эволюционного «мирного» развития науки кончается, начинается период революции. Происходит крушение старых принципов, устанавливаются новые взгляды, новые представления, новые теории. Революционные перевороты в науке сопровождаются обычно борьбой мнений. Старые теории и представления далеко не сразу, не без борьбы уступают место новым теориям и представлениям. Иногда борьба приобретает очень острые формы, поднимаясь до уровня политической борьбы. Из истории известно, что это имело место при смене теорий, охватывающих широкий круг вопросов и затрагивающих основные представления, которые были связаны с общими философскими взглядами. В этом случае в борьбу включались философия, религия и даже власть. Борьба приобретала очень острые формы.

Но вот революция закончилась, возникает новый «фон», новая «парадигма», и вновь наступает эволюционный период развития науки и ее отдельных областей. Новая теория не всегда отрицает старую, но чаще всего включает ее в себя как часть, т. е. становится более широкой и всеохватывающей.

Таким путем - по непрерывно восходящей спирали - идет развитие науки. Человек все более и более глубоко проникает в сущность окружающего его материального мира. И этот путь бесконечен...

2. ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ ДО НАЧАЛА XX в. ПАНОРАМА СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. РОЖДЕНИЕ НОВОЙ ЭВОЛЮЦИОННО-СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ НАУКИ

2.1. Предмет и цели естествознания

Предмет изучения в естествознании - различные формы движения материи в природе: их материальные носители (субстрат), образующие лестницу последовательных уровней структурной организации материи, их взаимосвязи, внутренняя структура и генезис; основные формы всякого бытия - пространство и время; закономерная связь явлений природы как общего характера, охватывающая ряд форм движения, так и специфического характера, касающаяся лишь отдельных сторон тех или иных форм движения, их субстрата и структуры.

Природа, которая служит предметом естествознания, рассматривается не абстрактно, вне деятельности человека, а конкретно, как находящаяся под воздействием человека. Познание достигается не только теоретически, но и методом экспериментов в практической производственной деятельности людей. Естествознание как отражение природы в человеческом сознании совершенствуется в процессе ее активного преобразования в интересах общества. Цели естествознания двоякие: 1) определять сущность явлений природы, их законы и на этой основе предвидеть или создавать новые явления и 2) раскрывать возможность использования на практике познанных законов, сил и веществ природы. Можно сказать: познание истины (законов природы) - непосредственная или ближайшая цель естествознания, содействие их практическому использованию - конечная цель естествознания.

Цели естествознания совпадают, таким образом, с целями самой человеческой деятельности.

2.2. Общий ход развития естествознания

Место естествознания в жизни и развитии общества обусловлено его связями с другими социальными явлениями и институтами, прежде всего с техникой, а через нее с производством, производительными силами вообще и с философией. При всей внутренней целостности самой природы и теоретического взгляда на нее, естествознание представляет собой весьма сложное явление, обладающее различными сторонами и связями, нередко противоречивыми. Естествознание не входит ни в базис, ни в идеологическую надстройку общества, хотя в своей наиболее общей части (где формируется картина мира) оно связано с этой надстройкой. В современную эпоху естествознание опережает технику в своем развитии, так как его объектами все чаще становятся совершенно новые, неизвестные ранее вещества и силы природы (например, атомная энергия), а поэтому прежде чем ставить вопрос о техническом применении, требуется «фронтальное» их изучение со стороны естествознания. Тем не менее техника с ее потребностями остается движущей силой развития естествознания. Связь с техникой лежит в основе определения естествознания как непосредственной производительной силы.

Общий ход развития естествознания включает в себя основные ступени познания природы. Общий ход познания природы, как и всякого познания вообще, проходит следующие основные ступени:

1) непосредственное созерцание природы как нерасчлененного целого; здесь охватывается верно общая картина, но совершенно неясны частности; такой взгляд был присущ древнегреческой натурфилософии;

2) анализ природы, расчленение ее на части, выделение и изучение отдельных вещей и явлений, поиски отдельных причин и следствий, например, анатомирование живых организмов, выделение составных частей сложных химических веществ; но за частностями исчезает общая картина универсальности связи явлений;

3) воссоздание целостной картины на основе уже познанных частей путем приведения в движение остановленного, оживления омертвленного, связывания изолированного раньше, т. е. на основе фактического соединения анализа с синтезом.

История естествознания находится в неразрывной связи с историей всего общества, каждому типу и уровню развития производительных сил отвечает своеобразный период в истории естествознания. Как самостоятельное, систематическое исследование природы естествознание возникло во второй половине XV в.; более ранние периоды естественнонаучных знаний можно рассматривать как зачаточные, или подготовительные к систематическому изучению природы. Соответственно выделяются следующие периоды.

Первый подготовительный период - натурфилософский (зарождение элементов будущего естествознания) - характерен для древности. В целом техника была еще слабо развита, хотя имелись уже отдельные выдающиеся технические достижения. Начали складываться в самостоятельные отрасли знания статика, астрономия и обслуживающая их математика. Позднее стала выделяться химия (в форме алхимии). Анатомия, медицина, физика находились в зачаточном состоянии. Все естественнонаучные знания и воззрения входили в единую недифференцированную науку, находившуюся под эгидой философии. Дифференциация наук впервые наметилась в конце этого периода (александрийская наука). Второй подготовительный период характеризуется господством схоластики и теологии в Западной Европе и спорадическими открытиями у арабоязычных народов. Наука на Западе стала придатком теологии (астрономия, алхимия, магия, кабалистика чисел). Прогресс техники на Западе совершался крайне медленно. Техника почти не нуждалась в систематическом изучении природы, а поэтому и не оказывала заметного влияния на развитие естественнонаучных знаний. Но в это время, хотя и замедленно, шло накопление новых фактов, подготовивших переход к следующему периоду. В целом это была переходная полоса между первой и второй фазами общего хода естествознания.

Период механического и метафизического естествознания, начавшийся с возникновения естествознания как систематической экспериментальной науки в эпоху Возрождения, отвечает времени становления и утверждения капиталистических отношений в Западной Европе (со 2-й половины XV в. до конца XVIII в.). Естествознание этого периода революционно по своим тенденциям. Здесь выделяется естествознание начала XVII в. (формирование механического естествознания - Г. Галилей) и конца XVII - начала XVIII в. (завершение этого процесса - И. Ньютон). Так как господствующим методом

мышления стала метафизика, этот период можно назвать метафизическим. Но уже тогда в естествознании делались открытия, в которых обнаруживалась диалектика. Естествознание было связано с производством, превращавшимся из ремесла в мануфактуру, энергетической базой которой служило механическое движение. Возникла задача изучения механического движения, поиска его законов. Мореплавание нуждалось в небесной механике, военное дело - в разработке баллистики. Естествознание было механическим, поскольку ко всем процессам природы прилагался исключительно масштаб механики. Но уже создание в XVII-XVIII вв. в математике анализа бесконечно малых (И. Ньютон, Г. Лейбниц) и аналитической геометрии (Р. Декарт), космогоническая гипотеза Канта-Лапласа, атомно-кинетическое учение М. В. Ломоносова, идея развития в биологии К. Вольфа подготовляли крушение метафизического взгляда на природу.

Период открытия всеобщей связи и утверждения эволюционных идей в естествознании характеризуется стихийным проникновением диалектики в естествознание, так что его можно также назвать стихийно-диалектическим. Промышленность вступает в фазу крупного машинного производства, начавшегося в конце XVIII в., здесь уже налицо технический и промышленный переворот. Энергетической базой промышленности становится паровой двигатель, и преимущественное развитие механики перестает удовлетворять потребностям производства. На первый план выдвигаются физика и химия, изучающие взаимопревращения форм энергии и видов вещества (химическая атомистика). В геологии возникает теория медленного развития Земли (Ч. Лайель), в биологии зарождается эволюционная теория (Ж. Ламарк), развиваются такие науки, как палеонтология (Ж. Кювье), эмбриология (К. М. Бэр). Возникает необходимость сочетать анализ с синтезом в целях теоретического охвата накопленного опытного материала.

Три великих открытия (2-я треть XIX в.): клеточная теория, учение о превращении энергии и дарвинизм - нанесли окончательный удар по старой метафизике. Затем последовали открытия, раскрывшие диалектику природы полнее: создание теории химического строения органических соединений (Л. М. Бутлеров, 1861), периодической системы элементов (Д. И. Менделеев, 1869), химической термодинамики (Я. Х. Вант-Гофф, Дж. Гиббс), основ научной

физиологии (И. М. Сеченов, 1863), электромагнитной теории света (Дж. К. Максвелл, 1873).

Стимулирующее воздействие на естествознание новых потребностей техники привело к тому, что в середине 90-х гг. XIX в. началась новейшая революция в естествознании, главным образом, в физике (открытия электромагнитных волн Г. Герцем, коротковолнового электромагнитного излучения К. Рентгеном, радиоактивности А. Беккерелем, электрона Дж. Томпсоном, светового давления П. Н. Лебедевым, введение идеи кванта М. Планком, создание теорий относительности А. Эйнштейном, радиоактивного распада Э. Резерфордом и Ф. Содди, изобретение радио А. С. Поповым), а также в химии, биологии (возникновение генетики на базе законов Г. Менделя). В 1913-1921 гг. на основе представлений об атомном ядре, электронах и квантах И. Бор создает модель атома, разработка которой ведется согласно периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Это - первый этап революции в физике и во всем естествознании. Он сопровождается нарушением прежних представлений о материи и ее строении, свойствах, формах движения и типах закономерностей, о пространстве и времени. Это привело к кризису физики и всего естествознания и вызвало основное противоречие естествознания данного периода. Второй этап революции в естествознании начался в середине 20-х гг. XX в. в связи с созданием квантовой механики и сочетанием ее с теорией относительности в общую квантово-релятивистскую концепцию. Происходит дальнейшее бурное развитие естествознания, и в связи с этим продолжается коренная ломка старых понятий, главным образом, тех, которые связаны со старой классической картиной мира. Началом 3-го этапа в естествознании было первое овладение атомной энергией в результате открытия деления ядра (1939) и последующие исследования (1940-1945), с которыми связано зарождение электронно-вычислительных машин и кибернетики. Полное развитие этот этап получил в середине XX в. Его особенностью является то, что наряду с физикой теперь лидирует в естествознании целая группа отраслей естествознания: биология (особенно генетика, молекулярная биология), химия (особенно макрохимия, химия полимеров), а также науки, смежные с естествознанием, - космонавтика, кибернетика. Если в начале XX в. физические открытия развивались самостоятельно, то с середины XX в. революция в естествознании органически слилась с революцией в технике, приве-

дя к современной научно-технической революции. С точки зрения практики, решающую роль приобретают фундаментальные науки, без которых не может развиваться современная техника.

2.3. Классификация проблем естествознания

Общеметодологические проблемы естествознания группируются вокруг вопросов, которые связывают между собой все отрасли естествознания:

а) раскрытие всеобщей связи явлений природы, их взаимопереходов, их взаимообусловленности, особенно живой и неживой природы (сущность жизни и ее химизм, ее происхождение, физико-химические основы наследственности), проблемы междисциплинарных наук - биокибернетики, биохимии, биофизики, молекулярной биологии, бионики;

б) движение естествознания к сущности явлений, раздвижение ранее достигнутых пределов как в глубь материи (область элементарных частиц и вообще атомного мира), так и в сторону макро- и мегаобъектов (особенно макрокосмоса - околоземного и далее лежащего). Теория относительности, ядерная физика, учение об элементарных частицах развиваются в этом направлении;

в) взаимосвязь принципов развития и единства природы, дающая возможность раскрывать в их взаимозависимости структуру и генезис объектов природы (космогонические гипотезы в звездной и планетной астрономии);

г) дальнейшее раскрытие реальных противоречий объектов природы (корпускулярно-волновой характер физических микрообъектов, частиц и античастиц; абстрактно-математические, в том числе кибернетические, и конкретно-материальные стороны изучаемых процессов; динамических и статистических закономерностей, соответственно - случайности и необходимости, прерывности и непрерывности процессов природы);

д) выявление качественных различий в природе, подобных различию между макро- и микрообъектами в физике; проблема скачка и форм его протекания, включая вопрос об антропогенезе;

е) выяснение соотношения между материей и сознанием и законами функционирования сознания. Это затрагивает не только естество-

вознание, в том числе зоопсихологию и учение о высшей нервной деятельности, но и такие науки, как логика, психология, кибернетика и ряд социальных наук;

ж) комплексное изучение законов развития самого естествознания, места естествознания в жизни общества, структуры естествознания, организации, управления и прогнозирования (наукоедение) и связи естествознания с техникой и другими социальными институтами.

2.4. Особенности эволюционно-синергетической парадигмы науки

Исследовательский инстинкт глубоко укоренен в человеческой природе. Человеку всегда было свойственно стремление превзойти самого себя, свои достижения и результаты. Человек страстно желает увидеть свое собственное будущее, представить себе будущее человеческого рода, человеческой цивилизации. Как эти, так и другие вопросы, касающиеся будущего и перспектив развития сложноорганизованных систем, изучаются в русле нового научного направления - синергетики, которая, на наш взгляд, может выступить в качестве методологической основы для прогностической и управленческой деятельности в современном мире. Синергетика ориентирована на поиск неких универсальных законов эволюции и самоорганизации сложных систем, законов эволюции открытых неравновесных систем любой природы. Широкое распространение представления о становлении порядка через хаос, необратимости времени, неустойчивости как фундаментальной характеристике эволюционных процессов получили благодаря опубликованным в нашей стране книгам И. Пригожина и его коллег из Брюссельского Свободного Университета. Обратим внимание также на менее известную в нашей стране Шпрингеровскую серию книг по синергетике, в рамках которой под общей редакцией Г. Хакена начиная с 1979 г. издано уже более 50 томов по самым разным аспектам динамики самоорганизации в природных, социальных и когнитивных системах. В последнее время появились фундаментальные коллективные исследования тех революционных изменений в картине мира, методологических основаниях науки, в самом стиле научного мышления, которые происходят в связи с развитием теории самоорганизации (синергетики).

Синергетика разрушает многие наши привычные представления. Даже в настоящее время многих пугает хаос. Еще в мифологии он уподоблялся зияющей бездне. Хаос представлялся сугубо деструктивным началом мира. Казалось, что он ведет в никуда.

Случайность тщательно изгонялась из научных теорий. Она считалась второстепенным, побочным, не имеющим принципиального значения фактором. Существовало убеждение, что случайности никак не сказываются, забываются, стираются, не оставляют следа в общем течении событий природы, науки, культуры. А мир, в котором мы живем, рассматривался как не зависящий ни от микрофлуктуаций на нижележащих уровнях бытия, ни от малых влияний космоса.

Довольно прочно укоренился миф о том, что единичное человеческое усилие не может иметь видимого влияния на ход истории, что деятельность каждого отдельного человека несущественна для макросоциальных процессов. Неравновесность и неустойчивость воспринимались с позиции классического разума как досадные неприятности, которые должны быть преодолены. Это нечто негативное, разрушительное, сбивающее с пути, с правильной траектории.

Развитие понималось как поступательное, без альтернатив. Считалось, что пройденное представляет лишь исторический интерес. Если и есть возвраты к старому, то они являют собой диалектическое снятие предыдущего уровня и имеют новую основу. Если и есть альтернативы, то они всего лишь случайные отклонения от магистрального течения, подчинены этому течению, определяемому объективными законами универсума. Все альтернативы в конечном счете сводятся, вливаются, поглощаются главным течением событий. Картина мира, рисуемая классическим разумом, - это мир, жестко связанный причинно-следственными связями. Причем причинные цепи имеют линейный характер, а следствие если не тождественно причине, то по крайней мере пропорционально ей. По причинным цепям ход развития может быть просчитан неограниченно в прошлое и будущее. Развитие ретросказуемо и предсказуемо. Настоящее определяется прошлым, а будущее - настоящим и прошлым.

Классический, традиционный подход к управлению сложными системами основывался на представлении, согласно которому результат внешнего управляющего воздействия есть однозначное и линейное, предсказуемое следствие приложенных усилий, что соответствует схеме: управляющее воздействие - желаемый результат. Чем больше

вкладываешь энергии, тем больше будто бы и отдача. Однако на практике многие усилия оказываются тщетными, «уходят в песок» или даже приносят вред, если они противостоят собственным тенденциям саморазвития сложноорганизованных систем. Один из господствующих по сей день мифов линейного мышления – это представление о том, что процессы бурного роста (возрастание народонаселения земного шара, рост знания, «экономическое чудо») происходят по экспоненте. На самом деле, большинство процессов лавинообразного роста происходят не по экспоненте, а в так называемом режиме с обострением, когда рассматриваемые величины хотя бы часть времени изменяются по закону неограниченного возрастания за конечное время. Синергетика поражает необычными идеями и представлениями. Поворачивая магический кристалл знания иной гранью, она учит нас видеть мир по-другому.

Во-первых, становится очевидным, что сложноорганизованным системам нельзя навязывать пути их развития. Скорее необходимо понять, как способствовать их собственным тенденциям развития, как выводить системы на эти пути. В наиболее общем плане важно понять законы совместной жизни природы и человечества, их коэволюции. Проблема управляемого развития принимает, таким образом, форму проблемы самоуправляемого развития.

Во-вторых, синергетика демонстрирует нам, каким образом и почему хаос может выступать в качестве созидающего начала, конструктивного механизма эволюции, как из хаоса собственными силами может развиваться новая организация.

Через хаос осуществляется связь разных уровней организации. В соответствующие моменты – моменты неустойчивости – малые возмущения, флуктуации могут разрастаться в макроструктуры. Из этого общего представления следует, в частности, что усилия, действия отдельного человека не бесплодны, они отнюдь не всегда полностью растворены, нивелированы в общем движении социума. В особых состояниях неустойчивости социальной среды действия каждого индивидуума могут влиять на макросоциальные процессы. Отсюда вытекает необходимость осознания каждым человеком огромного груза ответственности за судьбу всей социальной системы, всего общества.

В-третьих, синергетика свидетельствует о том, что для сложных систем, как правило, существует несколько альтернативных путей развития. Неединственность эволюционного пути, отсутствие жест-

кой предопределенности сужают основу для позиции пессимизма эсхатологического толка. Укрепляется надежда на возможность выбора путей дальнейшего развития, причем таких, которые устраивали бы человека и вместе с тем не являлись бы разрушительными для природы.

Хотя путей эволюции (целей развития) много, но с выбором пути в точках ветвления (точках бифуркации), т. е. на определенных стадиях эволюции, проявляет себя некая предопределенность, преддетерминированность развертывания процессов. Настоящее состояние системы определяется не только ее прошлым, ее историей, но и строится, формируется из будущего, в соответствии с грядущим порядком. Что касается человека, то именно явные осознанные и скрытые подсознательные установки определяют его поведение сегодня.

В-четвертых, синергетика открывает новые принципы суперпозиции, сборки сложного эволюционного целого из частей, построения сложных развивающихся структур из простых. Объединение структур не сводится к их простому сложению: имеет место перекрытие областей локализации структур с дефектом энергии. Целое уже не равно сумме частей. Вообще говоря, оно не больше и не меньше суммы частей, оно качественно иное. Появляется и новый принцип согласования частей в целое: установление общего темпа развития входящих в целое частей.

Понимание общих принципов организации эволюционного целого имеет большое значение для выработки правильных подходов к построению сложных социальных, геополитических целостностей, к объединению стран, находящихся на разных уровнях развития, в мировое сообщество.

В-пятых, синергетика дает знание о том, как надлежащим образом оперировать со сложными системами и как эффективно управлять ими. Малые, но правильно организованные – резонансные – воздействия на сложные системы чрезвычайно эффективны. Поразительно, что это свойство сложной организации было угадано еще тысячелетия назад родоначальником даосизма Лао-цзы и выражено в вечно озадачивающей нас форме: слабое побеждает сильное, мягкое побеждает твердое, тихое побеждает громкое и т. д.

В-шестых, синергетика раскрывает закономерности и условия протекания быстрых, лавинообразных процессов и процессов нелинейного, самостимулирующего роста. Важно понять, как можно ини-

цировать такого рода процессы в открытых нелинейных средах, например, в среде экономической, и какие существуют требования, позволяющие избегать вероятностного распада сложных структур вблизи моментов максимального развития.

Может показаться, что в результате переключения режимов движения, бифуркации путей эволюции реальных систем, многократного их ветвления, повышения роли случайностей в моменты бифуркаций наука перестает быть детерминистической. По крайней мере так утверждает И. Пригожин. Но как показывают исследования отечественных ученых (С. П. Курдюмов, Е. П. Князева, П. П. Моисеев), речь можно вести не только о путях эволюции, но и о поле путей развития для открытых нелинейных сред, спектра структур, возбуждаемых различной топологией начальных воздействий на среду.

Случайность, малые флуктуации действительно могут сбить, отбросить с выбранного пути, приводят, вообще говоря, к сложным блужданиям по полю путей развития. Но в некотором смысле - по крайней мере, на упрощенных математических моделях - можно видеть все поле возможных путей развития. Все возможные пути - пути Дао - открываются как бы с птичьего полета. Тогда становится ясным, что ветвящиеся дороги эволюции ограничены. Конечно, если работает случайность, то имеют место блуждания, но не какие угодно, а в рамках вполне определенного, детерминированного поля возможностей.

Управление теряет характер слепого вмешательства методом проб и ошибок или же упрямого насилования реальности, опасных действий против собственных тенденций систем и строится на основе знания того, что вообще возможно в данной среде. Управление начинает основываться на соединении вмешательства человека с существом внутренних тенденций развивающихся систем. Поэтому здесь появляется в некотором смысле высший тип детерминизма - детерминизм с пониманием неоднозначности будущего и с возможностью выхода на желаемое будущее, Это - детерминизм, который усиливает роль человека.

3. СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ. МИКРО-, МАКРО- И МЕГАМИРЫ

В материальном мире существует целая иерархия структур различного масштаба. Обычно их выстраивают в определенном порядке от самых больших до самых маленьких и называют *структурно-масштабной лестницей*.

В зависимости от размеров этих структур их условно относят к объектам мегамира (от греческого *megas* - великий, грандиозный), макромира (от греч. *makros* - большой, крупный) или микромира (от греч. *mikros* - малый). К объектам мегамира относят космические объекты - звезды, галактики и т. д. Понятие «макроскопический объект» в достаточной степени условное, обычно под ним понимают объекты, окружающие нас в повседневной жизни, объекты, соразмерные человеку. Микромир в современном понимании - это мир элементарных частиц, атомов, молекул и некоторых надмолекулярных структур типа клетки, хромосомы и т. д. Среди макроскопических и микроскопических структур есть объекты живой и неживой природы.

В этом разделе структурно-масштабная лестница дается в виде таблицы (табл. 3.1), где кроме названия структуры (ступеньки лестницы), приводится интервал характерных размеров R в метрах (указан десятичный логарифм R) и тип фундаментального взаимодействия, ответственный за целостность данной структуры.

Ниже даются комментарии по отдельным позициям таблицы.

1. Метагалактикой называется доступная наблюдениям часть Вселенной. Но наблюдать можно по-разному: невооруженным глазом, в бинокль, в 6-метровый телескоп. И каждый раз нашим наблюдениям будет доступна разная часть Вселенной. Что же мы имеем в виду, когда говорим «Метагалактика»? В определении речь идет о части Вселенной, в принципе доступной наблюдениям.

Чтобы это пояснить, введем понятие космологического горизонта. Современная космология, основанная на теории относительности Эйнштейна, определяет возраст Вселенной в 13-15 млрд лет.

Никаких галактик, квазаров до этого не существовало. Все они возникли позже. Предположим, что на расстоянии 20 млрд световых лет находится галактика Икс, которая образовалась, скажем, 12 млрд лет тому назад. Можем ли мы увидеть ее сейчас, нет! Первые лучи, извещающие о рождении этой галактики, еще в пути, они находятся на расстоянии $20 - 12 = 8$ млрд световых лет от нас и достигнут нас лишь через 8 млрд лет.

Таблица 3.1

Структурно-масштабная лестница

№ п/л	Объект (структура)	$\lg R, \text{м}$	Тип взаимодействия
1	Метагалактика	26	Гравитационное
2	Ячеистая структура (воиды, стены, сверхскопления галактик)	24	Гравитационное
3	Скопления и группы галактик	23÷22	Гравитационное
4	Галактики, квазары и ядра галактик	21÷20	Гравитационное
5	Звездные скопления в галактиках	19÷17	Гравитационное
6	Звезды, планетные системы	13÷8	Гравитационное
7	Космические тела (планеты, кометы, астероиды)	8÷4	Гравитационное
8	Макроскопические тела (в том числе человек)	2÷-4	Электромагнитное
9	Микроскопические тела (ген, магнитный домен и т. п.)	-4÷-10	Электромагнитное
10	Молекулы	-4÷-10	Электромагнитное
11	Атомы	-4÷-10	Электромагнитное
12	Ядра и элементарные частицы	-14÷-15	Сильное, электромагнитное слабое
13	Кварки, лептоны; частицы-переносчики взаимодействия	-15	Сильное, электромагнитное слабое
14	Физический вакуум		Сильное, электромагнитное слабое

Космологический горизонт находится на расстоянии, которое свет прошел за время, равное возрасту Вселенной. Если Вселенная

возникла 15 млрд лет тому назад, то космологический горизонт находится на расстоянии 15 млрд световых лет. Если возраст Вселенной 13 млрд лет, горизонт удален от нас на 13 млрд световых лет. Космологический горизонт окружает нас со всех сторон. Свет из-за горизонта к нам не доходит. То есть он когда-нибудь дойдет, он в пути, но нужно время, чтобы он достиг нас. Со временем свет приходит к нам от все более и более далеких объектов.

Космологический горизонт - граница Метагалактики -- находится очень далеко от нас. Мы не знаем точно возраст Вселенной, поэтому не знаем точно и расстояние до горизонта. Правда, мы совершенно точно знаем, что горизонт отстает на 300 000 км каждую секунду, то есть со скоростью света.

2. Современные подсчеты галактик оперируют с миллионами галактик. «Глубокие» обзоры неба, позволяющие фиксировать предельно слабые объекты, дают еще большее число галактик; до полумиллиона галактик на маленькой площадке $1^\circ \times 1^\circ$ (один квадратный градус) на небе насчитали сотрудники обсерватории Китт Пик в США!

Галактики расположены на небе и равномерно, и неравномерно. Если говорить о масштабе в несколько квадратных градусов, то распределение галактик на небе оказывается на удивление равномерным. Но если присмотреться внимательно, то видно, что есть сгущения и есть пустоты. Но может быть эти сгущения только кажущиеся? Бывает, что одна галактика расположена гораздо дальше другой, а нам кажется, что на небе они находятся по соседству.

Как же действительно расположены галактики в пространстве? Этим вопросом в 1975 г. задалась эстонская астрономы. Зная расстояния до нескольких тысяч галактик, они построили пространственную модель. Каждая галактика моделировалась пластмассовым шариком, который подвешивали в большой комнате на большом расстоянии от фиксированного центра (наша Галактика). В построенных таким образом моделях четко проступала пространственная структура распределения галактик. Оказалось, что они образуют ячейки типа пчелиных сот. Вдоль стенок этих ячеек расположены галактики, а внутри пустоты (так называемые «воиды» - от англ. *void* - пустота).

Понятно, что больше всего таких галактик можно насчитать не в стенках ячеек, а в узлах - в тех местах, где пересекаются стенки. Такие «объекты» называются сверхскоплениями галактик и насчитывают до десятка тысяч отдельных галактик.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что в очень большом масштабе (больше масштаба ячеек) распределение вещества оказывается совершенно равномерным. То есть если взять в разных местах Вселенной два гигантских куба с ребрами в 100 млн световых лет и количество содержащегося в каждом из них вещества, то результат будет одинаковым, в каких бы местах Метагалактики мы ни помещали эти кубы. Разделив полную массу на объем куба, мы получим среднюю плотность вещества во Вселенной:

$$\rho = 3 \cdot 10^{-27} \div 10^{-26} \text{ кг/м}^3.$$

3. Скопления галактик имеют почти сферическую форму; в них насчитывают сотни и тысячи галактик. Ближайшее к нам крупное скопление галактик находится в созвездии Девы (Virgo), в него входят 3000 галактик. Характерные размеры скоплений галактик - от 1 до 3 Мпк.

Известны также малочисленные группы галактик. Примером может служить так называемая Местная Группа галактик. В нее входят две большие спиральные галактики; наша Галактика и туманность Андромеды, а также ряд галактик меньших размеров. Кроме того, каждая главная спиральная галактика имеет по несколько галактик-спутников. У туманности Андромеды имеется пять больших и пять маленьких спутников. У нашей Галактики крупнейшими спутниками являются Большое и Малое Магеллановы Облака. Кроме того, у нее целая «свита» карликовых галактик (по крайней мере 14 штук). Всего в Местной Группе галактик насчитывается 38 галактик. На расстоянии 3 Мпк от нас в созвездии Гончих Псов находится другая группа из 34 галактик. Всего сейчас известно несколько десятков подобных групп галактик. Типичные размеры - от 0,1 до 1 Мпк.

4. Галактики - звездные системы, звездные острова - разнообразны по форме и размерам. Свечение галактик обусловлено свечением звезд - многих миллиардов звезд, входящих в их состав. Еще в галактиках есть газ (главным образом, водород и гелий) и пыль. Количество газа и пыли в галактиках обычно невелико. Масса газа и пыли, как правило, составляет несколько процентов от суммарной массы звезд. Суммарная масса звезд, газа и пыли в свою очередь составляет 1/10 долю от полной массы галактик; 9/10 вещества галактик находится в скрытой, невидимой форме. Загадочная «скрытая

масса» содержится в гигантских гало (оболочках) галактик в виде слабосветящегося газа, в форме многочисленных так никогда и не загоревшихся звезд (коричневых карликов) и темных планет.

Существуют методы определения масс галактик. С их помощью установлено, что массы большинства галактик изменяются в пределах от 10^9 до 10^{12} МО, где МО - масса Солнца. Полная масса нашей Галактики (с учетом скрытой массы), по-видимому, приближается к верхнему из указанных пределов.

Размеры галактик (их видимой части) обычно находятся в пределах от 1 до 100 кпк.

Большинство галактик выглядят как гигантские спирали, среди них: туманность Андромеды, туманность Треугольника и наша Галактика (разумеется, последнюю, в отличие от других галактик, никто не видел со стороны). Примерно четверть всех известных галактик имеют круглую или эллиптическую форму. Третий тип галактик - галактики, имеющие неправильную асимметричную форму, они так и называются: неправильные (irregular) галактики.

У многих галактик в центральной части имеется яркое плотное ядро. Ядра галактик состоят в основном из звезд (как и ядро нашей Галактики), но в некоторых ядрах, в самом их центре, происходит колоссальное выделение энергии, которое нельзя объяснить излучением или взрывами обычных звезд. Такие галактики получили название галактик с активными ядрами.

В 1963 г. были обнаружены объекты, подобные активным ядрам галактик. Это квазизвездные (то есть похожие на звезды) объекты - квазары. Квазары - самые далекие объекты, наблюдаемые во Вселенной. Некоторые из них находятся на расстояниях, когда обычные галактики уже нельзя обнаружить. Самый далекий из известных квазаров находится на расстоянии 14 млрд световых лет. По-видимому, квазары - это ядра далеких галактик, находящиеся в состоянии очень высокой активности. Сейчас нам известно около 14 тыс. квазаров.

Астрономические наблюдения - как машина времени: заглядывая дальше в глубины Вселенной, мы заглядываем глубже в прошлое. Глядя сегодня на звезду α -Центавра, мы видим ее такой, какой она была 4 года и 4 месяца тому назад - столько времени идет от нее свет. Туманность Андромеды находится на расстоянии 2 млн световых лет, следовательно, мы сегодня наблюдаем в ней процессы, ре-

ально происходившие 2 млн лет тому назад. Квазары удалены от нас на расстояния более 1 млрд световых лет. По-видимому, именно они «насеяли» Вселенную несколько миллиардов лет тому назад, а потом «вымерли», как динозавры. Их давно нет, а мы их наблюдаем!

5. Скопления звезд бывают двух типов: шаровые и рассеянные. В нашей Галактике около 500 шаровых скоплений и примерно 20 тыс. рассеянных. Шаровые скопления - самые старые образования в Галактике, своего рода реликты ранней Галактики. Типичный возраст шарового скопления 15 млрд лет.

Шаровые скопления - это массивные объекты правильной сферической формы, содержащие сотни тысяч и даже миллионы звезд. Их массы¹ варьируются в широких пределах от 10 до 10⁶ М_О. Размеры шаровых скоплений - около 100 пк.

Рассеянные звездные скопления можно найти в любой части неба, но больше всего их вблизи Млечного Пути. Они содержат десятки, сотни, а наиболее крупные - тысячи звезд. Среди рассеянных скоплений встречаются как сравнительно старые, с возрастом несколько миллиардов лет, так и очень молодые.

Пример сравнительно молодого скопления - Плеяды: его возраст оценивается в 60 млн лет. Невооруженному глазу доступны 6-7 звезд. В действительности в этом скоплении насчитывается несколько сотен звезд.

Почему в Галактике существуют звездные скопления? Может быть, звезды постепенно сближаются, начинают образовывать пары, тройки, затем группы звезд, а потом уже целые скопления? Или процесс идет в обратном направлении - звезды сразу рождаются «гнездами» (скоплениями), а потом постепенно эти скопления «рассасываются», распадаются? В настоящее время надежно установлено, что в природе реализуется второй вариант. Звезды рождаются не поодиночке, а группами из массивных газопылевых облаков.

¹ Есть противоречие между возрастом Вселенной (13-15 млрд лет) и возрастом шаровых скоплений (14-16 млрд лет). И тот и другой определяются косвенно: первый - по данным современной космологии, второй - по данным современной теории эволюции звезд. Ясно, что первый возраст не может быть меньше второго. Очевидно, что либо та, либо другая наука, либо обе вместе что-то не учитывают при определении возрастов. Указанное противоречие - характерный пример в естествознании. Подобные противоречия сильнейшим образом стимулируют дальнейшие исследования в соответствующих областях знаний.

6. Звезда - основная структурная единица мегамира. Структуры большого масштаба, рассмотренные выше, состоят из звезд. Видимое излучение, приходящее от звездных скоплений, - это суммарное излучение звезд. Звезды - это природные термоядерные реакторы, в которых происходит химическая эволюция вещества, переработка его на ядерном уровне.

Астрономам известно много различных типов звезд. Одна и та же звезда в зависимости от массы и возраста проходит различные эволюционные фазы, переходит из одного типа в другой. Все звезды можно разделить на две большие категории: обыкновенные звезды (иногда говорят «нормальные звезды») и компактные звезды. К последнему классу относятся белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры, т. е. все конечные продукты звездной эволюции. Размеры нормальных звезд варьируются от размеров Солнца (или немного меньших) до огромных размеров звезд-сверхгигантов, т. е. от 10⁸ до 10¹⁰ м. Размеры компактных звезд изменяются от нескольких километров (черные дыры, нейтронные звезды) до нескольких тысяч километров (белые карлики).

На пятой позиции в табл. 3.1 вместе со звездами фигурируют планетные системы. Обычно, когда мы говорим о планетной системе, мы подразумеваем нашу солнечную систему. В то же время есть весомые косвенные свидетельства в пользу существования других планетных систем. В некоторых случаях можно оценить массы планет, входящих в эти системы. Известны объекты, представляющие собой планетные системы в стадии формирования - протозвезда с протопланетным диском. И все же в настоящее время определенно известна только одна планетная система - наша солнечная система. Ее размер можно определить как диаметр орбиты Плутона: ~10¹³ м.

7. Планеты, кометы, астероиды и малые планеты условно названы в табл. 3.1 космическими телами. Максимальный размер определяется размерами планет-гигантов (Юпитер, Сатурн, Нептун) с кольцами, а минимальный - размерами малых планет и кометных ядер (~ 10 км).

8. Все тела, которые нас окружают: дом, стол, кусочек мела, букашка с булабочную головку, капля воды - это *макроскопические* тела. Они состоят из большого числа молекул, объединенных в определенную макроскопическую структуру. Разумеется, сам человек также относится к категории макроскопических тел. Размеры мак-

роскопических тел (от 0,1 мм до 100 м) проставлены в таблице весьма условно.

9. Объединения молекул в микроскопические структуры обычно называют *микроскопическими* телами. К таким надмолекулярным структурам может быть отнесена клетка живого организма и ее составные части (ядро, ген, рибосома и т. п.). Макроскопические твердые тела также имеют выраженные микроскопические структуры, среди которых могут быть названы элементы (ячейки) кристаллической решетки, магнитные домены и др.

10. Размеры и массы молекул изменяются в очень широком диапазоне от простейших двухатомных молекул (H_2 , O_2 , N_2 и т. д.) до сложных полимерных макромолекул с молекулярным весом в сотни тысяч атомных единиц массы¹ и длиной, достигающей долей миллиметра. К важнейшим макромолекулам относятся молекулы ДНК и РНК.

11. Атом состоит из компактного ядра и электронной оболочки. Размеры атомов определяются электронными оболочками. В квантовой механике в качестве радиуса атома принимается расстояние от ядра, на котором амплитуда волновой функции спадает в e раз. Часто для наглядности оперируют планетарной моделью атома, предложенной английским ученым Эрнестом Резерфордом (1871-1937) и развитой датским физиком Нильсом Бором (1885-1962). В этой модели электроны, как планеты, находятся на своих орбитах. Радиусы орбит дает квантовая механика. Они зависят от состояния возбуждения атома, которое определяется «главным квантовым числом» n . Для простейшего атома - атома водорода - радиус n -й орбиты электрона есть

$$r_n = a_0 n^2, \quad (3.1)$$

где $a_0 = 5,2918 \cdot 10^{-11}$ м - радиус «первой» боровской орбиты.

В качестве минимального размера атома в табл. 3.1 указан радиус невозбужденного атома водорода a_0 .

А максимальный размер? Атом, получив извне энергию (в виде кванта света или в результате столкновения с окружающими частицами), может перейти в одно из возбужденных состояний (состояние с большим n). В соответствии с формулой (3.1) радиус атома возрас-

¹ Атомная единица массы (а. е. м.) – $\frac{1}{12}$ массы изотопа углерода с массовым числом 12. 1 а. е. м. = $1,6605402 \cdot 10^{-27}$ кг.

тет в n^2 раз. Например, если атом перейдет в состояние с $n = 10$, размер атома увеличится в 100 раз. А мог бы атом перейти в состояние с $n = 1\,000\,000$? В этом случае, применив формулу (3.1), мы бы получили радиус атома $r = 52,9$ м. В принципе, квантовая механика не накладывает никаких ограничений на величину главного квантового числа n . Однако ограничения, несомненно, существуют. Они связаны с тем, что реально атом всегда окружен другими атомами или частицами. Взаимодействия с окружением (столкновение, влияние электрического поля заряженных частиц) сильно ограничивают возможности роста атома. Чем больше плотность частиц в среде, тем чаще происходят столкновения и тем сильнее эти ограничения. Наилучшие условия для существования высоковозбужденных атомов реализуются в космосе, где мала плотность частиц. (В межзвездной среде или в галактических газовых облаках плотность частиц в тысячи раз меньше, чем минимальная плотность, достигаемая при помощи лучших вакуумных насосов в земных лабораториях). Расчеты показывают, что в этих условиях могут существовать атомы с главными квантовыми числами, достигающими $n = 1000$. Размер атома при этом приближается к 0,1 мм! В 1965 г. российский радиоастроном Р. Л. Сороченко с коллегами обнаружил спектральные линии, испускаемые атомами водорода с $n = 90$. В настоящее время зарегистрированы спектральные линии, свидетельствующие о существовании в космических облаках гигантских атомов углерода с $n = 800$.

12. Элементарные частицы (в буквальном значении этого термина) - это первичные, неделимые частицы, из которых состоит вся материя. Понятие «элементарные частицы» отражает чаяния ученых найти «первичные сущности», определяющие все известные свойства материального мира. На рубеже XIX и XX вв. были обнаружены мельчайшие носители свойств вещества - молекулы и атомы. Было установлено, что молекулы построены из атомов. Это позволило впервые описать все известные вещества как комбинации большого числа составляющих частиц - атомов. В дальнейшем были выявлены составные элементы атомов - электроны и ядра, установлена сложная природа самих ядер. Оказалось, что ядра построены из двух частиц (протонов и нейтронов). Это открытие существенно уменьшило количество дискретных элементов, формирующих свойства вещества. Появилась надежда, что цепочка составных частей материи наконец-то завершается. В тот период исследований (начало 30-х гг. XX в.)

известными представителями элементарных частиц были протон, нейтрон, электрон и фотон - частица электромагнитного поля. Эти четыре частицы стали считать элементарными, так как они служили основами строения вещества и света (электромагнитного поля).

Открытие новых микроскопических частиц постепенно разрушило эту простую картину. Пока количество частиц было не очень велико, их считали действительно *элементарными* частицами. Но постепенно увеличивалось количество частиц, многие из них оказались составными, т. е. не обладающими свойством элементарности, однако традиционное название «элементарные частицы» сохранилось. (Современный каталог элементарных частиц, издаваемый раз в два года Европейской организацией ядерных исследований, содержит уже более трехсот их наименований).

Такое большое количество разнообразных частиц необходимо было как-то систематизировать.

Основой классификации элементарных частиц является деление их на два больших класса - адроны и лептоны. *Адроны* - это элементарные частицы, принимающие участие в сильных взаимодействиях, в то время как *лептоны* участвуют в слабых и электромагнитных взаимодействиях (о взаимодействиях см. раздел 5). Класс адронов, в свою очередь, делится на два семейства (барионы и мезоны). *Барионы* - это такие адроны, которые в реакциях между элементарными частицами могут превращаться в протоны или получаться из них. К семейству барионов относятся протон и нейтрон - основа ядерного ядра. Протоны и нейтроны часто объединяют одним названием - нуклоны (от лат. *nucleus* - ядро).

Итак, атом состоит из электронов (по классификации - это лептоны) и ядра, состоящего из протонов и нейтронов (по классификации - это адроны, точнее, барионы, а еще точнее - нуклоны).

В квантовой механике не имеет смысла понятие размера элементарной частицы, однако в ряде случаев, например, при изучении столкновений (рассеяний) частиц пользуются условными понятиями размера, площади сечения и объема для описания области пространства, в которой наиболее эффективно происходит взаимодействие сталкивающихся частиц. Определенные в экспериментах по рассеянию частиц размеры элементарных частиц и атомных ядер оказываются порядка 10^{-14} – 10^{-15} м.

13. В 1964 г. американские физики Гелл-Манн и Цвейг предложили так называемую *кварковую модель* строения вещества. В соответствии с этой моделью любой адрон может быть представлен в виде набора из двух или трех кварков - частиц, имеющих дробный электрический заряд. Нельзя представить в таком виде только лептоны - класс частиц, в который входят электроны, нейтроны и еще несколько частиц.

Рецепт изготовления адронов из кварков оказался удивительно прост: барионы состоят из трех кварков (антибарионы - из трех антикварков), мезоны - из кварка и антикварка. Протон p и нейтрон n - строительный материал атомного ядра - представляются наборами $p = (uud)$ и $n = (udd)$. Буква u обозначает u -кварк (от англ. *upper* - верхний), обладающий зарядом $(+2/3)e$, буква d - d -кварк (от англ. *down* - нижний), с зарядом $(-1/3)e$, где e - элементарный заряд (заряд электрона по модулю).

Первоначально представление элементарных частиц в виде комбинации кварков казалось лишь удобной теоретической моделью. Поиски свободных кварков в экспериментах на ускорителях или в составе космических лучей не увенчались успехом. Однако со временем накапливалось все больше теоретических и косвенных экспериментальных свидетельств в пользу реальности кварковой структуры материи. Теория кварков и сильных взаимодействий, получившая название *квантовая хромодинамика* (греч. *chromatos* - цвет), не только отвечала на вопрос, почему не наблюдаются кварки по отдельности, но и обладала предсказательной силой. С ее помощью были объяснены некоторые эксперименты и даже были открыты новые предсказанные ею частицы. Так существование кварков перешло из разряда гипотезы в надежно установленный факт.¹

В современном представлении атомное ядро - это уже не набор протонов и нейтронов. Атомное ядро - это совокупность соответствующего числа кварков, связанных между собой. Скажем, ядро гелия (2 протона и 2 нейтрона) - это совокупность шести u -кварков и шести d -кварков.

В тринадцатой строке табл. 3.1, кроме кварков и лептонов, фигурируют частицы - переносчики взаимодействий. В современном

¹ Еще раз подчеркнем, что в свободном виде кварки не обнаружены, но в их существовании вряд ли можно сомневаться, так как о них (и о свойствах кварков) свидетельствуют многочисленные косвенные эксперименты.

естествознании концепция фундаментального взаимодействия играет важнейшую роль. В табл. 3.1 встречаются все известные типы фундаментальных взаимодействий: гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное (ядерное). (Перечисление сделано в порядке возрастания «силы» взаимодействия). Благодаря существованию в природе фундаментальных взаимодействий возможно существование перечисленных в табл. 3.1 структур.

В третьей колонке указан тип взаимодействия, который отвечает за то, чтобы данная структура была устойчивой, не распадалась, другими словами, чтобы структура была структурой. Но в большинстве объектов одновременно действуют сразу все типы взаимодействий. Например, звезда - это совокупность колоссального числа частиц, удерживаемых гравитацией, между этими частицами действуют электромагнитные силы притяжения и отталкивания; нуклоны в ядрах связаны сильным взаимодействием; термоядерные реакции - основа энергетики звезды - идут при участии слабого взаимодействия. В табл. 3.1 указан только тот тип взаимодействия, который отвечает за структурные свойства объекта, который «делает погоду» в данном конкретном случае. (В примере со звездой - гравитационное взаимодействие).

На каких расстояниях действуют различные типы взаимодействий? Радиус действия сильного взаимодействия ограничен размерами атомного ядра и составляет примерно 10^{-15} м. Радиус слабого взаимодействия еще меньше: 10^{-19} . На больших расстояниях силы слабого и сильного взаимодействий становятся пренебрежимо малы, и их можно не учитывать. Силы же гравитационного и электромагнитного взаимодействий изменяются с расстоянием одинаково и весьма медленно: обратно пропорционально квадрату расстояния между взаимодействующими объектами. Эти силы, как говорят физики, обладают *дальнодействием*.

Гравитационное и электромагнитное взаимодействия отличаются не только по величине. Силы электрического происхождения могут быть как силами притяжения, так и силами отталкивания в зависимости от знака заряда взаимодействующих тел, в то время как силы тяготения - всегда силы притяжения. Электромагнитное (кулоновское) взаимодействие между макроскопическими телами практически равно нулю из-за их электрической нейтральности, поскольку входящие в состав тел положительные и отрицательные заряды рав-

ны и взаимно компенсируют друг друга. В то же время при увеличении масс взаимодействующих объектов силы гравитационного взаимодействия резко возрастают. Скажем, сила гравитационного притяжения между лектором, стоящим у доски, и студентом, сидящим за первой партой, примерно равна 10^{-7} Н (ньютон), что эквивалентно силе, с которой будет «давить» на чашу весов пылинка весом 10^{-8} грамма. Однако силы притяжения, действующие между космическими объектами, чудовищно велики: Земля притягивает Луну с силой 10^{20} Н, сама испытывает притяжение со стороны Солнца, равное 10^{22} Н.

Современная теория гравитационного взаимодействия, созданная Эйнштейном в 1916 г. и названная им общей теорией относительности, основана на другом принципе. Для описания гравитационного взаимодействия Эйнштейн использовал своеобразный геометрический подход. Он предположил, что массивные тела искривляют пространство вокруг себя, так что существование и движение других тел и частиц происходит в искривленном пространстве.

Теория гравитации Эйнштейна (общая теория относительности) прекрасно «зарекомендовала» себя во всех областях естествознания, где требуется учитывать роль гравитации (в космонавтике, астрономии, астрофизике и др.). При этом гравитационное взаимодействие «работает» на больших (астрономических или макроскопических) расстояниях. Однако в конце XX в. в естествознании обозначились проблемы, требующие такой теории, которая могла бы учитывать одновременно гравитацию и свойства микрочастиц. Так, по современным представлениям, на ранних стадиях эволюции Вселенной из-за огромной плотности влияние гравитации оказывается существенным даже на микроскопическом уровне. В этой и подобных проблемах требуется гибридная теория гравитации и квантовой теории - квантовая теория гравитации. Сейчас такой теории не существует. Если она будет создана, в ней-то, возможно, и появятся кванты гравитации - гравитоны.

14. В последней строке таблицы стоит особая структура материального мира - физический вакуум. Концепция физического вакуума является одной из краеугольных концепций современного естествознания. В соответствии с ней вакуум (лат. *vacuum* - пустота) - это не абсолютная пустота, не пространство без материи. Вакуум - весьма своеобразный физический объект, в нем непрерывно происходят процессы рождения и уничтожения частиц.

Как сами по себе могут рождаться частицы? Не противоречит ли это закону сохранения массы и энергии? Здесь необходимо отметить еще одно удивительное свойство микромира. Взаимодействия, происходящие в течение короткого промежутка времени Δt , сопровождаются изменением энергии системы на ΔE , причем

$$\Delta E \Delta t \approx h, \quad (3.2)$$

где h - постоянная Планка (величина очень маленькая).

Закон сохранения энергии незыблем, но в течение времени Δt энергия системы может измениться на малую величину ΔE . Соотношение (3.2) называется соотношением неопределенности, оно играет огромную роль в физике микромира. Порция энергии ΔE может «материализоваться» как угодно - может появиться фотон или родиться какая-нибудь частица. Спустя короткое время Δt они исчезают. Такие частицы получили название виртуальных.

Представление о виртуальных частицах радикально изменило привычные понятия о пустоте. В вакууме непрерывно рождаются и исчезают частицы, он как бы «кипит». Ситуация из статической, мертвой превратилась в динамическую, пустота получила название физического вакуума.

В заключение сделаем два замечания общего характера.

1. Во сколько раз самое большое (Метагалактика) больше самого маленького (элементарных частиц)? Наибольший и наименьший масштабы в таблице различаются приблизительно в 10^{40} – 10^{41} раз, то есть на 40–41 порядок.

Любопытно, что примерно такие же числа появляются, когда мы хотим сравнить эффективность двух фундаментальных взаимодействий - электромагнитного и гравитационного. Элементарные частицы гравитон и протон имеют массу, следовательно, между ними, кроме электрических сил, действует сила гравитационного притяжения. Для электрона и протона отношение кулоновской силы к гравитационной получается равным примерно 10^{39} , а если брать электрон и электрон - 10^{42} , то есть от 39 до 42 порядков.

Еще одно примечательное совпадение получается, если рассчитать полное число нуклонов (протонов и нейтронов) в Метагалактике. Это легко сделать, зная ее радиус и приняв среднюю плотность вещества во Вселенной равной $\rho = 10^{-27}$ кг/м³. Искомое число нукло-

нов $\rho_0 = 10^{80}$. Квадратный корень из этого числа дает все те же 40 порядков!

Эти совпадения считал принципиальными один из творцов квантовой механики английский физик Поль Дирак, сделавший предположения относительно их природы. Он назвал это «гипотезой больших чисел».

2. Табл. 3.1 делится на две части горизонтальной чертой. Эта черта несет большую смысловую нагрузку. Черта является границей между разными типами взаимодействий. Во всех структурах, расположенных выше черты, «погоду» делает гравитация, в структурах, находящихся ниже черты, гравитация подавлена другими силами.

Если двигаться от черты вверх, в сторону увеличения масштабов, можно заметить, что иерархия островного типа, правильная в масштабе от звезд до скоплений галактик, прекращается на стадии сверхскоплений галактик - дальше существует непрерывная сетка из сверхскоплений и цепочек галактик. Аналогично при движении вниз четкие пространственные структуры размываются в бесструктурном кипящем физическом вакууме.

Человек - макроскопическое тело. Земля - заурядное космическое тело. Черта разделяет человека и Землю и определяет различие в подходе к изучению тел разных масштабов. Все, что ниже черты, может быть объектом научного (физического, биологического, химического и т. п.) эксперимента. Выше черты находятся объекты мегамира. По отношению к ним экспериментирование невозможно. Методы исследования мегамира - наблюдения и теория.

4. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ - ТЕОРИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

4.1. Система Мира Ньютона

Современная космология - наука о строении, происхождении и эволюции Вселенной в целом - имеет прочный фундамент, как теоретический, так и экспериментальный (наблюдательный).

Теоретической основой космологии является теория гравитации, поскольку именно гравитация (тяготение) определяет взаимодействия масс на больших (космических) расстояниях. Научная космология появилась тогда, когда возникла теория гравитации.

Теория гравитации была создана Ньютоном, открывшим закон всемирного тяготения. Лишь после этого открытия стал возможным научный подход к решению проблемы строения и эволюции Вселенной как целого.

Стало возможным рассматривать весь Мир, всю Вселенную, как один физический объект, как огромную массу вещества, распределенного в пространстве и подчиняющегося закону всемирного тяготения.

Главные вопросы о Вселенной, на которые так или иначе пытались ответить мыслители всех времен, можно разбить на два блока.

1. Как изменяется, эволюционирует Вселенная со временем? Будет ли Мир существовать вечно в будущем? Существовал ли он всегда в прошлом?

2. Как организована Вселенная в пространстве? Есть ли у нее край (граница и центр)?

Как видно, первый блок вопросов связан со временем, а другой - с пространством. Теория гравитации позволила конкретизировать эти вопросы:

Что происходит с Вселенной, все части которой взаимодействуют между собой посредством гравитации?

Можно ли с помощью теории гравитации сделать вывод о пространственном строении Вселенной?

Отвечая на эти вопросы, Ньютон создал стройную научную систему, которую по праву называют системой Мира Ньютона. Система эта на протяжении более двух столетий владела умами ученых и формировала мировоззрение многих поколений людей. Каковы же главные черты системы Мира Ньютона?

1. Стержень ньютоновской системы Мира - материальное единство небесного и земного, т. е. Мира в целом, который устроен и развивается в соответствии с законами Природы. (В системе мира Аристотеля подчеркивалось принципиальное различие небесного и земного, считалось, что небесные тела, в отличие от земных, подчиняются другим законам, состоят из другой субстанции). В современной картине мира это положение системы мира Ньютона остается неизменным.

2. В ньютоновской системе физическая картина Мира рисовалась абсолютными категориями: категориями абсолютного пространства и абсолютного времени. Абсолютное пространство существует независимо от времени и независимо от наполняющей его материи. Пространство лишь сцена, на которой разворачиваются события, немой и безучастный свидетель того, что происходит с материей. Время при этом течет равномерно и независимо ни от чего (абсолютное время). В XX в. этот элемент системы Ньютона претерпел коренное изменение. Современная физическая теория устанавливает глубокую и неразрывную взаимную связь между пространством, временем и материей, тем самым лишая эти категории абсолюта.

3. Для того чтобы ответить на вопрос о конечности или бесконечности Вселенной, Ньютон использовал в своих рассуждениях закон всемирного тяготения. В одном из своих писем (1692) он рассуждал так: «Если материя равномерно распределена в бесконечном пространстве, то она никогда не могла бы собраться в единую массу, но часть ее собралась бы в одну массу, часть - в другую, с тем, чтобы образовать бесконечное количество больших масс, рассеянных на незначительные расстояния друг от друга по всему бесконечному объему». Другими словами, в конечной Вселенной вся материя под действием сил тяготения рано или поздно слилась бы в единое целое. Напротив, в только бесконечной Вселенной могут существовать (и существуют) многочисленные равноправные центры гравитации

(звезды). Только в этом случае рассеянная материя могла бы образовать (и образовала) «бесконечное количество больших масс» - звезд.

Аристотель за две тысячи лет до Ньютона рассуждал точно так же, однако пришел к прямо противоположному выводу. Аристотель стоял на позициях геоцентризма: Земля - центр Вселенной, следовательно, Вселенная не может быть бесконечной. Ведь бесконечное не может иметь ни центра, ни края. А поскольку центр во Вселенной существует (этот центр - Земля), Вселенная конечна.

4. Вселенная представлялась Ньютону вечной и неизменной (выражаясь современным научным языком - стационарной). Но эта вечность у Ньютона относилась к будущему, а не к прошлому Мира. Мир Ньютона имел начало во времени. Вопрос о происхождении Мира он решил так: «Изящнейшее соединение Солнца, планет и комет не могло произойти иначе, как по замыслу и воле могущественного и премудрого существа», которое «управляет всем не как душа Мира, а как властелин Вселенной», ибо «от слепой необходимости природы, которая всюду и везде одна и та же, не может происходить изменение вещей».

Идеи вечной и неизменной Вселенной весьма привлекательны с эстетической и философской точек зрения. Эйнштейн, творец современной теории гравитации (названной им «общей теорией относительности» - ОТО), упорно искал именно стационарные решения уравнений ОТО. Лишь через несколько лет после появления этой теории было показано, что из уравнений ОТО неизбежно следует нестационарность Вселенной (А. Фридман, 1924). Все это тем более удивительно, что вывод о нестационарности Вселенной мог быть сделан уже на основании теории Ньютона.

Нельзя сказать, что в последующие два столетия после Ньютона его концепция о бесконечной стационарной Вселенной не вызывала сомнений. В середине XVIII столетия (1744) швейцарский астроном Жан Шезо впервые сформулировал так называемый фотометрический парадокс: «Если количество звезд во Вселенной бесконечно, то почему все небо не сверкает, как поверхность единой звезды? Почему небо темное? Почему звезды разделены темными промежутками?»

Действительно, пусть мы живем в бесконечной Вселенной Ньютона. Проведем мысленный эксперимент. Окружим Землю воображаемой сферой большого радиуса. Внутри этой сферы окажется какое-то определенное число звезд (например, 100). Коли вообра-

жаемая сфера непрозрачна, излучение этих 100 звезд определит яркость ночного неба. Удвоим радиус сферы. Если все звезды одинаковы по яркости и равномерно распределены в пространстве, то в результате удвоения радиуса должна увеличиться яркость ночного неба. Действительно, хотя при такой операции яркость самых далеких звезд уменьшится в 4 раза (она зависит от расстояния как $1/r^2$), но количество звезд внутри сферы пропорционально ее объему (т. е. r^3), и поэтому общая яркость ночного неба возрастет. Следующее удвоение радиуса сферы приведет к еще большему увеличению яркости ночного неба и так далее. В конце концов мы придем к тому, что ночное небо окажется таким же ярким, как поверхность звезды, скажем, Солнца. И все же небо ночью темное. Почему?

Шезо сам попытался найти ответ на поставленные им вопросы. Он полагал, что, скорее всего, это пылевые облака заслоняют от нас свет далеких звезд. Земным наблюдателям доступны лишь лучи ближайших светил. Немецкий врач и любитель астрономии Ольберс, открывший малые планеты Весту и Палладу, вначале поддержал гипотезу о пылевых облаках (1823). Затем, однако, он пришел к правильному выводу, что такие облака постепенно нагрелись бы далекими звездами и начали бы излучать столько же света, сколько поглощают.

Таким образом, фотометрический парадокс (часто его называют парадоксом Ольберса) неизбежно приводил к одному из двух выводов: либо Вселенная не бесконечна, либо количество звезд в ней ограничено.

4.2. Картина Мира Эйнштейна

В конце XIX в. возникли предпосылки создания новой теории пространства, времени и гравитации.

Во-первых, были подмечены неразрешимые в рамках классической физики парадоксы стационарной Вселенной Ньютона (один из них - фотометрический парадокс - мы рассмотрели). Эти так называемые космологические парадоксы - следствие неправомерной экстраполяции (распространения) законов классической физики на всю Вселенную.

Во-вторых, была создана теория электромагнетизма (Максвелл, 1865), обнаружившая глубокое противоречие между электромагнит-

ными явлениями и одним из фундаментальных принципов классической физики - принципом относительности Галилея.

В-третьих, были проведены эксперименты и наблюдения, необъяснимые в рамках классической физики. Среди них - астрономические наблюдения за смещением перигелия орбиты Меркурия, опыт Майкельсона-Морли и другие.

Опыт Майкельсона-Морли сыграл решающую роль в истории науки, поэтому мы рассмотрим его подробнее.

Опыт Майкельсона-Морли

Все знают, что скорость - понятие относительное. Это скорость пассажира, прогуливающегося по палубе теплохода, относительно самого теплохода, скорость теплохода, плывущего по быстрой реке, относительно воды, скорость теплохода относительно пристани и т. д. Однако результаты, получаемые при измерении скорости света, не согласуются с этими привычными явлениями. Относительно чего она измеряется? Относительно ли самого наблюдателя, или относительно центра вращающейся Земли, или, может быть, относительно Солнца, вокруг которого движется Земля? Может быть, в природе существует какая-то особая система отсчета, среда, эфир, относительно которой (которого) следует измерять скорость света?

В конце XIX в. понятие эфира использовалось для объяснения свойств света. Считалось, что свет, как и звук, не может распространяться в пустоте, что он распространяется в особой среде - эфире.

Максвелл предложил идею опыта по обнаружению эфира. В статье «Эфир», опубликованной в Британской энциклопедии, он писал: «Если бы можно было определить скорость света, наблюдая время, употребляемое им на прохождение от одного пункта *A* до другого *B* на поверхности Земли, то, сравнивая наблюдаемые скорости движения в противоположных направлениях, мы могли бы определить скорость эфира по отношению к этим земным пунктам».

Предположим, что эфир неподвижен относительно Солнца и скорость света в нем есть $c = 300\,000$ км/с. Земля движется вокруг Солнца со скоростью $v = 30$ км/с. Если направить луч света из пункта *A* в пункт *B* вперед по ходу движения Земли, то, в соответствии с принципом относительности Галилея, скорость движения луча должна составить величину $(c + v)$. Соответственно скорость движения

света в противоположном направлении (от *B* к *A*) будет $(c - v)$. Весь путь туда и обратно луч света пройдет за время

$$t_1 = \frac{l}{c - v} + \frac{l}{c + v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2},$$

где l - расстояние между *A* и *B*.

Если бы движение Земли не сказывалось на скорости света, то соответствующее время было бы равно $t_2 = 2l/c$. (Например, если пункты *A* и *B* расположены не вдоль, а поперек движения Земли). Разность времен

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2lv^2}{(c^2 - v^2)c}$$

или отношение

$$\frac{\Delta t}{t_2} = \frac{v^2}{c^2 - v^2} \approx 10^{-8}.$$

То есть, если бы скорость света зависела от вращения Земли, то это влияние выразалось бы одной стотысячной долей всего времени перехода луча света из одной точки в другую и обратно. Как пишет Максвелл, это влияние было бы совершенно незаметно.

Идею Максвелла использовал в своих опытах американский физик А. Майкельсон, когда в 1880 г. приступил к постановке опытов по обнаружению эфира. Изобретенный им прибор - интерферометр - обладал достаточной точностью, чтобы обнаружить эффект, описанный Максвеллом.

Результат опыта оказался отрицательным. Майкельсону не удалось обнаружить искомой разности времен, поэтому в 1881 г. он отважился сделать принципиальный вывод: «Гипотеза эфира ошибочна». Как бы Майкельсон ни изменял направление луча света (вдоль или поперек движения Земли), скорость света оставалась неизменной в пределах точности эксперимента ± 5 км/с.

Опыт Майкельсона совершенствовался: сначала им самим (совместно с Морли), затем другими исследователями. Всякий раз получалось, что скорость света одинакова в любых направлениях и не зависит от направления движения и скорости источника света. С годами возрастала точность эксперимента.

Достаточно сказать, что в 1964 г. в экспериментах с лазерами Чарльз Таунс достиг рекордной точности ± 1 м/с.

Выводы, полученные в результате этих опытов, имеют огромное значение для науки. Их результат свидетельствует, что нет такой среды, которая может служить абсолютной системой отсчета. Скорость света в вакууме одинакова для всех систем отсчета, независимо от движения. Скорость распространения электромагнитных волн в пустоте - величина постоянная и не зависящая от системы отсчета.

Принцип относительности Галилея и электромагнитные явления

Принцип, согласно которому законы физики должны быть одинаковы (инвариантны) с точки зрения любого наблюдателя, движущегося с постоянной скоростью, называется принципом относительности Галилея. Пусть у нас есть две системы отсчета: одна - неподвижная с координатами x, y, z и t , а другая, с координатами x', y', z' и t' , движется относительно первой с постоянной скоростью v , направленной вдоль оси x . (Такие системы отсчета называются инерциальными).

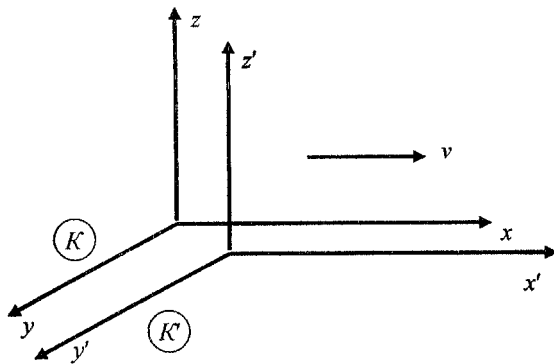


Рис. 4.1. Инерциальные системы

Дополнительно отметим, что в обеих системах пространственные координаты - декартовы координаты (рис. 4.1). Если система отсчета K' движется относительно системы K прямолинейно и равно-

мерно со скоростью v , то очевидно, что система K движется относительно системы K' со скоростью v . Координатные оси x и x' направлены по движению и скользят одна по другой, оси y, z и y', z' соответственно параллельны. В момент времени $t = t' = 0$ начала координат в обеих системах отсчета совпадают и равны нулю.

Центральным понятием принципа относительности является точечное событие, т. е. нечто происходящее в данной точке пространства (например, распад элементарной частицы, химическая реакция и т. д.). Любой физический процесс можно рассматривать как последовательность событий.

Координаты неподвижной и движущейся систем отсчета связаны преобразованиями Галилея:

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Согласно преобразованиям (4.1) движение не оказывает никакого влияния на течение времени - время абсолютно ($t' = t$, размеры тела не зависят от того, покоится тело или движется, - пространство абсолютно).

$$(x_1' - x_2' = x_1 - x_2).$$

Мы говорим, что законы механики Ньютона инвариантны по отношению к преобразованиям Галилея. Это означает, что не только действие этих законов, но и их математическая формулировка не изменяется при переходе от неподвижной к движущейся системе отсчета.

Однако к электромагнитным явлениям принцип относительности Галилея неприменим. Рассмотрим пример. Пусть в системе (x, y, z) покоится электрический заряд. Согласно законам электростатики он создает вокруг себя электрическое поле. В то же время для наблюдателя, находящегося в системе (x', y', z') , движущейся со скоростью v относительно первой системы, заряд движется и, следовательно, представляет собой электрический ток, который создает вокруг себя магнитное поле. В одной системе мы имели электрическое поле, а в другой - получили электрическое плюс магнитное. Один и

тот же объект в разных системах создает разные физические поля, что не согласуется с принципом Галилея.

Как разрешить эту парадоксальную ситуацию? Принять, что принцип относительности Галилея применим только в механике и не пригоден к электромагнитным явлениям? Но тогда получилось бы, что физика внутренне противоречива, что эта наука делится на две области, в каждой из которых действуют свои законы.

Вариант решения предложил нидерландский физик Хендрик Лоренц, сумевший в 1904 г. найти преобразования, относительно которых явления электромагнетизма оказались инвариантными:

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Эти формулы позволяют рассчитать координаты x', y', z', t' некоторого события в системе K' , если известны его координаты x, y, z, t в системе K . Обратный переход от системы K' к системе K возможен, если учесть, что система K движется относительно системы K' со скоростью $-v$. Это можно представить как:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned} \right\} \quad (4.2a)$$

Преобразования (4.2), получившие название преобразований Лоренца, отличаются от преобразований Галилея (4.1). Им суждено было сыграть большую роль в развитии естествознания. При $v \ll c$ преобразования Лоренца переходят в преобразование Галилея.

Специальная теория относительности

Решающий шаг сделал в 1905 г. Альберт Эйнштейн (1879—1955). В своей работе «К электродинамике движущихся тел» он изложил теорию, впоследствии получившую название специальной теории относительности (СТО). В основу этой теории Эйнштейн положил два постулата: специальный принцип относительности и принцип постоянства скорости света в вакууме. Первый звучит так: в любых инерциальных системах все физические процессы (механические, электромагнитные, тепловые, оптические и т. д.) протекают одинаково. Второй постулат гласит: скорость света в вакууме не зависит от движения источника света или наблюдателя, одинакова во всех инерциальных системах отсчета и является предельной скоростью распространения какого-либо сигнала.

Распространение принципа относительности на электромагнитные явления означало, что необходимо было найти такие преобразования уравнений электромагнетизма, чтобы при переходе от одной инерциальной системы к другой их вид не менялся и скорость света оставалась постоянной. Эйнштейн строго доказал, что этим требованиям удовлетворяют преобразования Лоренца (4.2). Из теории Эйнштейна вытекают замечательные следствия (эффекты).

Рассмотрим некоторые релятивистские эффекты.

Лоренцево сокращение

Пусть имеется твердый стержень, покоящийся в системе K' . Обозначим пространственные координаты его концов в этой системе через x_1' и x_2' . Чтобы измерить длину стержня в системе K , нужно рассмотреть два события, совершающихся одновременно на его концах. По этому условию у нас $t_1' = t_2'$, а длина стержня очевидно равна $x_2' - x_1'$. Используя преобразование Лоренца (4.2a), находим длину стержня в системе K :

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{x_1' + vt_1'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad x_2 = \frac{x_2' + vt_2'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \\ x_2 - x_1 &= \frac{(x_2' - x_1') - v(t_1' - t_2')}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \end{aligned}$$

То есть в движущихся системах происходит изменение длины тела вдоль оси x (вдоль направления движения). Классические представления об абсолютном пространстве оказываются несостоятельными: в зависимости от скорости меняются размеры тела.

Относительность одновременности

Пусть в системе отсчета K' происходят два одновременных события с координатами x_1', t' и x_2', t' . Вычислим разность их временных координат в системе K (с точки зрения неподвижного наблюдателя). Из формулы Лоренца (4.2а), выражающей t через t' и x_1' , легко получить:

$$t_2 = \frac{t_2' + vx_2'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad t_1 = \frac{t_1' + vx_1'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Если принять во внимание, что $t_2' = t_1' = t'$ (события одновременные), т. е. $t_2' - t_1' = 0$, то получаем:

$$t_2 - t_1 = \frac{v}{c^2} (x_2' - x_1').$$

То есть одновременные события в движущейся системе K' для неподвижного наблюдателя в системе K не одновременны.

Замедление времени

Пусть в системе отсчета K' происходят два события в одной и той же точке так, что их координаты суть x', t_1' и x', t_2' . Промежуток времени между этими событиями в системе K' есть, очевидно, $(t_2' - t_1')$.

Вычислим этот же промежуток времени в системе отсчета K (для неподвижного наблюдателя). Из формулы (4.2а) получаем:

$$t_2 = \frac{t_2' + vx_2'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}; \quad t_1 = \frac{t_1' + vx_1'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Учитывая, что $x_2' = x_1' = x'$, а $x_2' - x_1' = 0$, получаем:

$$t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1-v^2/c^2}},$$

т. е. время потеряло свой абсолютный характер, не зависящий от системы отсчета. В движущейся системе отсчета течение времени замедляется в $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ раз.

Закон сложения скоростей

В классической механике, как известно, скорость тела просто складывается со скоростью системы отсчета. Сейчас мы убедимся, что в теории относительности скорость преобразуется по более сложному закону.

Мы снова ограничимся рассмотрением одномерного случая. Пусть две системы K и K' наблюдают за движением некоторого тела, которое перемещается равномерно и прямолинейно параллельно осям x и x' обеих систем отсчета. Пусть скорость тела, измеренная системой отсчета K , есть u ; скорость того же тела, измеренную системой K' , обозначим через u' . Буквой v будем по-прежнему обозначать скорость системы K' относительно K .

Допустим, что с нашим телом происходят два события, координаты которых в системе K суть x_1, t_1 и x_2, t_2 . Координаты тех же событий в системе K' пусть будут x_1', t_1' и x_2', t_2' . Но скорость тела есть отношение пройденного телом пути к соответствующему промежутку времени, поэтому, чтобы найти скорости тела в той и другой системах отсчета, нужно разность пространственных координат обоих событий разделить на разность временных координат:

$$u = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}; \quad u' = \frac{x_2' - x_1'}{t_2' - t_1'}.$$

Из преобразований Лоренца (4.2а) легко получить следующее:

$$x_2 - x_1 = \frac{(x_2' - x_1') + v(t_2' - t_1')}{\sqrt{1-v^2/c^2}},$$

$$t_2 - t_1 = \frac{(t_2' - t_1') + \frac{v}{c^2}(x_2' - x_1')}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Поделив первое на второе, получим:

$$\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)}{(t'_2 - t'_1) + \frac{v}{c^2}(x'_2 - x'_1)} = \frac{\frac{x'_2 - x'_1}{t'_2 - t'_1} + v}{1 + \frac{v}{c^2} \frac{x'_2 - x'_1}{t'_2 - t'_1}};$$

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}}. \quad (4.3)$$

Это и есть релятивистский закон сложения скоростей. Он заменяет собой классическую формулу

$$u = u' + v,$$

которую можно, как всегда, получить из релятивистской, если скорость света считать $c \gg v$.

Если рассматривать случай, когда система отсчета K движется относительно K' со скоростью, как мы отмечали, v , тогда можно записать, заменив u на u' :

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{vu}{c^2}}. \quad (4.3a)$$

Если скорость тела, например u' , равна скорости света c , то

$$u = \frac{c + v}{1 + \frac{c \cdot v}{c^2}} = \frac{c + v}{c + v} \cdot c = c.$$

Это есть не что иное, как закон постоянства скорости света, согласно которому закон сложения скоростей эквивалентен постулату постоянной скорости и света.

Преобразования Лоренца занимают в теории относительности весьма важное место, составляя одну из математических ее основ.

В заключение заметим, что формулы преобразований Лоренца теряют смысл, если $v = c$, так как в их знаменателях появляются нули, а деление на нуль, как известно, невозможно. Это значит, что ни-

какие две системы отсчета не могут иметь относительной скорости, равной скорости света. Отсюда вытекает, что и никакое материальное тело не может достичь скорости света, так как ко всякому телу можно «привязать» систему отсчета.

СТО установила между временем и пространством неразрывную связь, отраженную в преобразованиях Лоренца. В 1908 г. немецкий физик и математик Герман Минковский ввел понятие четырехмерного Мира, в котором три измерения пространственные, а четвертое измерение - время.

Каждое мгновенное событие характеризуется четырьмя числами: x, y, z (где) и t (когда). Как мы уже видели, в СТО в зависимости от скорости меняются размеры тел и ход времени. Согласно СТО, той ареной, на которой разыгрываются все события, является не просто пространство, а некий сплав пространства и времени - четырехмерное пространство-время. Именно оно имеет физическую реальность!

Еще один важный вывод СТО - масса тела m связана со скоростью соотношением

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (4.4)$$

где m_0 - масса покоящегося тела, или просто масса покоя.

Эйнштейном установлена также универсальная связь между полной энергией движущегося тела E и его массой m :

$$E = mc^2. \quad (4.4a)$$

Это является огромным достижением СТО (и естествознания в целом!).

В литературе обычно частное v/c обозначается буквой β , а величина $\sqrt{1 - \beta^2}$ называется релятивистским множителем. При численном решении задач, в которых встречаются релятивистский множитель $\sqrt{1 - \beta^2}$, в случаях, когда скорость v очень мала по сравнению со скоростью света c , пригодны следующие приближенные выражения:

$$\sqrt{1 - \beta^2} \approx 1 - \frac{1}{2}\beta^2, \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \approx 1 + \frac{1}{2}\beta^2.$$

Когда же v сравнима со скоростью света c , т. е. $\beta \approx 1$, то

$$\sqrt{1 - \beta^2} \approx \sqrt{2(1 - \beta)}.$$

Огромным достижением СТО (и естествознания в целом!) явилось установление связи между энергией и массой. При небольших скоростях соотношение (4.4) можно записать в виде

$$m \approx m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right) = m_0 + \Delta m, \quad (4.5)$$

где $\Delta m = \frac{m_0 v^2}{2c^2} = \frac{E_{\text{кин}}}{c^2}$. (4.6)

Умножая (4.5) на c^2 и учитывая (4.6), получим

$$mc^2 = m_0 c^2 + E_{\text{кин}}. \quad (4.7)$$

Из теории относительности следует, что энергия тела может быть записана в общем виде, с учетом (4.4) и (4.4а):

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (4.8)$$

При малых скоростях (с учетом 4.7):

$$E \approx m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} \quad (4.9)$$

Теперь понятен смысл слагаемых в формулах (4.7) и (4.9). Второе слагаемое - обычная кинетическая энергия, а первое определяет энергию тела в покое (при $v = 0$):

$$E_0 = m_0 c^2. \quad (4.10)$$

Выраженное формулой (4.10) соотношение называют законом пропорциональности массы и энергии. Если тело, оставаясь в покое, получает или отдает энергию ΔE в виде излучения или теплоты, то пропорционально изменяемой энергии изменяется его масса покоя:

$$\Delta m_0 = \frac{\Delta E}{c^2}. \quad (4.11)$$

То, что между массой и энергией всегда есть зависимость (4.8), (4.9), (4.10), не упраздняет различия между этими величинами. Масса - мера инерции и, одновременно, гравитационный заряд; энергия - работа, которая может быть проведена системой, а это не одно и то же. И то, что эти две величины, такие разные по смыслу, оказываются связанными простыми зависимостями, далеко не очевидно заранее. Установление этого факта явилось одним из важнейших результатов теории.

Полученный результат имеет исключительное значение. Любое тело, обладающее массой покоя, обладает и энергией. Закон сохранения энергии приобрел новый смысл - это объединенный закон сохранения массы-энергии. Формулу (4.10) часто называют формулой века. Она позволила понять много новых явлений, связанных с атомным ядром и элементарными частицами. Энергия покоя 1 кг вещества равна $9 \cdot 10^{16}$ Дж. Примерно такое количество энергии потребляется в США за неделю. К сожалению, превратить всю собственную энергию, содержащуюся в веществе, в полезную энергию невозможно. Мы не можем уничтожить протоны и нейтроны, а можем только перегруппировать их и за счет этого высвободить какую-то часть энергии (существует закон: полное число тяжелых элементарных частиц, протонов и нейтронов, в природе неизменно).

Установлено, что в процессе деления тяжелого ядра (например, урана) энергия, преобразующаяся в кинетическую энергию осколков деления, составляет примерно в расчете на одно ядро всего лишь 0,1% собственной энергии ядра урана, остальная часть (99,9%) приходится на массу протонов и нейтронов и не может быть превращена в кинетическую энергию. Таким образом, коэффициент полезного действия превращения собственной энергии в полезную энергию в ядерной реакции составляет 0,1%.

В химическом процессе горения топлива, например угля, коэффициент полезного действия такого превращения составляет всего 10⁻⁸%, поскольку энергия связи атомов в молекуле во много раз меньше их собственной энергии (а при горении освобождается как

раз энергия связи атомов). Поэтому деление ядра «производит» энергию в миллионы раз более эффективно, нежели горение топлива.

Принцип соответствия

Эйнштейн изложил новые законы движения, которые обобщали законы механики Ньютона. По существу Эйнштейном была создана новая механика, описывающая движения тел при любых скоростях, в том числе и при $v \approx c$. Она получила название *релятивистской* механики, от немецкого слова *Relativital* (англ. *relativity*) - относительность.

Очень важно отметить, что законы релятивистской механики переходят в классические законы механики Ньютона в случае малых скоростей тел, то есть при $v \ll c$. Классическая механика является частным случаем механики релятивистской, причем применимость этого частного случая ограничена условием $v \ll c$.

Получается, что новая теория вобрала в себя все достижения старой теории, указывая границы применимости последней. С точки зрения развития науки это положение очень важно; любая новая теория должна обобщать, дополнять старую теорию (как это произошло в случае с релятивистской и классической механикой). Данное правило получило название *принципа соответствия*.

Заканчивая рассмотрение СТО, необходимо подчеркнуть, что впоследствии СТО получила подтверждение в многочисленных экспериментах, главным образом, в экспериментах с элементарными частицами. Сегодня без знания СТО не спроектировать и не построить ускоритель элементарных частиц. «Формула века» $E = mc^2$ лежит в основе ядерной энергетики, без нее невозможно понять процессы, происходящие в звездах.

Общая теория относительности

Создание СТО было важным шагом на пути разработки новой теории гравитации. Эта теория должна была описать свойства материи в гравитационном поле, учесть существование предельной скорости в природе, включить в рассмотрение неинерциальные (движущиеся с ускорением) системы.

Всеми этими свойствами обладала созданная Альбертом Эйнштейном в 1916 г. общая теория относительности (ОТО).

При разработке теории гравитации Эйнштейн отмечал, что первый постулат СТО является ограниченным. Реальные системы движутся с ускорением, поэтому автор новой теории формулирует общий принцип относительности: законы физики имеют одинаковый вид (инвариантны) в любых произвольно движущихся (неинерциальных) системах координат.

Эйнштейн принял также за основу новой теории факт равенства «тяжелой» (входящей в закон всемирного тяготения) и «инерционной» (связанной со вторым законом Ньютона) массой, что привело его к формулировке положения, названного принципом локальной эквивалентности. Согласно этому принципу локально, т. е. в достаточно небольшой области пространства и времени (в которой поле тяготения можно считать однородным и постоянным во времени), гравитация проявляется в физических процессах так же, как и ускорение. Из принципа эквивалентности вытекает, что все явления, которые обусловлены неинерциальностью системы отсчета, могут наблюдаться в инерциальной системе в результате действия сил тяготения. Мы всегда можем вычислить непосредственно действие сил инерции на любую физическую систему, и это дает нам возможность знать действие поля тяготения, отвлекаясь от его неоднородности, которая часто очень незначительна.

В качестве примера рассмотрим движение в вакууме световой частицы фотона (совокупность таких частиц, летящих «бок о бок», образует световой луч). Из оптики известно, что в вакууме в отсутствие каких-либо полей световые лучи прямолинейны. Следовательно, в инерциальной системе отсчета в отсутствие гравитационного поля фотон летит со скоростью c по прямолинейной траектории. Примем эту траекторию за ось x (рис. 4.2).

В неинерциальной системе отсчета, движущейся с ускорением $-a$, фотон будет обладать ускорением a , перпендикулярным оси x . Поэтому относительно неинерциальной системы отсчета, одновременно с движением вдоль оси x со скоростью c , фотон будет двигаться неравномерно вдоль оси y . За время t фотон пройдет вдоль оси x путь $x = ct$ и вдоль оси y путь $y = at^2/2$. Исключив из выражения для x и y время t , получим уравнение траектории фотона, т. е. уравнение луча в неинерциальной системе отсчета:

$$y = \frac{a}{2c^2} x^2.$$

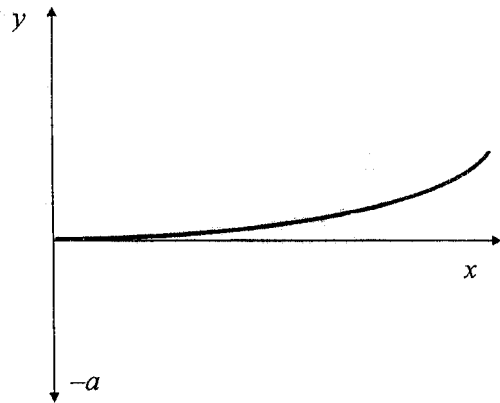


Рис. 4.2. Искривление траектории фотона (луча света) в неинерциальной системе отсчета, движущейся с постоянным ускорением $-a$

Таким образом, световой луч, прямолинейный в инерциальной системе отсчета, в неинерциальной системе отсчета искривляется и приобретает форму параболы.

Согласно принципу эквивалентности такое же искривление луча должно наблюдаться в инерциальной системе отсчета под действием перпендикулярного к лучу гравитационного поля. Отсюда заключаем, что световые частицы - фотоны подвержены действию сил тяготения.

Эйнштейн обращает внимание на удивительное свойство гравитации: с одной стороны, от нее нельзя заслониться никакими экранами (как, например, это можно сделать в случае электромагнитного взаимодействия), а с другой стороны, от нее легко можно избавиться с помощью правильного выбора системы координат. Эйнштейн сам поясняет это: «В 1907 г. я попытался видоизменить теорию тяготения Ньютона так, чтобы ее законы соответствовали специальной теории относительности. Попытки такого рода продемонстрировали, что это возможно, но они не удовлетворяли меня, так как строились на физически необоснованных гипотезах. И тогда мне в голову пришла счастливейшая мысль в моей жизни! Существование гравитационного поля может считаться лишь относительным, точно так же, как существование электрического поля, наводимого в результате электро-

магнитной индукции. Это связано с тем, что для наблюдателя, свободно падающего с крыши, гравитационное поле, по крайней мере, в его ближайшем окружении, не существует. В самом деле, если при этом наблюдатель бросает какие-то предметы, то они находятся по отношению к нему в состоянии покоя или равномерного движения вне зависимости от их (физического или химического) состава... В распоряжении наблюдателя нет объективных средств обнаружения своего падения в гравитационном поле. В таком случае он вправе считать, что находится в покое в пространстве, лишенном поля тяготения».

А в одном из своих публичных выступлений Эйнштейн высказывался на эту тему еще эмоциональнее: «Я сидел в кресле в бернском бюро, как вдруг мне в голову пришла мысль: "В свободном падении человек не ощущает тяжести своего веса!" Я был поражен. Эта простая мысль произвела на меня огромное впечатление. Развив ее, я пришел к теории тяготения».

Таким образом, поле тяготения (гравитационное поле), в отличие от других полей, может быть «устранено» переходом в систему отсчета, движущуюся с ускорением, - таким переходом может быть, например, прыжок с крыши. Позднее Эйнштейн использует пример со свободно падающим лифтом, в котором все предметы, как и наблюдатель, лишены веса.

Что же это за поле такое, которое можно устранить простым выбором системы координат? Здесь Эйнштейн делает шаг принципиальной важности. Он предполагает, что гравитация - это не поле, а свойство пространства. Массивное тело не создает вокруг себя никакого поля, оно искривляет вокруг себя пространство. В результате движение тел происходит в искривленном пространстве. Пространство «говорит» материи, как ей двигаться, а материя «указывает» пространству, как ему искривляться. И если на тело не действуют силы, то оно покоится либо движется в соответствии с законом инерции. Путь тела, движущегося по инерции в искривленном пространстве, описывается не прямой линией, а так называемой геодезической линией, форма которой зависит от степени кривизны пространства. Тело, движущееся в искривленном пространстве по геодезической линии, не «чувствует» влияния гравитации. Так, космонавты, месяцами работающие на околоземной космической станции, не испытывают действия гравитации - находятся в состоянии невесомо-

сти. Космическая станция движется по инерции вдоль геодезической линии в пространстве, искривленном массивной Землей.

Эйнштейн для описания действия гравитационных сил отказался от привычного «плоского» пространства Евклида. Тяготение потребовало использования нового математического аппарата. Громадный вклад в разработку неевклидовых геометрий (геометрий искривленного пространства) внесли математики М. Лобачевский (Россия), Я. Бойяи (Венгрия) и К. Риман (Германия). Искривленное четырехмерное пространство Римана оказалось адекватным описанию явления гравитации.

Впоследствии Риман показал единство и непротиворечивость всех неевклидовых геометрий, частным случаем которых является геометрия Евклида. Создатели геометрий Лобачевский и Риман считали, что только физические эксперименты могут показать нам, какова геометрия нашего Мира. Эйнштейн в общей теории относительности сделал геометрию физической экспериментальной наукой, которая подтвердила характер пространства Римана.

Итак, причина тяготения, разгадка его механизма - в свойствах пространства. Пространство - не пассивная арена для физических процессов, структура пространства не постоянна, его свойства изменяются в соответствии с распределением и движением в нем материи. Наличие в пространстве больших масс материи приводит к изменению его свойств. Принципиально меняется описание явления гравитации. По Ньютону, это движение под действием силы (тяготения), по Эйнштейну, это свободное движение тел в искривленном пространстве-времени.

ОТО проверена экспериментально. Каким образом? ОТО связывает гравитацию с искривлением пространства-времени. Это означает, во-первых, что в гравитационном поле вблизи массивного тела время течет иначе, чем вдали от него, где гравитационное поле слабее. Следовательно, можно сравнить ход одинаковых часов, удаленных на различное расстояние от Земли и Солнца. Такие сравнения проводились неоднократно с помощью искусственных спутников Земли и космических станций. Результаты измерений прекрасно согласуются с предсказанием ОТО. Во-вторых, лучи света распространяются в искривленном пространстве по искривленной траектории. Лучи от далекой звезды, проходя вблизи Солнца, отклоняются от прямой, и это отклонение можно зарегистрировать (рис. 4.3).

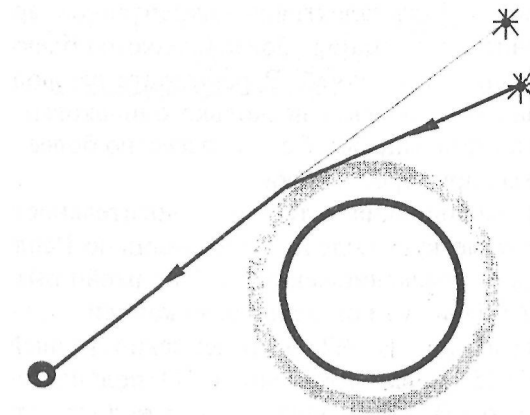


Рис. 4.3. Искривление световых лучей в поле тяготения Солнца:

тонкая линия - кажущееся направление на звезду

Такое явление наблюдается во время солнечных затмений. Совпадение наблюдений с теорией полное. Пожалуй, наиболее впечатляющим подтверждением теории искривленного пространства являются наблюдения так называемых гравитационных линз. Это объясняется схемой на рис. 4.4.

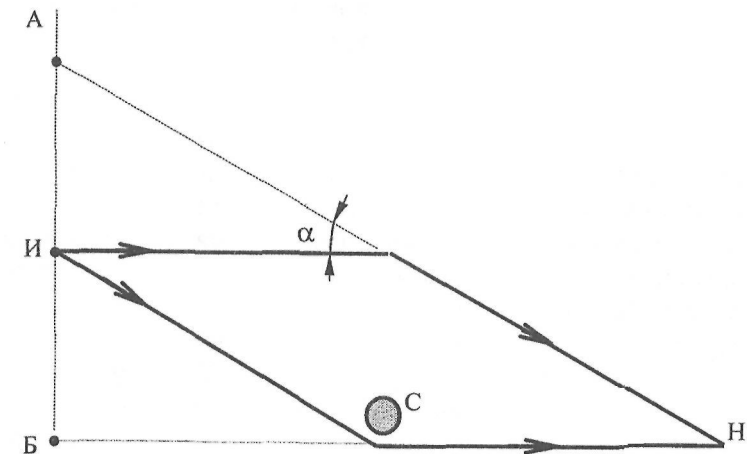


Рис. 4.4. Схематическое изображение гравитационной линзы:

массивное тело С, расположенное между источником излучения и наблюдателем Н, искривляет лучи, и наблюдатель видит два изображения источника: А и Б

Если за какой-нибудь галактикой находится квазар или другая галактика, то гравитационное поле более близкого объекта искривляет поток проходящих мимо лучей. В результате наблюдатель видит вместо одного далекого объекта несколько одинаковых его изображений («галактический» мираж). Сейчас известно более десятка подробных конкретных примеров на небе.

Решение уравнений общей теории относительности позволяет построить математическую модель, описывающую Вселенную в целом: ее геометрию и поведение вещества. Эйнштейн пытался решить эту задачу в 1917 г. При этом он исходил из концепции стационарной (неизменной) Вселенной. В 1922 г. российский ученый Александр Фридман (1888-1925), решая уравнения ОТО, получил неожиданный результат: согласно ОТО Вселенная не может быть стационарной. Она должна либо сжиматься, либо расширяться! Единственным допущением, которое использовал Фридман для того, чтобы решить уравнения ОТО, была гипотеза о пространственной однородности Вселенной. Какой же выбор сделала Природа из двух возможностей? Она расширяется.

5. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИРОДЕ

В повседневном опыте мы встречаемся с разнообразными силами. Чтобы открыть дверь, надо приложить мускульную силу и преодолеть силу трения в дверных петлях и упругую силу дверной пружины. Мы наблюдаем силы, с которыми атмосфера давит на барометр и Земля действует на Луну. Электрическая сила запускает двигатель вашего автомобиля, гидравлическая сила работает в его тормозах, а если вам не повезло и вы наехали на фонарный столб, то своей остановкой вы обязаны механической силе. Однако, несмотря на разнообразные названия, которые мы даем полезным и вредным силам, существуют лишь два основных вида сил, управляющих поведением предметов в повседневной жизни, - гравитационные и электромагнитные силы (или взаимодействия). Все перечисленные выше силы лишь разные проявления этих двух фундаментальных взаимодействий.

Названных взаимодействий, однако, недостаточно для описания ядерных явлений. Исследование процессов с участием ядер и элементарных частиц показало, что в природе существуют взаимодействия еще двух видов - так называемые сильные, или ядерные, и слабые. Гравитационные и электромагнитные взаимодействия - дальнедействующие (т. е. их действие заметно на больших расстояниях). По этой причине именно они и ответственны за все крупномасштабные, макроскопические явления, начиная от явлений повседневной жизни и кончая происходящими в далеких звездах и галактиках. Ядерные и слабые взаимодействия имеют чрезвычайно короткий радиус действия, поэтому вызываемые ими явления заметны лишь в масштабах ядерных размеров. Тем не менее эти силы имеют для нашего существования первостепенное значение. Жизнь на Земле поддерживается благодаря солнечному свету, а сам он является конечным результатом ядерных процессов, происходящих в глубинах Солнца.

Таким образом, ни одно из названных четырех взаимодействий не является излишним. Все они в равной мере необходимы для «нор-

мального функционирования» Вселенной. Разумеется, нельзя исключить возможность того, что природа устроена сложнее, чем мы думаем, но по крайней мере на сегодняшний день мы знаем четыре типа сил или взаимодействий: гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые. Те процессы, которые мы наблюдаем, по-видимому, не требуют привлечения еще какого-либо типа сил. Любопытно, что природе удалось построить всю Вселенную, используя всего лишь четыре основных типа сил.

Как «работают» взаимодействия? Как они обеспечивают связь отдельных элементов в целые структуры? В разное время придумывались различные понятия для объяснения механизма того или иного взаимодействия: ангелы, толкающие перед собой планету, внутренний магнетизм, поля, силы, искривление пространства и т. д. В настоящее время считается общепринятым, что все взаимодействия в природе возникают в результате обмена частицами-переносчиками между взаимодействующими частицами. Частицы-переносчики могут быть испущены самими взаимодействующими частицами, а также могут родиться из физического вакуума. В этом случае частицы называются виртуальными (от лат. *virtualis* - возможный). Представления о взаимодействии путем обмена частицами-переносчиками имеют хорошую образную аналогию. На рис. 5.1 изображены два конькобежца. Если они перекидывают друг другу мяч, то, очевидно, что они будут удаляться при этом друг от друга, что соответствует отталкиванию частиц (как в случае одноименно заряженных частиц). Если же конькобежцы перебрасывают бумеранг, то при этом происходит их сближение, что соответствует приближению частиц (как в случае разноименно заряженных частиц).

Во второй половине XX в. больших успехов в описании электромагнитного взаимодействия достигла область физики, называемая квантовой электродинамикой. Согласно квантовой электродинамике два электрических заряда взаимодействуют путем обмена виртуальными фотонами-переносчиками. Их можно представить как бы окруженными облаками непрерывно излучаемых и поглощаемых фотонов.

Теория взаимодействия кварков получила название квантовой хромодинамики. Осуществляющие взаимодействие между кварками частицы-посредники называются глюонами (от англ. *glue* - клей, приклеивать).

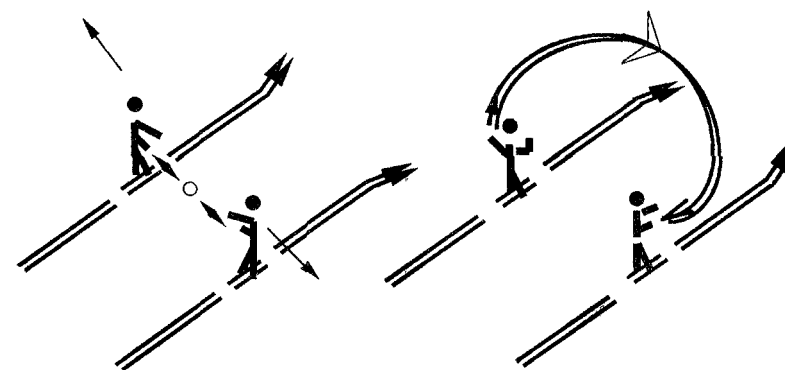


Рис. 5.1. Возникновение притяжения и отталкивания при обмене частицами-переносчиками (по Д. Уилкинсону)

Сильное взаимодействие во много раз сильнее электромагнитного (примерно в 100 раз), но, как уже отмечалось, действует на очень маленьких расстояниях, порядка радиуса атомного ядра. Например, чтобы получить ядро гелия (заряд +2), необходимо соединить два ядра дейтерия (заряд +1). При сближении одноименных зарядов сила отталкивания возрастает и на маленьких расстояниях достигает очень больших значений. Но стоит только, преодолевая электрическое отталкивание, сблизить ядра до расстояния порядка 10^{-15} м, как «включаются» гораздо более мощные силы ядерного притяжения - сильное взаимодействие. Оно и обеспечивает устойчивость ядер химических элементов в природе.

Слабое взаимодействие, ответственное за протекание ядерных реакций, оказалось во многом родственным электромагнитному взаимодействию. Свойства частиц-переносчиков слабого взаимодействия были предсказаны теоретически в 1970 г., а в 1983 г. существование этих частиц, называемых W^+ , W^- и Z^0 -бозонами, было доказано экспериментально. В современной теории эти два типа взаимодействий - электромагнитное и слабое - описываются с единых позиций и рассматриваются как одно *электрослабое взаимодействие*.

С подобных позиций можно подойти к гравитационному взаимодействию. Массивные тела можно рассматривать как гравитационные заряды и предположить наличие частиц, осуществляющих перенос взаимодействия между гравитационными зарядами. Такие гипотетические частицы называют *гравитонами*.

5.1. Гравитационное взаимодействие

Ускоренное движение предмета возникает лишь под действием приложенной к нему силы. Гравитационная сила (сила тяжести) придает ускорение $9,8 \text{ м/с}^2$ телам, свободно падающим у поверхности Земли. Эта сила действует на Земле, но мы могли бы задать вопрос: является ли Земля тем единственным местом, где существует сила тяжести, или же эта сила действует во всей Вселенной? Аналогичный вопрос возник и у Ньютона, но он не располагал средствами для выяснения, в какой мере универсально тяготение, по крайней мере, за пределами Солнечной системы. Поэтому Ньютон выбрал для изучения систему Земля - Луна. Он предположил, что сила, удерживающая Луну на ее орбите около Земли, - это та же сила, которая притягивает тела вблизи поверхности Земли.

Ньютон предположил, что гравитационная сила, подобно освещенности, ослабевает пропорционально квадрату расстояния. Поэтому если Луна находится от центра Земли в 60 раз дальше, чем тело на поверхности Земли (рис. 5.2), то гравитационная сила и тем самым ускорение для Луны должны быть меньше в $(60)^2$ раз, т. е. в 3 600 раз. Как раз такое значение и имеет отношение $g/a_{ц}$, где g - ускорение свободного падения у поверхности Земли; $a_{ц}$ - центростремительное ускорение Луны. Хотя рассчитанное и наблюдаемое значения совпали, подтверждая тем самым гипотезу Ньютона, нужно обратить внимание еще на два обстоятельства.

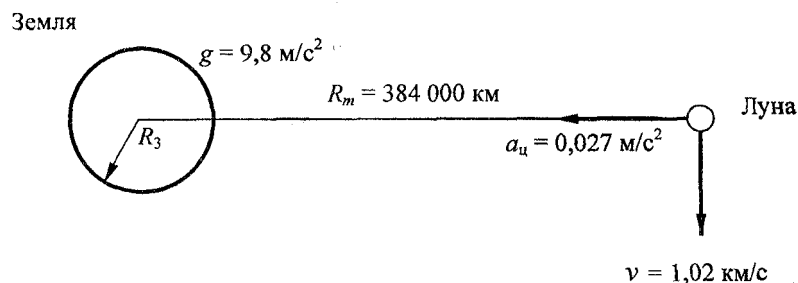


Рис. 5.2. Центростремительное ускорение Луны на орбите, обусловленное гравитационным притяжением Земли

1. Ньютон принял, что гравитационная сила обратно пропорциональна квадрату расстояния между взаимодействующими телами.

Это предположение дало правильный результат для системы Земля - Луна, но не было никакой гарантии, что оно будет справедливо и для других систем с иными расстояниями между телами. Ньютон применил предположение о законе $1/r^2$ к движению других планет - спутников Солнца и нашел, что оно по-прежнему выполняется. Позднее было выяснено, что закону тяготения Ньютона подчиняются и двойные звезды (т. е. две звезды, обращающиеся одна вокруг другой). Поэтому представляется вероятным, что гравитационная сила изменяется по закону $1/r^2$ во всей Вселенной. Пока не удалось найти никаких исключений из этого закона.

2. При сопоставлении значения центростремительного ускорения $a_{ц}$ Луны со значением g оба расстояния отсчитывались от центра Земли. Когда Ньютон проводил свои вычисления (в 1666 г.), он не смог обосновать выбор точки отсчета и воздержался тогда от опубликования полученных им результатов. Ньютоновский закон всемирного тяготения увидел свет только в 1687 г., после того, как Ньютон разработал математический аппарат (дифференциальное исчисление), позволивший ему обосновать сделанные ранее вычисления. С помощью этого аппарата Ньютону удалось доказать, что если массу каждого из двух однородных тел сферической формы считать сосредоточенной в центре тела, то тела будут притягиваться друг к другу с силой, меняющейся по закону $1/r^2$. Этот важный результат явился ключом к закону тяготения; он позволил проводить все расчеты гравитационных сил, принимая, что массы тел сферической формы, а такова форма Земли и Луны, сосредоточены в их центрах.

Закон всемирного тяготения

Результат, полученный Ньютоном, выражается следующим законом: *гравитационная сила, с которой притягиваются друг к другу две частицы (или два тела сферической формы), обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами и прямо пропорциональна произведению их масс:*

$$F_{гр} = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

где множитель пропорциональности G называется гравитационной постоянной. Значение G равно:

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2.$$

Если тела имеют столь большие размеры, что их уже нельзя рассматривать как точечные частицы, или же они не имеют сферической формы, то выражение для силы притяжения принимает более сложный вид, для вывода которого приходится считать тела состоящими из большого числа точечных частиц.

Законы Кеплера

Между 1609 и 1611 гг. Иоганн Кеплер сформулировал три своих знаменитых закона движения планет. Выводы Кеплера основывались им на анализе многочисленных данных о движении планет, относящихся, в частности, к движению Марса, полученных Тихо Браге в результате многолетних наблюдений.

Законы Кеплера гласят:

I. Движения планет происходят по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

II. Линия, соединяющая планету и Солнце (радиус-вектор), «заметает» равные площади за равные интервалы времени.

III. Период обращения планеты T и ее расстояние от Солнца R связаны соотношением $R^3/T^2 = \text{const}$, причем постоянная имеет одно и то же значение для всех планет.

Третий закон сформулирован нами для случая движения по окружности, но он справедлив и для движения по эллипсу, если под R понимать длину большой полуоси эллипса (рис. 5.3).

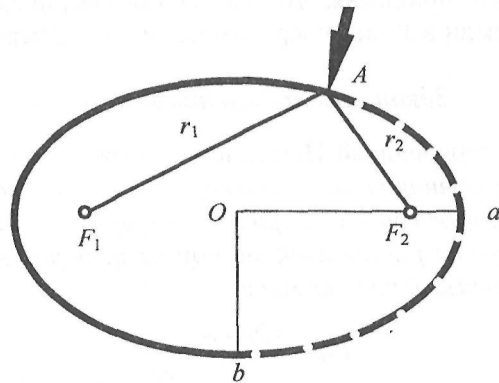


Рис. 5.3. Эллипс представляет собой геометрическое место точек, для которых $r_1 + r_2 = \text{const}$. К их числу принадлежит, например, точка A :

Oa - большая и Ob - малая полуоси эллипса

Если обозначить ее через a , то третий закон И. Кеплера можно записать так:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Изменяется ли сила гравитационного взаимодействия в точности как $1/r^2$?

Мы пользовались законом всемирного тяготения Ньютона, согласно которому гравитационная сила меняется с расстоянием в точности как $1/r^2$.

Но в какой степени мы можем быть уверены в том, что показатель степени r равен точно 2, а не 2,000001 или 1,999999? Проверить это, причем с высокой точностью, можно, наблюдая за движением планет. Ньютон показал, что если гравитационная сила меняется с расстоянием в точности как $1/r^2$, то эллиптические орбиты планет не должны изменяться во времени. В частности, ближайшая к Солнцу точка эллипса (она называется перигелием) не должна менять своего положения по отношению к «неподвижным» звездам. Существуют, конечно, небольшие отклонения от точно эллиптических орбит (называемые возмущениями), обусловленные тем, что на данную планету действуют и другие планеты. Но эти отклонения очень малы, поскольку главную роль играет гравитационная сила Солнца. Кроме того, были разработаны математические методы, позволяющие надежно рассчитать эти возмущения. Поэтому, если бы наблюдалось перемещение перигелия (за вычетом того, что обусловлено влиянием прочих планет), то это свидетельствовало бы, что показатель степени в законе всемирного тяготения не равен в точности двум.

Около ста лет назад было обнаружено малое перемещение перигелия Меркурия, которое не удавалось объяснить исчерпывающим образом. Перигелий двигался (прецессировал) с очень малой скоростью, так что орбита напоминала медленно поворачивающийся эллипс (рис. 5.4). После учета влияний со стороны всех прочих планет оказалось, что остаточная прецессия составляет $43''$ за столетие. Само измерение столь малой величины со столь большой точностью (а погрешность приведенного результата составляет лишь 1%) является замечательным достижением.

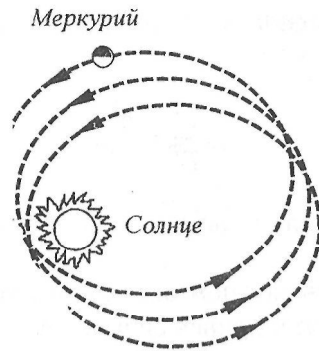


Рис. 5.4. Медленная прецессия перигелия орбиты Меркурия (эксцентрисичность орбиты и величина прецессии сильно преувеличены)

Прежде всего можно было подозревать, что прецессия перигелия Меркурия указывает на наличие какой-то не наблюдавшейся ранее планеты между ним и Солнцем, которая влияет на движение Меркурия, и это влияние не учтено в предшествующих вычислениях возмущений орбиты. Такую планету (заранее названную Вулканом) безуспешно искали в течение многих лет, и неудача заставила прийти к заключению, что закон всемирного тяготения немного не точен. В начале нашего века Эйнштейн показал, что в закон тяготения действительно надо ввести небольшую поправку, следующую из общей теории относительности. Теория тяготения Эйнштейна (общая теория относительности) предсказывает медленную прецессию планетных орбит. Наибольшую величину прецессии должна иметь для Меркурия - планеты, расположенной ближе всего к Солнцу и движущейся в самом сильном гравитационном поле. С поправкой Эйнштейна удается полностью объяснить движение перигелия Меркурия.

По Эйнштейну, перигелии орбит при каждом повороте планеты вокруг Солнца должны перемещаться на долю оборота, равную $3(v/c)^2$. Для перигелия Меркурия получается $43''$, угол поворота перигелия за сто лет составляет $42,91''$. Эта величина соответствует обработке наблюдений Меркурия с 1765 по 1937 г. Для Земли прецессия вызывает поворот орбиты на $4''$ в столетие.

Таким образом, зависимость гравитационной силы от расстояния вида $1/r^2$, следующая из закона всемирного тяготения, не вполне точна; при больших скоростях (близких к скорости света) неточными

являются и законы ньютоновской динамики. Однако ньютоновская форма закона всемирного тяготения вполне пригодна для всех практических задач.

Дополнительно отметим следующее. Экспериментальное значение скорости прецессии основывалось на вычислениях, проведенных в предположении, что Солнце имеет форму шара, так что силовые линии его гравитационного поля *прямолинейны*. Выполненные недавно с высокой точностью измерения формы Солнца показали, однако, что Солнце слегка *сплюснуто* у полюсов и имеет небольшую выпуклость у экватора. Как истолковать результаты этих измерений, пока еще не очень ясно; если они правильны, то в наблюдаемое значение скорости прецессии орбиты Меркурия следует внести еще одну поправку, составляющую $4''$ за столетие. Введение такой поправки расстроило бы согласие между экспериментом и предсказанием общей теории относительности. Если будет установлено, что эта новая поправка в самом деле верна, то тогда может потребоваться коренная переработка теории. С другой стороны, можно высказать возражение, что и другие астрономические данные, использованные при расчете возмущений, могут иметь ошибку, достаточную для компенсации поправки на сплюснутость Солнца. Сейчас разрабатывается новый метод для повышения точности измерения сплюснутости; вместе с тем для измерения расстояний до планет используются более точные радиолокационные методы. Поэтому, наверное, уже в ближайшие годы будет получено уточненное значение скорости прецессии, с которым придется сравнивать предсказание общей теории относительности.

5.2. Электромагнитное взаимодействие

Уже около 200 лет назад было известно, что в природе существуют два рода электрических зарядов. Следуя Бенджамину Франклину, их называют положительным и отрицательным электричеством. Основными носителями отрицательного электричества являются, конечно, электроны, которые образуют внешние части всех атомов. Положительное электричество сосредоточено в атомных ядрах; его носителями являются протоны. В макроскопических масштабах вещество в основном нейтрально, поскольку величина отрицательного

электрического заряда электрона равна величине положительного электрического заряда протона, а все атомы в нейтральном состоянии содержат одинаковое число протонов и электронов.

Перенос электрического заряда в телах почти всегда осуществляется в результате движения электронов; более массивные, положительно заряженные ядра почти во всех электрических явлениях остаются практически неподвижными. Иначе говоря, если вещество имеет отрицательный заряд, то это обусловлено тем, что оно содержит в избытке электроны; положительный же заряд вызывается недостатком электронов. Но число атомов в обоих случаях остается неизменным.

Ряд веществ (в том числе металлы) обладает интересным свойством; в них некоторая доля электронов не связана с какими-то конкретными атомами, а свободно перемещается в веществе. Такие вещества называются проводниками. Если на проводник поместить электрический заряд, то он быстро растечется по нему. Однако если электрический заряд поместить на изолятор, то заряд останется в том месте, куда его поместили. В изоляторах (к ним относятся, например, стекло, пластмассы) нет свободных электронов.

Основное свойство электрических зарядов состоит в том, что одноименные заряды отталкиваются, а разноименные - притягиваются.

Телу можно сообщить электрический заряд, перенося на него электроны или, напротив, удаляя их. Тело может потерять заряд, но тогда этот заряд приобретет другое тело. Один из фундаментальных законов сохранения природы гласит, что полный электрический заряд в изолированной системе остается постоянным.

Далее мы увидим, что при некоторых условиях и при определенных ограничениях могут рождаться пары электрических зарядов - отрицательный (обыкновенный) электрон и положительный электрон, или позитрон (частица, во всех отношениях не отличающаяся от электрона, но несущая положительный заряд). Такие процессы рождения не нарушают закон сохранения заряда, поскольку полный заряд родившейся пары частиц равен нулю, так что полный заряд в системе остается неизменным.

Никогда не наблюдалось рождение или исчезновение только электрона или только протона. Рождение или исчезновение частиц всегда происходит парами, состоящими из положительно и отрица-

тельно заряженных частиц. Неизвестно ни одного случая, в котором не соблюдался бы закон сохранения электрического заряда.

Закон Кулона

Законы взаимодействия неподвижных электрических зарядов изучает электростатика. Основным законом электростатики был экспериментально установлен французским физиком Шарлем Кулоном (1736-1806) в 1785 г. В опытах Кулона измерялись силы взаимодействия заряженных шаров. Опыты показали, что модуль силы F_3 взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел прямо пропорционален произведению абсолютных значений зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорционален квадрату расстояния r между телами:

$$F_3 = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}. \quad (5.3)$$

Сила F_3 направлена вдоль прямой, соединяющей заряженные тела. Она является силой отталкивания при одинаковых знаках зарядов q_1 и q_2 и силой притяжения при разных знаках.

Взаимодействие неподвижных электрических зарядов называют электростатическим или кулоновским взаимодействием.

В международной системе за единицу заряда принят кулон (Кл), *Кулон* - это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.

Вместо коэффициента k (5.3) часто используется коэффициент, называемый электрической постоянной. Электрическая постоянная ϵ_0 связана с коэффициентом k выражением

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.$$

С использованием электрической постоянной закон Кулона имеет вид:

$$F_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

Наименьшим известным в природе электрическим зарядом является заряд электрона или протона. Знаки зарядов этих частиц про-

тивоположны, а величина одинакова. Эту величину обозначают символом e :

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Мы ограничились рассмотрением только электростатической составляющей электромагнитного взаимодействия.

5.3. Ядерные (сильные) взаимодействия

Что удерживает частицы в ядрах? До сих пор мы имели дело с двумя силами - гравитационной и электромагнитной. Этим силам достаточно, чтобы объяснить движение тел в окружающем нас мире и даже более того - поведение атомных систем.

Но если мы заглянем в атом поглубже и попытаемся понять природу сил, действующих в атомных ядрах, то окажется, что для описания наблюдаемых там явлений электромагнитных и гравитационных сил недостаточно.

Мы знаем, что ядра чрезвычайно малы: характерный размер их имеет порядок 10^{-13} см. Атомные ядра несут положительный электрический заряд (достигающий $\approx 100e$), а мы знаем, что электростатические силы, особенно на малых расстояниях, могут быть весьма большими. В ядрах, очевидно, должны действовать исключительно мощные силы притяжения, способные преодолеть кулоновскую силу отталкивания, стремящуюся развести протоны в ядре подале друг от друга.

Нуклон-нуклонная сила не является «чистой» силой притяжения. На расстояниях порядка 10^{-14} см она становится силой отталкивания. Иными словами, в нуклонах обнаруживается как бы твердая сердцевина, не позволяющая двум нуклонам сблизиться слишком тесно. Зависимость нуклон-нуклонной силы от расстояния между нуклонами схематически показана на рис. 5.5. Мы употребили слово «схематически» в связи с тем, что нуклон-нуклонная сила не является центральной силой подобно гравитационной и электростатической (центральной называется сила, действующая вдоль линии, соединяющей центры частиц. Нуклон-нуклонное взаимодействие обуславливает сильное притяжение, но только на очень малых расстояниях, от $\sim 10^{-14}$ до $\sim 10^{-13}$ см. Нуклон-нуклонная сила действует частично

вдоль этой линии, а частично по другим направлениям). Существуют квантомеханические эффекты, которые играют важную роль в нуклон-нуклонном взаимодействии; они делают детальное описание нуклон-нуклонных сил чрезвычайно сложным. Мы до сих пор не знаем этих сил во всех деталях; их разгадка является одной из главных проблем современной ядерной физики.

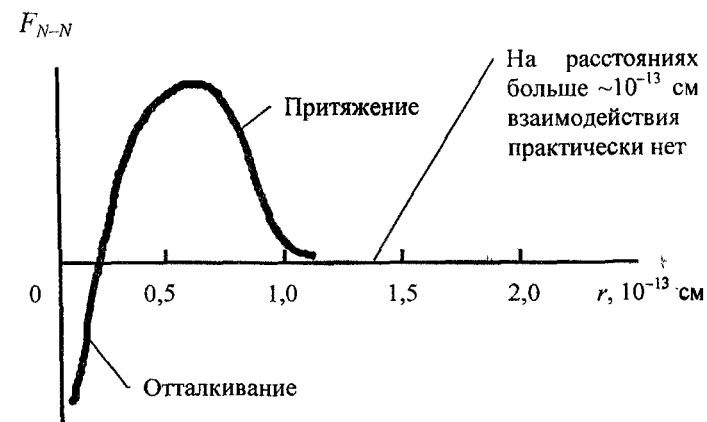


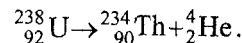
Рис. 5.5. Нуклон-нуклонное взаимодействие

5.4. Слабые взаимодействия

Не всякое атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов, удерживаемых ядерными силами притяжения, может существовать неограниченно долго. Многие атомные ядра оказываются способными к самопроизвольным превращениям в другие атомные ядра. Устойчивыми являются лишь те атомные ядра, которые обладают минимальным запасом полной энергии среди всех ядер, в которые данное ядро могло бы самопроизвольно превратиться.

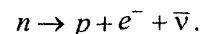
Альфа-распадом называется самопроизвольный распад атомного ядра на альфа-частицу (ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$) и ядро-продукт. Альфа-радиоактивны почти исключительно все ядра тяжелых элементов с порядковым номером $Z > 82$. При вылете альфа-частицы из ядра число протонов в ядре уменьшается на два, и продукт альфа-

распада оказывается ядром элемента с порядковым номером, на две единицы меньшим исходного, массовое число ядра продукта меньше массового числа исходного ядра на четыре единицы. Например, продуктом альфа-распада ядра изотопа урана $^{238}_{92}\text{U}$ является ядро изотопа тория $^{234}_{90}\text{Th}$:

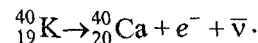


Начальная кинетическая энергия всех альфа-частиц, испускаемых ядрами одного изотопа, одинакова, или испускаются альфа-частицы с двумя-тремя разными значениями начальной кинетической энергии.

Явление электронного *бета-распада* представляет собой самопроизвольное превращение атомного ядра путем испускания электрона. В основе этого явления лежит способность протонов и нейтронов к взаимным превращениям. Масса свободного нейтрона больше массы свободных протона и электрона, вместе взятых, следовательно, запас полной энергии нейтрона больше запаса энергии протона и электрона. Поэтому нейтрон может самопроизвольно превращаться в протон p с испусканием электрона и антинейтрино $\bar{\nu}$:



Ядра, в которых происходят превращения нейтрона в протон, называются бета-радиоактивными. В результате превращения одного из нейтронов в протон заряд ядра увеличивается на единицу. Ядро-продукт бета-распада оказывается ядром одного из изотопов элемента с порядковым номером в таблице Менделеева, на единицу большим порядкового номера исходного ядра. Например, при бета-распаде ядра изотопа калия $^{40}_{19}\text{K}$, девятнадцатого элемента таблицы Менделеева, продуктом распада является ядро изотопа кальция $^{40}_{20}\text{Ca}$:



Массовое число ядра - продукта бета-распада остается прежним, так как число нуклонов в ядре не изменяется.

В процессе ядерного β -распада материнское ядро испускает электрон и антинейтрино (нейтрино). Подобно тому как между протоном и нейтроном существует в основном сильное (ядерное) взаимодействие, между электроном (e) и нейтрино (ν) существует (только

одно) слабое взаимодействие. Это взаимодействие ответственно за процесс β -распада ядер.

Мы пока очень плохо понимаем природу слабых взаимодействий. Например, мы не знаем деталей зависимости этих сил от расстояния. Известно лишь, что они короткодействующие - радиус их действия не больше, чем у ядерных сил, а может быть, и равен нулю.

Слабое взаимодействие существует между любыми парами элементарных частиц. Оно является единственным взаимодействием, существующим между электроном и нейтрино. Но оно имеется также даже между двумя протонами (хотя оно и гораздо слабее, чем электрическое или ядерное взаимодействие). Относительная величина различных взаимодействий между парами элементарных частиц приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Сравнение взаимодействий между элементарными частицами

Взаимодействие	Относительная величина на малых расстояниях ($\sim 10^{-13}$ см)			
	$e-\nu$	$e-p$	$p-p$	$p-p, n-n$
Сильное (ядерное)	0	0	1	1
Электромагнитное	0	10^{-2}	10^{-2}	0
Слабое	10^{-13}	10^{-13}	10^{-13}	10^{-13}
Гравитационное	0	10^{-41}	10^{-38}	10^{-38}

Примечания:

1. За единицу взята величина нуклон-нуклонного взаимодействия.
2. e - электрон, p - протон, n - нейтрон, ν - нейтрино.

Между нейтрино и всеми прочими элементарными частицами существует только слабое взаимодействие. С появлением больших ускорителей частиц нейтрино стали «вырабатываться» в огромных количествах, и сегодня широкое развитие получили работы по изучению нейтрино и слабых взаимодействий.

5.5. Понятие поля

Большинство сил, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни, представляют собой силы контактного типа, возникающие при соприкосновении. Мы тянем или толкаем тела, либо же один

предмет сталкивается с другим. В древности для людей реальными были только контактные силы. Казалось совершенно невероятным, что Солнце действует реальной силой на Землю, поскольку между этими телами нет контакта. Такое представление сохранялось вплоть до сравнительно недавнего времени.

Создание Ньютоном теории всемирного тяготения привело к возникновению совершенно новых представлений. Согласно этой теории, Земля, Луна, Солнце и вообще все планеты действуют друг на друга определенными силами, несмотря на то, что они не соприкасаются и между ними нет никакой материальной среды, которая могла бы передавать действие сил. Для описания гравитационного взаимодействия пришлось ввести понятие о «действии на расстоянии» (позднее его применили и к электрическим силам), поскольку нельзя представить передачу гравитационной силы через пустое пространство.

Ньютон не пытался объяснить, почему действие гравитационной силы передается через пустоту. Обсуждая это замечательное свойство тяготения, Ньютон написал в «Началах»: «Гипотез не измышляю». Он поставил цель лишь дать правильное математическое описание наблюдаемых явлений. Это ему удалось сделать, не задавая вопроса «почему?».

Для решения проблемы сил, действующих на расстоянии, «изобрели» эфир. Это была одна из самых известных гипотез в физике. Гипотеза эфира объяснила то, для чего была придумана, и ничего другого. Эфир обладал единственным свойством - «передавал» силу на расстояние. Его представляли себе в виде невидимого и невесомого желе: толкните его в одном месте, и этот толчок вызовет возмущение. Эфир же, придуманный для объяснения действия сил на расстоянии, был нематериальным, и в нем не было никаких контактных сил (во всяком случае, в их обычном понимании). Но это не смущало сторонников гипотезы эфира. Они строили одну за другой сложные теории напряжений, деформаций и вихревых движений в эфире. Тот же самый эфир рассматривали как среду, в которой распространяется свет; по этой причине его иногда называли светоносным эфиром.

Представление об эфире просуществовало вплоть до начала нашего века и было окончательно развенчано теорией относительности Эйнштейна. В теории эфира для объяснения всех новых фактов приходилось вводить так много новых произвольных допущений, что

в конце концов она рухнула, главным образом, под тяжестью собственного веса. Ее место в истолковании всех сил, действующих на расстоянии, заняла теория поля.

Что такое поле?

Любую физическую величину, которая имеет вполне определенное значение в каждой точке пространства, можно рассматривать как величину, характеризующую поле. Иными словами, мы можем считать, что были поставлены какие-то опыты - на двумерной площадке или в трехмерном пространстве - и в каждой точке были измерены значения некоторой физической величины (поля). В этих измерениях для каждой точки мы должны получить однозначную величину поля. Кроме того, изменение величины поля от одной точки пространства к другой должно быть плавным. Другими словами, не должно быть скачков в значениях физических величин - скажем, от -10 до +20 единиц - в двух соседних точках, находящихся на сколь угодно малом расстоянии друг от друга. Изменение должно происходить постепенно. В таком плавном изменении от точки к точке пространства и заключается главная особенность поля.

Физические явления, характеризующиеся скалярными величинами, приводят к понятию скалярное поле (например, температура точек неравномерно нагретой пластинки).

Физическую величину, имеющую в каждой точке пространства определенные численные значения и направление, можно рассматривать как величину, характеризующую векторное поле. Большинство представляющих интерес для физики полей являются векторными; к ним относятся гравитационное, электрическое, магнитное и другие поля.

В общем случае поле можно определить как особую форму существования материи, которая характеризуется и проявляется прежде всего энергией, а не массой, хотя и обладает последней.

К полям физическим относятся электромагнитные и гравитационные поля, поле ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие различным частицам (например, электрон-позитронное поле). Источниками физических полей являются частицы (например, для электромагнитного поля - заряженные частицы). Создаваемые частицами физические поля переносят (с конечной скоростью) взаимодействие между соответствующими частицами (в кван-

товой теории взаимодействие обусловлено обменом квантами поля между частицами).

Дальнодействие (действие на расстоянии) - это представление, согласно которому действие тел друг на друга передается мгновенно через пустоту на сколь угодно большие расстояния. Дальнодействие объяснялось с помощью присутствия рассмотренного выше эфира. Открытие электромагнитного поля (60-80 гг. XIX в.) показало, что концепция дальнодействия неверна.

Было доказано, что взаимодействие электрически заряженных тел осуществляется не мгновенно и перемещение одной заряженной частицы приводит к изменению сил, действующих на другие частицы, не в тот же момент, а лишь спустя конечное время. Возникла новая концепция - концепция близкодействия, которая затем была распространена и на любые другие взаимодействия.

Близкодействие - представление, согласно которому взаимодействие между удаленными друг от друга телами осуществляется с помощью промежуточных звеньев (или среды), передающих взаимодействие от точки к точке с конечной скоростью. «Посредником» являются те или иные поля, распределенные в пространстве. Так, всемирное тяготение осуществляется гравитационным полем.

После появления квантовой теории поля представление о взаимодействии существенно изменилось. Согласно этой теории, любое поле состоит из частиц - квантов этого поля. Каждому полю соответствуют свои частицы.

Например, квантами электромагнитного поля являются фотоны. Эйнштейн в 1905 г. предложил теорию, согласно которой любые электромагнитные излучения существуют в форме дискретных ступенек электромагнитной материи, названных квантами или фотонами. Заряженные частицы непрерывно излучают и поглощают фотоны, которые и образуют окружающее их электромагнитное поле.

Аналогично этому объясняются другие виды взаимодействия, возникающие в результате обмена частиц квантами соответствующих полей.

Интенсивность взаимодействия между телами (частицами) определяется *константами связи* (в частности, для электромагнитных взаимодействий константой связей является электрический заряд, для гравитационного взаимодействия - масса тела).

6. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ПРИРОДЕ

6.1. Закон сохранения массы и энергии (закон сохранения и превращения энергии)

Встречающиеся в природе различные виды материи могут превращаться друг в друга различными способами. Из водорода и кислорода образуется вода, протоны и нейтроны соединяются в атомные ядра, ядра вместе с электронами образуют атомы, при встрече электрона с позитроном их материя превращается в материю электромагнитного поля и т. д. Вследствие этого количество одного вида материи может уменьшаться или увеличиваться, однако это всегда связано с соответствующим увеличением или уменьшением количества материи другого вида. При этом общее количество материи не изменяется.

Экспериментально установлено, что в изолированной (замкнутой) системе общее количество материи постоянно, при этом она из одной формы может переходить в другую.

Другими словами, материя из ничего не создается и в ничто не превращается. Именно в этом заключается сущность фундаментального закона природы - *закона сохранения и превращения материи* (ЗСПМ). Его первая формулировка была дана в знаменитом письме Ломоносова к Эйлеру (1748).

Первоначально ЗСПМ был экспериментально доказан для частного случая закона сохранения массы при химических превращениях. Ломоносов (1756), исследуя взаимодействие свинца с воздухом в запаянном сосуде, не обнаружил различия массы сосуда в двух состояниях: до начала реакции и после ее завершения. Независимо и несколько позднее Лавуазье (1774) доказал справедливость этого закона на основании собственных опытов. В 1908-1909 гг. Ландольт и Этвеш подтвердили сохранение массы при химических реакциях в закрытых системах с максимально достижимой точностью (погрешность $< 10^{-6} \%$).

Независимо развивались представления о справедливости закона сохранения и превращения энергии, берущего начало с той же формулировки Ломоносова (1748). Под энергией понимают общую количественную меру различных форм движения материальных объектов.

Независимо развивались представления о справедливости закона сохранения и превращения энергии, берущего начало с той же формулировки Ломоносова (1748). Под энергией понимают общую количественную меру различных форм движения и взаимодействия материальных объектов. Различают следующие виды энергии:

механическая (кинетическая) - в обычном смысле это следствие движения макроскопических тел;

тепловая - вызвана беспорядочным движением молекул и атомов;

электрическая - преимущественно связана с перемещением электронов между атомами и молекулами;

магнитная - форма материального взаимодействия, возникающая между движущимися электрически заряженными частицами. (Передача магнитного взаимодействия, реализующая связь между пространственно разделенными материальными объектами - *actio in distance*, - осуществляется особым материальным носителем - магнитным полем. Оно является важнейшей характеристикой электромагнитной формы материи. Строго говоря, магнитное и электрическое поле - это две неразрывные стороны единого электромагнитного поля. Только в частном случае статических полей можно говорить об их относительно самостоятельном существовании);

химическая - является следствием движения электронов внутри атомов или молекул;

потенциальная энергия - обусловлена движением материи в виде физических полей (обменом между взаимодействующими частицами - квантами - соответствующего физического поля).

Философия рассматривает энергию как меру движения материи. Движение - способ существования материи, важнейший ее атрибут, в самом общем виде - изменение вообще, всякое взаимодействие материальных объектов. Диалектический материализм исходит из принципа единства материи и движения: нет материи без движения, как и нет движения без материи. Движение материи абсолютно, тогда как всякий покой относителен и представляет собой один из моментов движения. В философском аспекте движение выступает как единство противоположностей - изменчивости и устойчивости (при ведущей роли изменчивости), прерывности и непрерывности, абсолютного и относительного.

Все перечисленные выше разнообразные виды энергии, характеризующие конкретные формы движения, способны переходить

друг в друга. В изолированной материальной системе одни виды энергии исчезают и возникают другие, новые. Однако «исчезнувшая» энергия не уничтожается, а «появившаяся» не возникает из ничего. Такие превращения, независимо от условий, в которых они осуществляются, всегда подчиняются строго количественным соотношениям. Итак, формулировка закона сохранения и превращения энергии: *энергия не возникает из ничего и не уничтожается бесследно; однако различные виды энергии могут превращаться друг в друга в строго эквивалентных отношениях*. При любых процессах, происходящих в замкнутой системе, ее полная энергия не изменяется.

Экспериментальная проверка этого закона связана с именами многих ученых. Так, Гесс (1840) количественно исследовал для разных реакций переходы химической энергии в тепловую. Независимо друг от друга Джоуль (1841) и Ленц (1842) дали формулировку закона сохранения и превращения энергии для случая перехода электрической энергии в тепловую: количество теплоты Q (кал), выделяемое током в проводнике, пропорционально силе тока I (А), времени его прохождения t (с) и падению напряжения U (В), т. е. $Q = 0,24IUt$. Майер (1842) впервые высказал принцип эквивалентного взаимопревращения теплоты и работы. Для доказательства этого принципа решающее значение имели опыты Джоуля (1843), измерившего механический эквивалент теплоты ($J = 4,184$ Дж/кал = $0,427$ кг·м/кал), и исследования Гельмгольца «О сохранении силы» (1847). Дополнительное обсуждение закона сохранения и превращения энергии содержится при рассмотрении законов термодинамики.

Обобщение двух частных законов - закона сохранения массы при химических превращениях и закона сохранения и превращения энергии - в единый фундаментальный ЗСПМ, общий для макро- и микромира, связано с революцией в физике (начало XX в.), т. е. с успехами исследования элементарных частиц, созданием квантовой механики и теории относительности.

В классической физике масса конкретного тела рассматривалась как величина постоянная и независимая от его состояния. Однако Вальтер Кауфман (1902) экспериментально установил, что инертная масса электронов, ускоренных электрическим напряжением, постоянна (в пределах экспериментальных погрешностей) лишь до тех пор, пока их скорость v пренебрежимо мала по сравнению со скоростью света c (для вакуума $c = 2,9979 \cdot 10^{10}$ см/с). Если же скорость

электронов достаточно велика, то их инертная масса m_e возрастет по сравнению с так называемой массой покоя, или собственной массой m_0 , соответствующей малой скорости:

$$m_e = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.1)$$

Согласно теории относительности Эйнштейна (1905), масса любого тела изменяется со скоростью в соответствии с формулой (6.1). Эта теория устанавливает универсальную связь между изменениями энергии и массы: если энергия тела увеличивается или уменьшается на величину ΔE , то одновременно его масса возрастает или соответственно падает на величину Δm :

$$\Delta E = c^2 \Delta m. \quad (6.2)$$

Прокомментируем результаты опытов Кауфмана. При возрастании скорости электрона v происходит увеличение его кинетической энергии: $E_{\text{кин}} = mv^2/2$. Но эта энергия не взялась «ниоткуда». Возрастание скорости и энергии электрона обеспечивается внешним электромагнитным полем, т. е. дополнительными внешними энергозатратами. Прирост же энергии, согласно (6.2), приводит к приросту массы электрона. Материя электромагнитного поля переходит в вещественную форму, что проявляется в приращении массы электрона. Напротив, если скорость электрона (соответственно и его $E_{\text{кин}}$) уменьшается, часть материи электрона превращается обратно в материю электромагнитного поля.

Справедливость соотношения (6.2) подтверждена с высокой точностью в различных областях современной экспериментальной химии. Исключительно большой интерес и даже шок у философов, занимающихся интерпретацией естественнонаучных закономерностей, первоначально вызвал «дефект массы». Было установлено, что масса атомных ядер $m_{\text{яд}}$ всегда меньше арифметической суммы масс протонов и нейтронов, входящих в его состав. Разность между этими величинами Δm и называется дефектом массы. Тогда

$$\Delta m = 1,0078Z + 1,0087N - m_{\text{яд}}, \quad (6.3)$$

где N - число нейтронов, входящих в состав ядра;

Z - порядковый номер элемента в периодической системе (число протонов в ядре);

1,0078 и 1,0087 - массы протона и нейтрона в а. е. м.

Рассмотрим это на примере ядра гелия. Если обозначить протоны символом p , а нейтроны - n , то для ядра гелия ${}^4_2\text{He}(2p, 2n)$ имеем $\Delta m \sim 0,03$ а. е. м. Этому значению массы соответствует энергия

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,03 \text{ а. е. м.} \cdot 1,6603 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 44,8281 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Разделив эту величину на количество энергии в джоулях, эквивалентное одному электрон-вольту ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж/эВ), получаем ~ 28 МэВ, а умножив на количество молекул в одном моле (число Авагадро, равное $6,022 \cdot 10^{23}$ 1/Моль), получаем $\sim 2,7 \cdot 10^{12}$ Дж/моль (молекула гелия одноатомная).

Дефект массы характеризует устойчивость атомных ядер (энергию связи нуклонов в ядре). Объединение протонов и нейтронов в атомное ядро сопровождается переводом системы в низкоэнергетическое, более энергетически выгодное и устойчивое состояние. Избыточная энергия рассеивается в окружающую среду, что соответствует потере массы Δm в количествах, определяемых уравнением (6.2). ЗСПМ здесь тоже выполняется.

Представляет интерес сопоставление величины Δm и ΔE для только что рассмотренного примера простейшей ядерной реакции и обычной химической реакции. Так, при сжигании 1 г водорода в кислороде выделяется $\Delta E \sim 1,42 \cdot 10^6$ Дж тепловой энергии. В результате масса образующейся воды понизится на Δm .

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \approx \frac{1,42 \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \approx 0,1577 \cdot 10^{-10} \text{ кг} \approx 1,576 \cdot 10^{-8} \text{ г}.$$

Отсюда становятся понятными результаты опытов Ландольта и Этвеша: поскольку изменения массы, обусловленные выделяемой при химических процессах теплотой, пренебрежимо малы, то считается, что для химических реакций в пределах погрешностей эксперимента и независимо от теплоты реакции выполняется закон сохранения обычной гравитационной массы. Из анализа цифрового материала (см. раздел 4) с очевидностью следует, что энергетические эф-

факты ядерных процессов в миллионы раз больше, чем таковые для обычных химических реакций. Это объясняет все неудачи средневековых алхимиков, пытавшихся с помощью простейших химических операций превратить одни элементы в другие (чаще всего свинец в золото). Превращения элементов - это ядерные процессы, и для них нужна совсем другая энергетика. Однако не следует думать, что создание ядерных реакторов и сверхмощных ускорителей элементарных частиц сделало такой способ получения золота как валютного эквивалента хоть сколько-нибудь рентабельным.

6.2. Закон сохранения электрического заряда

В замкнутой системе, в которую не входят извне электрические заряды, при любых взаимодействиях тел алгебраическая сумма электрических зарядов всех тел остается постоянной:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}. \quad (6.3)$$

Этот экспериментально установленный факт называется законом сохранения электрического заряда.

Электрический заряд - это центральное понятие для электромагнетизма. С точки зрения классической электродинамики заряд участвует в электромагнитном взаимодействии и определяет интенсивность этого взаимодействия. Фундаментальные свойства электрического заряда можно свести к следующему:

- знакопеременность: заряды бывают положительными и отрицательными;
- независимость от скорости движения носителей заряда;
- аддитивность: заряд любой системы равен сумме зарядов ее частей;
- кратность элементарному заряду - заряду электрона:

$$q_0 = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

• сохраняемость заряда: по закону сохранения заряда суммарный электрический заряд всякой электрически нейтральной системы сохраняется.

Нигде и никогда в природе не возникает и не исчезает электрический заряд одного знака. Появление положительного электриче-

ского заряда $+q$ всегда сопровождается появлением равного по абсолютному значению отрицательного электрического заряда $-q$. Ни положительный, ни отрицательный заряд не могут исчезнуть в отдельности один от другого, они могут лишь взаимно нейтрализовать друг друга, если равны по абсолютному значению.

Особый случай представляет встреча заряженных античастиц, например электрона и позитрона. В этом случае положительные и отрицательные заряды действительно исчезают, но в полном соответствии с законом сохранения электрического заряда, так как алгебраическая сумма зарядов электронов и позитронов равна нулю.

6.3. Закон сохранения импульса и момента импульса

6.3.1. Закон сохранения импульса

Физическая величина, равная произведению массы тела m на скорость его движения v , называется импульсом тела или количеством его движения P . Импульс тела является векторной мерой поступательного движения тел.

$$\vec{P} = m \vec{v}.$$

Закон сохранения импульса гласит:

В замкнутой системе геометрическая (векторная) сумма импульсов тел остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Если тела массой m_1, m_2 процессе взаимодействия изменяют скорости движения, то можно записать:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}'_1 + m_2 \cdot \vec{v}'_2. \quad (6.4)$$

Необходимым условием применимости этого закона сохранения импульса к системе взаимодействующих тел является использование инерциальной системы отчета.

В качестве примера рассмотрим действие реактивного двигателя (рис. 6.1).

При сгорании топлива газы, нагретые до высокой температуры, выбрасываются из сопла ракеты со скоростью v . Ракета и выбрасы-

ваемые ее двигателем газы взаимодействуют между собой. На основании закона сохранения импульса при отсутствии внешних сил сумма векторов импульсов взаимодействующих тел остается постоянной. До начала работы двигателей импульс ракеты и горючего был равен нулю.

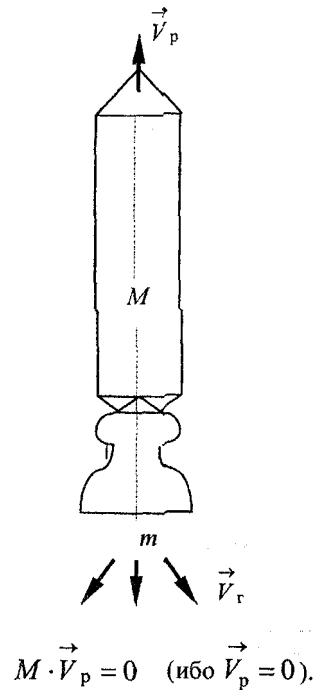


Рис. 6.1. К расчету скорости движения ракеты

Следовательно, по закону сохранения импульса, после включения двигателей сумма векторов импульса ракеты и импульсов истекающих газов равна нулю:

$$M \cdot \vec{V}_p + m \cdot \vec{V}_r = 0,$$

где M - масса ракеты;
 \vec{V}_p - скорость ракеты;
 m - масса выброшенных грузов;
 \vec{V}_r - скорость истечения газов.

Отсюда получаем:

$$M \cdot \vec{V}_p = -m \cdot \vec{V}_r,$$

а для модуля скорости

$$V_p = \frac{m}{M} V_r.$$

Эта формула применима для вычисления модуля скорости V ракеты при условии небольшого изменения массы ракеты M в результате работы ее двигателей.

6.3.2. Закон сохранения момента импульса

Момент импульса (количество движения) \vec{L} - это векторная мера механического движения тела или системы тел,

Момент импульса материальной точки относительно точки вращения равен векторному произведению:

$$\vec{L} = \left[\vec{r} \vec{P} \right],$$

где \vec{r} - радиус-вектор материальной точки, проведенный из точки вращения,

$$\vec{P} = m \vec{v} - \text{импульс материальной точки;}$$

m - масса;

\vec{v} - скорость движения.

Модуль этого вектора можно записать в виде

$$L = mvr \cdot \sin \theta,$$

где θ - угол между векторами \vec{r} и \vec{v} .

Вектор момента импульса \vec{L} направлен перпендикулярно к плоскости, проходящей через векторы \vec{r} и \vec{v} , так что при взгляде из его конца вращение от \vec{r} к \vec{v} происходит против часовой стрелки.

Если воспользоваться равенством

$$v = r \cdot \omega,$$

где ω - угловая скорость, то

$$L = mr^2 \cdot \omega \cdot \sin \theta.$$

Закон сохранения момента импульса гласит:

Для изолированной системы момент импульса остается постоянным.

Этот закон сохранения момента импульса хорошо обоснован; неизвестно никаких исключений из него или фактов, противоречащих ему. Закон сохранения момента импульса, как и закон сохранения импульса, справедлив не только в классической, но и в квантовой механике.

7. СИММЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ, ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В ЗАКОНАХ СОХРАНЕНИЯ

7.1. Некоторые проявления симметрии в природе

Понятие симметрии хорошо знакомо и играет важную роль в повседневной жизни. Многим творениям человеческих рук умышленно придается симметричная форма как из эстетических, так и практических соображений. Мяч симметричен, так как выглядит одинаково, как бы его ни поворачивали вокруг центра. Круглая печная труба сохраняет свой внешний вид при поворотах вокруг вертикальной оси, проходящей через центр поперечного сечения.

В природе симметрия также встречается в изобилии. Снежинка обладает удивительнейшей гексагональной симметрией. Кристаллы также имеют характерные геометрические формы, вспомним хотя бы кубическую форму кристаллов соли, отражающую регулярность атомной структуры. Падающая дождевая капля имеет форму идеальной сферы и, замерзая, превращается в ледяной шарик-градину.

Другой вид симметрии, часто наблюдаемый в природе и в созданных человеком вещах, так называемая зеркальная симметрия. Человеческое тело обладает (приближенно) зеркальной симметрией относительно вертикальной оси. В зеркале правая и левая руки и другие части тела меняются местами, но видимое нами зеркальное отражение узнаваемо. Многие архитектурные сооружения, например арки или соборы, обладают зеркальной симметрией.

Между геометрической симметрией и тем, что в физике принято называть законами сохранения, существует тесная связь. Законы сохранения говорят нам, что некоторые величины не изменяются со временем. В физике существует закон, согласно которому в любой изолированной системе энергия, импульс и момент импульса должны сохраняться. Это отнюдь не означает, что изолированная система не может изменяться, просто любое изменение, происходящее в системе, должно быть таким, чтобы три названные величины оставались постоянными. В бильярде, где из-за гладкой текстуры поверхности бильярдного стола шары приближенно можно считать механически

изолированными, законы сохранения энергии и импульса определяют направления движения и скорости шаров.

Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса вытекают непосредственно из законов движения Ньютона, но более поздняя формулировка этих законов, данная Лагранжем и Гамильтоном, позволила гораздо четче выявить их значение. Механика Лагранжа и Гамильтона обнажила глубокую и мощную связь между сохранением той или иной величины и соответствующей симметрией рассматриваемой системы. Например, если система симметрична относительно вращений, то из уравнений Гамильтона и Лагранжа следует, что сохраняется момент импульса. Хорошей иллюстрацией сказанному может служить сила тяготения Солнца. Хотя сферическое Солнце вращается вокруг своего центра, это никак не сказывается на движении Земли по орбите. Гравитационное поле Солнца симметрично и поэтому не изменяется при простом вращении. Этой геометрической симметрии соответствует физический результат: момент импульса планеты, движущейся по орбите, всегда постоянен. (Этот факт был открыт еще в XVII в. Кеплером, который, однако, не оценил его истинный смысл.) Аналогичные соображения применимы к импульсу и энергии.

Симметрии, соответствующие вращению или отражению, наглядны и радуют глаз, но они не исчерпывают весь запас симметрий, существующих в природе. Исследуя математическое описание той или иной физической системы, физики открывают время от времени новые и неожиданные симметрии. Симметрии таинственно и тонко «запрятаны» в математическом аппарате и совсем не очевидны тому, кто наблюдает саму физическую систему. Манипулируя символами в уравнениях, физики пытаются раскрыть весь набор симметрии, в том числе и таких, которые не видны «невооруженным глазом». Классический пример такого рода, возникший на рубеже нашего столетия, относится к законам электромагнитного поля. Несколько десятилетиями раньше Майкл Фарадей и другие физики установили, что электричество и магнетизм тесно связаны между собой и что одно порождает другое. Действие электрических и магнитных сил удобнее всего было описать, пользуясь понятием *поля* - невидимого воздействия, создаваемого материей, простирающегося далеко в пространство и способного влиять на электрически заряженные частицы, электрические токи и магниты. Действие такого поля можно наблю-

дать, если попытаться сблизить два магнита: не соприкасаясь друг с другом, они будут отталкиваться или притягиваться.

Позднее, в 50-х гг. XIX в., Джеймс Клерк Максвелл, опираясь на эти факты, разработал теорию, связав электрическое и магнитное поля единой системой уравнений. Сначала Максвелл обнаружил, что эти уравнения «несбалансированы»: члены, относящиеся к электрическому и магнитному полям, входят в них не вполне симметрично. Чтобы придать уравнениям более красивый и симметричный вид, он ввел дополнительный член. Его можно было бы интерпретировать как незамеченный ранее эффект - порождение магнетизма переменным электрическим полем, но оказалось, что такой эффект действительно существует. Природа, очевидно, одобрила эстетический вкус Максвелла!

Введение дополнительного члена в уравнения Максвелла повлекло за собой чрезвычайно глубокие последствия. Во-первых, это позволило соединить электрическое и магнитное поля в единое электромагнитное поле. Уравнения Максвелла можно считать первой единой теорией поля. Во-вторых, среди решений уравнения Максвелла обнаружились неожиданные, но весьма многообещающие. Выяснилось, что уравнения Максвелла удовлетворяют различные синусоидальные функции (опять симметрия!), которые описывают периодические колебания, или волны. Эти *электромагнитные волны*, заключил Максвелл, самостоятельно распространяются в поле, т. е. в том, что кажется пустым пространством. Из своих уравнений он вывел формулу, выражающую скорость электромагнитных волн через электрические и магнитные величины. Подставляя численные значения, Максвелл получил, что скорость электромагнитных волн составляет около 300 000 км/с, т. е. совпадает со скоростью света. Отсюда последовал неизбежный вывод: свет должен представлять собой электромагнитную волну. Он действительно может распространяться в пустом пространстве, именно поэтому мы и видим Солнце.

Далее Максвелл предсказал также существование электромагнитных волн другой длины, и через несколько лет его предсказание подтвердилось: Генрих Герц открыл в лабораторных условиях радиоволны. Сегодня мы знаем, что гамма-рентгеновское, инфракрасное, ультрафиолетовое и СВЧ-излучения также представляют собой электромагнитные волны. Небольшая добавка:

$$\epsilon \rightarrow \epsilon_0 \cdot \frac{dE}{dt},$$

внесенная Максвеллом в уравнения (носящие ныне его имя) из соображений симметрии, принесла большие результаты. Выведенные в 1873 г. Максвеллом уравнения имеют вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \varepsilon\varepsilon_0 \left(\frac{d\vec{E}}{dt} \right); \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\mu\mu_0 \left(\frac{d\vec{H}}{dt} \right); \\ \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}; \\ \operatorname{div} \vec{H} = 0, \end{array} \right.$$

где \vec{E} - вектор напряженности электрического поля;
 \vec{H} - вектор напряженности магнитного поля;
 \vec{j} - вектор плотности тока;
 ρ - объемная плотность электрического заряда;
 ε_0 - электрическая постоянная ($\varepsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н}\cdot\text{м}^2)$);
 ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды;
 μ_0 - магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$);
 μ - относительная магнитная проницаемость среды;
 $\operatorname{rot} \vec{E}$ - ротор (вихрь) - векторная характеристика «вращательной составляющей» векторного поля \vec{E} ;
 $\operatorname{div} \vec{H}$ - скалярное поле, характеризующее плотность источников данного векторного поля \vec{H} .

Открытие электромагнитных волн имело далеко идущие последствия, приведя к появлению радиотехники и в конечном счете к современной революции в электронике. Это великолепный пример,

наглядно демонстрирующий не только гигантские возможности математики в описании мира и расширении нашего знания о нем, но и роль симметрии и красоты как путеводного принципа. Но оценить полностью все следствия, вытекающие из симметрии уравнений Максвелла, удалось лишь через пятьдесят лет. На рубеже XX в. Анри Пуанкаре и Хендрик Лоренц исследовали математическую структуру уравнений Максвелла. Их особенно интересовали симметрии, скрытые в математических выражениях, симметрии, которые тогда еще были неизвестны. Оказалось, что знаменитый «дополнительный член», введенный Максвеллом в уравнения для восстановления равноправия электрического и магнитного полей, соответствует электромагнитному полю, обладающему богатой, но тонкой симметрией, которая выявляется лишь при тщательном математическом анализе. По-видимому, только Эйнштейн с его сверхъестественной интуицией мог предвидеть из физических соображений существование подобной симметрии. Симметрия Лоренца-Пуанкаре аналогична по своему духу таким геометрическим симметриям, как вращения и отражения, но отличается от них в одном важном отношении: никому до этого не приходило в голову физически смешивать пространство и время. Всегда считалось, что пространство - это пространство, а время - это время. То, что в симметрию Лоренца-Пуанкаре входят оба компонента этой пары, было странно и неожиданно.

По существу, новую симметрию можно рассматривать наподобие вращения, но не только в одном пространстве. Это вращение затрагивает и время. Если к трем пространственным измерениям добавить одно временное, то получится четырехмерное *пространство-время*. Симметрия Лоренца-Пуанкаре - это своего рода вращение в пространстве-времени. В результате такого вращения часть пространственного интервала проектируется на время и наоборот. То, что уравнения Максвелла симметричны относительно операции, связывающей воедино пространство и время, наводит на размышления. Понадобился гений Эйнштейна, чтобы полностью осознать все следствия такой симметрии. Пространство и время не существуют независимо друг от друга, они неразрывно связаны. Хитроумные «вращения» Лоренца и Пуанкаре - не просто абстрактная математика, они *могут происходить* в реальном мире, осуществляясь через *движение*. Ключ к причудливым пространственно-временным «проекции», или преобразованиям, лежит в скорости света и других элек-

ромагнитных волн, и величина этой скорости также следует непосредственно из уравнений Максвелла. Таким образом, существует глубокая взаимосвязь между распространением электромагнитных волн и структурой пространства и времени. Когда наблюдатель движется со скоростью, близкой к скорости света, пространство и время сильно изменяются, причем симметрично, и это отражено в математических соотношениях, полученных Лоренцем и Пуанкаре. Постигание столь тонкой и ранее не известной симметрии природы послужило толчком к созданию теории относительности Эйнштейна, а та в свою очередь ознаменовала рождение новой физики, потрясшей научный мир и изменившей лицо двадцатого столетия.

Урок, преподнесенный работами Лоренца и Пуанкаре, состоит в том, что математическое исследование, в особенности на основе анализа симметрии, может стать источником выдающихся достижений в физике. Даже если заложенные в математическом описании симметрии трудно или невозможно представить себе наглядно физически, они могут указать путь к выявлению новых фундаментальных принципов природы. Поиск новых симметрий стал главным средством, помогающим физике в наши дни продвигаться к пониманию мира.

7.2. Симметрии и классические законы сохранения

Законы сохранения в физике являются удобным средством обобщенного описания характеристик физических процессов. Но следует ли их рассматривать только как схемы, устанавливающие связи между результатами экспериментов, или в них заключен более глубокий смысл? Другими словами, являются ли законы сохранения окончательным результатом поисков подхода к пониманию физических проблем, или мы должны стремиться к более глубокому познанию?

Исследование этих вопросов показало, что по крайней мере некоторые из законов сохранения можно вывести из определенных принципов *симметрии*. Так как последние связаны с фундаментальными свойствами пространства и времени, эти принципы, по видимому, имеют большее значение, чем законы сохранения. Вывод *физических* законов сохранения из *геометрических* свойств симметрии пространства и времени (подчеркнем, что это четырехмерное

пространство) представляет собой, безусловно, важный шаг вперед в понимании природы. В физике термину «симметрия» придается более широкий смысл, чем в обычной геометрии. Чтобы объяснить, что понимают под этим термином в современной физике, лучше всего рассмотреть связь между физической симметрией и классическими законами сохранения (табл. 7.1). Мы не будем, однако, здесь приводить математические расчеты, подтверждающие эту связь.

Таблица 7.1

Физическая симметрия

Симметрия	Свойства пространства	Физические законы
Относительно переноса	Однородность	Сохранение импульса
Относительно вращения	Изотропность	Сохранение момента импульса
Относительно переноса во времени	Однородность времени	Сохранение энергии

Симметрия относительно переноса

Однородность пространства (т. е. тот факт, что свойства пространства не меняются от точки к точке) означает, что свойства изолированной физической системы не меняются при пространственном переносе. Прямым следствием *симметрии пространства относительно переноса* является закон сохранения импульса.

Симметрия относительно вращения

Изотропность пространства (т. е. тот факт, что свойства пространства одинаковы в любом направлении, проведенном из произвольно выбранной точки) означает, что свойства изолированной физической системы не меняются при повороте на заданный угол относительно любой произвольно выбранной оси вращения. Прямым следствием *симметрии относительно пространственных вращений* является закон сохранения момента импульса.

Симметрия относительно переноса во времени

Однородность времени (т. е. тот факт, что свойства времени не меняются при изменении начала его отсчета) означает, что свойства

изолированной физической системы не зависят от времени. Прямым следствием *симметрии относительно переноса во времени* является закон сохранения энергии.

Калибровочные симметрии

Один из наиболее твердо установленных законов сохранения - закон сохранения электрического заряда. Заряд может быть положительным и отрицательным, и закон сохранения заряда утверждает, что сумма положительного и отрицательного зарядов остается неизменной величиной. Если положительный заряд встречается с равным по абсолютной величине отрицательным зарядом, они нейтрализуют друг друга, создавая в сумме нулевой заряд. Аналогично положительный заряд может возникать, если одновременно возникает равный по абсолютной величине отрицательный заряд. Но возникновение или исчезновение результирующего заряда абсолютно исключено.

Но коль скоро электрический заряд сохраняется, естественно возникает вопрос о том, какова природа симметрии, связанной с этим законом сохранения. Тщетно стали бы мы искать геометрическую симметрию, лежащую в основе закона сохранения электрического заряда. Но в природе далеко не все симметрии имеют геометрический характер. Рассмотрим, например, явление инфляции в экономике. Когда реальная стоимость денежной единицы падает, падает и благосостояние лиц с фиксированным доходом. Но если чей-то доход следует индексу цен, то реальная покупательная способность этого лица не будет зависеть от стоимости денежной единицы. Можно сказать, что доход, «привязанный» к уровню цен, симметричен относительно инфляционных процессов.

В физике также существует много симметрий негеометрического характера. Одна из них связана с работой, совершаемой при подъеме тела. Затрачиваемая энергия зависит от разности высот, которую требуется преодолеть при этом (но не зависит от траектории подъема). Однако энергия не зависит от абсолютной высоты: безразлично, измеряются высоты от уровня моря или от уровня суши, важна только разность высот. Следовательно, существует симметрия относительно выбора начала отсчета высот.

Аналогичная симметрия существует и для электрических полей. Роль высоты в этом случае играет *напряжение* (электрический потенциал). Если электрический заряд движется в электрическом поле

от одной точки к другой, то затрачиваемая энергия зависит только от *разности* потенциалов между конечной и начальной точками. Если к системе приложить дополнительное постоянное напряжение, то энергия, затрачиваемая на перемещение электрического заряда в поле, не изменится. Это еще одна скрытая симметрия уравнений Максвелла для электромагнитного поля!

Все три приведенных выше примера могут служить иллюстрациями того, что физики называют *калибровочными симметриями*. Все три указанные примера включают в себя «калибровку», т. е. изменение масштаба, соответственно денег, высоты и напряжения. Все три симметрии - абстрактные в том смысле, что они по своему характеру не геометрические. Мы не сможем, однако, взглянув на соответствующие явления, увидеть симметрию. Однако все три скрытые симметрии являются важными характеристиками рассматриваемой системы. Именно калибровочная симметрия напряжений обеспечивает сохранение электрического заряда.

После того как стало известно, что классические законы сохранения можно вывести из свойств симметрии пространства и времени, предпринимались многочисленные попытки найти новые свойства симметрии элементарных частиц. Действительно, были обнаружены некоторые новые свойства симметрии (табл. 7.2); другие же, надежда на существование которых еще не исчезла, пока не найдены.

Таблица 7.2

Симметрия элементарных частиц

Симметрия	Физический смысл	Взаимодействия
Относительно зарядового сопряжения (<i>C</i> -операция)	Замена частицы на античастицу	Сильные и электромагнитные
Относительно пространственного отражения (<i>P</i> -операция)	Зеркальное отражение (четность)	Сильные и электромагнитные
Относительно обращения времени (<i>T</i> -операция)	Обращение времени	Все

Симметрия относительно зарядового сопряжения

Если в уравнении данной реакции каждую частицу заменить на античастицу, то получится уравнение, описывающее новую реакцию, которая также является разрешенной. Эта операция называется *заря-*

довым сопряжением (операция C). Подобные элементарные процессы являются *инвариантными* относительно операции зарядового сопряжения. (При описании элементарных процессов термин «инвариантный» не означает, что каждая индивидуальная частица должна оставаться неизменной; не изменится лишь *вид* процесса и действующие в нем силы).

Зарядовое сопряжение только заменяет частицу на античастицу, импульс и спин при этом не меняются. Вследствие этого слабые взаимодействия неинвариантны относительно зарядового сопряжения; однако этот закон, по-видимому, строго выполняется только в сильных взаимодействиях и в электромагнитных взаимодействиях.

Симметрия относительно пространственного отражения

Если наблюдать в зеркале теннисный мяч, когда игрок ударом справа посылает мяч в правую половину площадки, то мы увидим в зеркале игрока-левшу и мяч, летящий в левую половину площадки. Нельзя утверждать, что мы наблюдаем «настоящую» игру, хотя это безусловно *допустимая* игра, подчиняющаяся всем физическим законам. Таким образом, теннис инвариантен относительно зеркального отражения; это отражение называется операцией изменения *четности* (операция P).

Законы классической физики (механики и электродинамики) инвариантны относительно зеркального отражения. Можно сказать, что классические законы *удовлетворяют сохранению четности*.

В реакциях элементарных частиц четность сохраняется при электромагнитных и сильных взаимодействиях. Слабые же взаимодействия неинвариантны относительно операции P , и четность в них не сохраняется.

Симметрия относительно обращения времени

Если снять какой-нибудь физический процесс на кинолентку, а затем прокрутить ленту *в обратном направлении*, то мы увидим другой возможный физический процесс. Этот *обращенный во времени* процесс может оказаться крайне *маловероятным*, но ни один физический закон не будет в нем нарушен. При прокручивании киноленты в обратном направлении видно, как прыгун с вышки выскакивает

из воды (сперва из воды появляются ноги) и, пролетев по воздуху, аккуратно приземляется на подкидную доску. Это событие могло бы осуществиться, если бы молекулы воды, двигаясь соответствующим образом, передали пловцу в бассейне энергию и импульс, достаточные для того, чтобы он мог подняться на вышку, однако вероятность такого события, конечно, *чрезвычайно мала*. Принцип возрастания энтропии применительно к макроскопическим (т. е. содержащим большое число частиц или тел) системам устанавливает, что время течет в направлении реализации *вероятных* процессов, хотя ни один физический закон не запрещает (абсолютно) осуществление какого-либо маловероятного процесса. Оказывается, что все физические процессы могут происходить, если время потечет вспять¹. Таким образом все физические процессы инвариантны относительно *обращения времени* (операции T). Принцип возрастания энтропии применим только к макроскопическим системам, а не к событиям микромира (т. е. процессам, в которых участвуют отдельные частицы), и, следовательно, изучая такие процессы, нельзя определить направление времени.

В ядерных реакциях и в реакциях с элементарными частицами инвариантность относительно обращения времени означает, что реакции в равной степени могут протекать в любом направлении, т. е. распавшаяся частица может быть воссоздана с помощью обращения времени. Например, распавшийся нейтрон может быть «восстановлен» из протона, электрона и нейтрона (при соответствующей затрате энергии), но вероятность этого события крайне мала. Чтобы оно имело место, необходимо собрать три частицы в одной точке в один и тот же момент времени.

Неизвестные симметрии

Что можно сказать относительно других законов сохранения в элементарных процессах (сохранения электронного, лептонного, барионного чисел, странности, изотонического спина и др.)? Можно ли связать эти законы со свойствами симметрии некоторого абстрактного пространства? Принципы симметрии квантовой механики позво-

¹ За исключением по крайней мере одного процесса с участием элементарных частиц (речь идет о K -мезонах).

ляют всегда вывести соответствующий закон сохранения (имеет ли полученный закон сохранения какой-либо физический смысл - это другое дело!). Однако квантовая механика не указывает обратного пути: мы вообще не знаем, как перейти от какого-либо закона сохранения к лежащему в его основе принципу симметрии. Найдем ли мы когда-нибудь принципы симметрии, соответствующие всем законам сохранения, это далеко не ясно.

8. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

В конце XIX в. многие ученые считали, что развитие физики завершилось. Что еще значительного и тем более фундаментального в физических свойствах природы могло остаться за пределами этой науки? Законы механики и теория всемирного тяготения были известны более двухсот лет. Была завершена максвелловская теория электромагнетизма, и установлено, что вещество состоит из атомов. Благодаря развитию статистического подхода к системам, состоящим из большого числа частиц, был подведен прочный фундамент под термодинамику. Были установлены великие законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, массы и электрического заряда. Что еще оставалось открыть из действительно важного?

Однако, несмотря на всеобщее благодушие, царившее в среде физиков в конце XIX в. относительно положения дел в физике, все еще оставались нерешенные проблемы. Вскоре стало ясно, что не все проблемы тривиальны и что они затрагивают самые глубокие основы физики XIX в.

До 20-х гг. XX в. физическая картина мира складывалась из двух элементов - частиц и полей. Частицы - маленькие комочки материи - корпускулы, движущиеся по законам классической механики Ньютона. Каждая из них имеет три степени свободы, ее положение в пространстве задается тремя координатами. Если зависимость координат от времени известна, то это дает довольно исчерпывающую информацию о движении самой частицы. Описание полей в классической физике значительно сложнее, поля имеют бесконечное число степеней свободы, так как само поле сложно и непрерывно. Действительно, попробуйте дать координаты струи воды, текущей по трубе...

Это различие между частицами и полями является главным, хотя и не единственным: частицы дискретны (прерывны, раздельны), а поля непрерывны и представляют континуум (сплошная материальная среда, свойства которой изменяются в пространстве непрерывно). Кроме того, электромагнитные волны (электромагнитное поле) способны порождаться (вспомните, как освещается комната, когда

включаете электрическую лампочку, порождающую волны видимого света) и поглощаться. Например, солнечное излучение (электромагнитные волны), поглощаясь темной поверхностью, нагревает ее. Поэтому летом ходят в светлой одежде, отражающей значительную долю солнечного излучения. В классической физике материальная частица не имела свойств возникновения и исчезновения. Наконец, в соответствии с физикой Ньютона, электромагнитные волны могут, накладываясь, усиливаться, ослабляться или полностью гасить друг друга. Как пример - явление голографии (метод записи, воспроизведения и преобразования волновых полей, основанный на интерференции волн; предложен Д. Габором в 1948 г., у нас известны работы в этой области Ю. Н. Денисюка). Примером также может быть явление усиления и ослабления звука при приеме слабых сигналов в коротковолновом диапазоне. При наложении потоков частиц интерференция не происходит.

Еще одно явление - дифракция - считалось присущим только волнам. Это явление состоит в огибании волнами, например, звуковыми, препятствий. Многих жителей городов, окна которых не выходят на оживленные улицы, беспокоит шум движения транспорта - это звуковые волны огибают здание, попадая на противоположную сторону. Трудно, конечно, представить, чтобы мяч, пущенный с автотрассы, обогнул дом и попал в ваше открытое окно.

Таким образом, хотя в физике Ньютона частицы и волны переплетены между собой сложной сетью взаимодействий, однако каждый из этих объектов выступает как носитель принципиально различных индивидуальных черт. Ньютоновской картине мира, основанной на тысячелетнем опыте человечества и на здравом смысле, присущи отчетливые черты двойственности. Открытие квантовых явлений поставило на место этой картине другую, которую можно назвать двуединой.

8.1. Крушение классической теории излучения. Квантовая гипотеза М. Планка

Современная теория строения атома базируется на законах, описывающих движение микрочастиц (микрообъектов). Свойства и закономерности движения отдельных микрочастиц качественно от-

личаются от свойств и закономерностей движения макроскопических тел, уже давно изученных классической физикой. Движение и взаимодействие частиц описывает новый раздел физики - *квантовая* (или *волновая*) механика. Последняя основывается на представлении о квантовании энергии, волновом характере движения микрочастиц и вероятностном (статистическом) методе описания микрообъектов.

Формирование квантово-механических представлений опиралось на совокупность экспериментальных фактов, которые с позиции классических представлений не находили объяснения. Углубленное изучение в начале XX в. таких явлений, как излучение раскаленных тел, фотоэффект, атомные спектры, привели к выводу, что энергия распространяется и передается, поглощается и испускается не непрерывно, а дискретно, отдельными порциями - квантами. Энергия системы микрочастиц также может принимать только определенные значения, которые являются кратными числами квантов. Таким образом, энергия этих систем может изменяться лишь скачкообразно или, как говорят, она квантуется.

Гипотеза о квантовании энергии впервые была высказана Планком (1900) и позднее обоснована Эйнштейном (1905). Энергия кванта ϵ зависит от частоты излучения ν :

$$\epsilon = h\nu, \quad (8.1)$$

где h - универсальная постоянная (постоянная Планка) $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Частота колебаний ν и длина волны λ связаны соотношением

$$\lambda\nu = c,$$

где c - скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Очевидно, чем меньше λ , тем больше ν и тем больше энергия кванта ϵ . Поэтому более коротковолновые γ -, рентгеновское и ультрафиолетовое излучения более высокоэнергетичны, чем, например, инфракрасные лучи и радиоволны.

В 1900 г. Планк осуществил то, что не удавалось другим ученым, - объяснить в деталях форму спектра излучения абсолютно черного тела для всех длин волн, а не только для длинноволновой или коротковолновой областей спектра. Планк получил единую формулу, которая правильно воспроизводила весь спектр, т. е. зависимость интенсивности излучения абсолютно черного тела от длины волны. Пытаясь обосновать эту формулу, Планк вынужден был сделать совершенно необычное предположение о том, что обмен энер-

гии между излучением и веществом, в котором проделана полость, не может происходить непрерывным образом. Вместо этого Планк выдвинул гипотезу, что обмен происходит дискретными порциями, *квантами*. В каждом кванте «заключено» крайне малое количество энергии. Не удивительно, что в больших количествах энергии ее дискретная природа незаметна, поскольку небольшое изменение числа квантов оказывается пренебрежимо малым.

В то время, когда Планк разрабатывал теорию излучения абсолютно черного тела, еще не было прямых экспериментальных доказательств существования квантов излучения; единственное, что говорило в их пользу, это необходимость квантов для объяснения спектра излучения абсолютно черного тела. В результате предложенный Планком метод описания этого спектра большинство физиков того времени восприняло лишь как «ловкий фокус», не имеющий серьезных научных оснований. В 1900 г. еще придерживались мнения, что все физические процессы протекают *непрерывно*, и даже сам Планк не шел столь далеко, чтобы предположить квантовую природу всего электромагнитного излучения: он полагал, что квантовая гипотеза имеет отношение лишь к обмену энергией между излучением и полостью. В результате действительно великая идея, которой было достаточно, чтобы понять природу излучения, - гипотеза о квантах осталась незамеченной и не получила немедленного развития.

Идея Планка пребывала в забвении в течение нескольких лет. Затем ею воспользовался Эйнштейн для объяснения фотоэлектрического эффекта. Эйнштейн развил эту гипотезу и постулировал, что *все* электромагнитное излучение имеет квантовый характер (состоит из квантов излучения - *фотонов*). В конце концов, идея Планка получила признание в научном мире, и в 1918 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике за введение понятия квантов и объяснение спектра излучения абсолютно черного тела.

8.2. Фотоэлектрический эффект

Для описания электромагнитного излучения привлекают как волновые, так и корпускулярные представления.

С одной стороны, монохроматическое излучение распространяется как волна и характеризуется длиной волны λ или частотой коле-

баний ν . Электромагнитное излучение всех длин волн обнаруживает явления дифракции (способность огибать препятствия) и интерференции (взаимодействие нескольких одновременно распространяющихся волн, сопровождающееся изменением амплитуды и фазы результирующей волны), что убедительно доказывает его волновую природу.

С другой стороны, электромагнитное излучение рассматривают как поток микрочастиц - *фотонов*, переносящих кванты энергии. Корпускулярные свойства света особенно отчетливо проявляются в *фотоэффекте*.

Явление фотоэффекта (Столетов, 1889) состоит в том, что металлы или полупроводники при действии на них света испускают электроны. Объяснить фотоэффект, исходя из волновой теории света, невозможно. Оценки показывают, что ввиду незначительных размеров электрона количество энергии, сообщаемое падающими на него электромагнитными волнами, так мало, что при освещении солнечным светом потребовалось бы облучение в течение нескольких часов, чтобы электроны накопили энергию, достаточную для выхода из металла. Однако вылет электронов наблюдается сразу же после освещения металла. Согласно волновой теории, энергия электронов $E_e = m_e v^2/2$, испускаемых металлом, должна быть пропорциональна интенсивности падающего света J . В действительности E_e от J не зависит, а зависит от его частоты, увеличиваясь с ростом ν . Кроме того, при увеличении длины волны света λ (уменьшении ν) достигается так называемая *красная граница фотоэффекта*, когда волны с длиной, большей граничной, не вызывали испускания электронов. Существование красной границы волновая теория также не объясняла.

Фотоэффект истолкован (Эйнштейн, 1905) исходя из представления о свете как потоке частиц - фотонов с энергией $\epsilon = h\nu$, отдающих эту энергию электронам в момент соударения. Закон сохранения энергии для фотоэффекта приводит к выражению

$$h\nu = A_1 + A_2 + m_e v^2/2, \quad (8.2)$$

где A_1 - энергия отрыва электрона от атома (энергия ионизации);
 A_2 - энергия выхода электрона из металла;
 $m_e v^2/2$ - кинетическая энергия вылетевшего электрона.

В металлах, где имеется много свободных электронов, $A_1 \approx 0$, и выражение (8.2) упрощается. Из этого уравнения понятно, почему при переходе через красную границу (при этом $h\nu < A_1 + A_2$) фотоэффект не наблюдается.

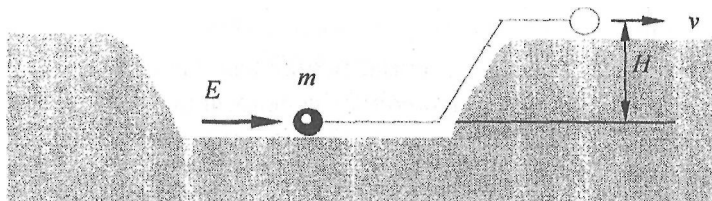


Рис. 8.1. Механическая аналогия фотоэффекта

В качестве механической аналогии этого объяснения фотоэффекта рассмотрим шарик массой m , покоящийся в ямке (рис. 8.1). Если шарiku сообщить достаточную энергию E , он выскочит из ямки высотой H и еще покатится по земле со скоростью v . Уравнение энергии для такого процесса имеет вид

$$\frac{1}{2}mv^2 = E - mgH.$$

В этом выражении mgH - «работа выхода» шарика из ямки (т. е. высота потенциального барьера, который нужно преодолеть шарiku), а E аналогично энергии фотона ϵ .

За теорию фотоэлектрического эффекта (а вовсе не за всю теорию относительности!) Эйнштейну в 1921 г. была присуждена Нобелевская премия.

8.3. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны Луи де Бройля. Принцип соответствия

Волновая природа света была установлена в начале XIX в., когда ряд экспериментов по дифракции и интерференции ниспроверг конкурировавшую с волновой корпускулярную теорию света. Теория фотоэффекта Эйнштейна снова вызвала к жизни представление о свете как о потоке частиц - по крайней мере при взаимодействии

света с атомными электронами. Не означает ли это, что надо отбросить волновую теорию и вернуться к старой корпускулярной теории света? Или же в этом специфическая особенность света, проявляющего то волновые, то корпускулярные свойства? Если это так, то как узнать, когда должны проявляться те или другие свойства света?

Эти вопросы возникли в связи с предположением о квантовой природе электромагнитного излучения. В равной степени важен вопрос о свойствах частиц: если свет играет двойственную роль (то частиц, то волн), то, может быть, и электрон ведет себя подобно волне?

Ответы на эти вопросы были получены в 20-х гг. нашего столетия в серии экспериментов, выполненных в США и Англии. Эксперименты недвусмысленно показали, что и свет, и электроны могут обнаруживать свойства как волн, так и частиц. Этот корпускулярно-волновой дуализм затем был введен в качестве основополагающего факта в создаваемую в те годы *волновую механику*, или *квантовую теорию*.

Таким образом, с одной стороны, в опытах по интерференции и дифракции проявляется волновая природа света, с другой - в явлениях наличия светового давления, фотоэффекта и других проявляется корпускулярная природа излучения. Возникает вопрос: какой из двух точек зрения отдать предпочтение? Ответ: поскольку в зависимости от характера опыта проявляется то одна, то другая сторона явления, то обе они и составляют его сущность. Другими словами, излучение имеет как волновую, так и корпускулярную природу. Этот *корпускулярно-волновой дуализм* является выражением объективной реальности, признаком, свойственным природе вещей. Представлением, объясняющим две диалектические противоположности кванта электромагнитного поля, является представление о фотоне как о движущемся волновом пакете (рис. 8.2).

Мы часто пользуемся понятием *частоты* электромагнитной волны. Однако это несколько произвольный термин, поскольку в действительности о частоте электромагнитной волны нельзя говорить. Иными словами, излучение никогда не может быть охарактеризовано единственной точно определенной частотой. О частоте волны можно говорить в том случае, когда эта волна равномерно распределена во всем пространстве. Это означает, что волна с *единственной* частотой должна иметь бесконечную протяженность. Однако все генераторы электромагнитных волн, будь то антенны или атомы, излучают лишь в течение конечных отрезков времени. Следовательно,

волны излучения никогда не имеют бесконечной протяженности и не могут поэтому характеризоваться единственной частотой. Существующее в действительности излучение всегда состоит из набора (суперпозиции) волн с разными частотами. Если эти частоты заключены в узкой области около центральной частоты, то интерференция соответствующих волн оказывается *конструктивной* (усиление волн) в одной области пространства и *деструктивной* (ослабление волн) во всем остальном пространстве. Результат такой суперпозиции волн схематически показан на рис. 8.2. Такая локализованная группа колебаний называется *волновым пакетом*. Волновой пакет электромагнитного излучения (т. е. *фотон*) распространяется как целое со скоростью света. Он локализован в пространстве благодаря тому, что суперпозиция волн различных частот создает конструктивную интерференцию в одной области и деструктивную интерференцию во всех остальных областях пространства. Фотон в действительности состоит не из нескольких колебаний, показанных на фигуре, а из $10^5 \div 10^6$ колебаний.

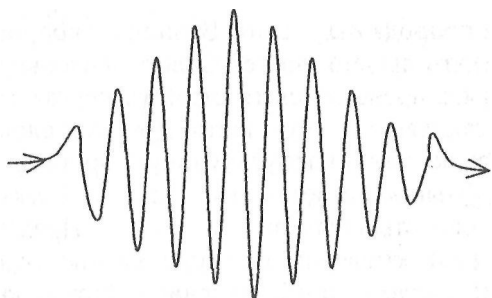


Рис. 8.2. Волновой пакет (или фотон)

На рис. 8.2 показан волновой пакет, образованный только несколькими колебаниями; в случае светового фотона, подобного только что описанному, волновой пакет состоит примерно из 600 000 колебаний. Пакет, составленный из столь большого числа колебаний, сохраняет многие из своих волновых характеристик. Но вместе с тем он будет дискретным образованием, так что будет взаимодействовать, например в фотоэлектрическом эффекте, с каждым электроном в отдельности.

В 1924 г. Луи де Бройль высказал смелую гипотезу: корпускулярно-волновые представления следует распространять на все микрочастицы. При этом каждой частице массой m , движущейся со скоростью v , соответствует длина волны λ :

$$\lambda = h/mv = h/p. \quad (8.3)$$

Гипотеза Луи де Бройля была экспериментально подтверждена (Девиссон и Джермер, 1927) обнаружением дифракционного и интерференционного эффектов для тонкого пучка электронов, направленных на кристалл никеля. В настоящее время дифракция потоков электронов, нейтронов, протонов широко используется для изучения структуры веществ.

Согласно уравнению (8.3), с движением электрона ($m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; $v \sim 10^6$ м/с) ассоциируется длина волны λ порядка 10^{-10} м, т. е. соизмеримая с размером атомов. Поэтому при рассеянии электронов кристаллами наблюдается дифракция, причем кристаллы выполняют роль дифракционной решетки. С движением макрочастиц ассоциируется длина столь малой длины (10^{-33} м и меньше), что экспериментально волновой процесс обнаружить не удастся.

Вследствие волновой природы микрочастицы не имеют точного в геометрическом смысле значения радиуса. Все приведенные ранее размеры микрочастиц соответствуют радиусу межчастичных взаимодействий при тесном сближении частиц между собой. Соизмеримость длины волны движущегося в атоме электрона с размерами самого атома не позволяет рассматривать электрон как точку, движущуюся по определенной механической траектории (орбите). Его следует считать как бы волной, распределенной (размазанной) по всему атому. Электрон в атоме представляет собой не движущийся точечный заряд, а заряд, распределенный по объему, средняя по времени плотность (заряд, отнесенный к единице объема) которого меняется от точки к точке. В отличие от классической, квантовая механика имеет дело не с детерминированно определенными траекториями (которые описываются пространственными координатами), а с объемным распределением средней плотности заряда, оцениваемым только с определенной вероятностью.

Из представлений Луи де Бройля следует, что волновыми свойствами обладают все без исключения объекты, однако для объектов с большей массой длина волны настолько мала, что эта волна не обнаруживается существующими способами. Следовательно, классическая физика, физика макромира - частный предельный случай физики микромира.

Из сказанного следует: развитые Луи де Бройлем представления находятся в соответствии с фундаментальным принципом естествознания - принципом соответствия. Этот принцип гласит, что любая новая теория, любое новое представление, претендующее на новое описание реальности и на более широкую область применимости, чем старая, должны включать в себя последнюю как предельный случай.

8.4. Распределение вероятностей, описывающих взаимодействие электронов или фотонов с веществом. Волновая функция

После работ Планка, Эйнштейна, Луи де Бройля возникла настоятельная необходимость в такой теории, в которой волновые и корпускулярные свойства материи выступали бы не как исключающие, а как взаимно дополняющие друг друга. В основу такой теории, волновой или квантовой механики, и легла концепция де Бройля. Со своей стороны квантовая механика дала интерпретацию волн де Бройля. Оказалось, что эти волны не являются физическими, материальными волнами. Они лишь показывают вероятность обнаружения данной частицы в различных точках пространства и в различные моменты времени. Из сказанного следует, что если появится необходимость определения координаты частицы, удастся определить лишь наиболее вероятную координату (с неизбежным разбросом в значениях координат). Неизбежна некоторая неопределенность этих значений.

Вследствие того, что частицы и излучение имеют волновую природу, нельзя предсказать точное поведение отдельного фотона или частицы; можно лишь предсказать среднее поведение большого

числа фотонов или частиц. Отдельные события можно характеризовать лишь вероятностями их наступления. С целью создания возможности математического описания таких процессов Шредингером (1926) введена специальная величина, которая называется волновой функцией частицы или фотона. Эта функция, обозначаемая обычно буквой Ψ (пси-функция), используется для вычисления вероятности того, что частицу или фотон можно обнаружить (по их взаимодействию с веществом) в данной (конкретной) точке. Амплитуда вероятности частицы в точке X_0 равна $\Psi(X_0)$.

Какой смысл имеет эта амплитуда вероятности и как использовать ее для вычисления вероятности нахождения частицы в какой-либо точке? При распространении электромагнитной волны происходят колебания напряженностей поля; в механической волне (например, звуковой волне, волне на поверхности воды) колеблются частицы вещества. Что же колеблется в квантово-механической волне? Волновой функции $\Psi(x)$ нельзя дать классического (т. е. механического или электромагнитного) толкования - не существует того, что совершало бы колебания. И в самом деле, функция $\Psi(x)$ не имеет прямого физического смысла - это лишь математическая функция, хотя во многом и сходная с амплитудой механических или электромагнитных волн.

Далее отметим, что энергия совершающегося колебания (т. е. интенсивность волны) пропорциональна квадрату амплитуды колебаний. Энергия электромагнитной волны пропорциональна квадрату напряженности электрического поля. В квантовой механике мы тоже имеем дело с интенсивностями; в частности, интенсивность квантово-механической волны в какой-либо точке и есть вероятность найти частицу (или фотон) в этой точке. Вычисляя эту интенсивность (или вероятность), мы должны брать квадрат квантово-механической волновой функции, амплитуда которой равна $\Psi(x)$.

На рис. 8.3 изображен пучок электронов, падающих на две щели. В точке экрана $x = x_0$ волновая функция равна $\Psi(x_0)$. Для вычисления вероятности того, что электрон попадет на экран в области Δx около точки $x = x_0$ (т. е. для вычисления *интенсивности* потока электронов в этом месте экрана), мы должны возвести $\Psi(x_0)$ в квадрат и умножить эту величину на ширину интервала Δx и соответствующий

множитель пропорциональности A ; т. е. эта интенсивность потока электронов в точке $x = x_0$ равна

$$I(x_0) = A|\Psi(x_0)|^2 \Delta x. \quad (8.4)$$

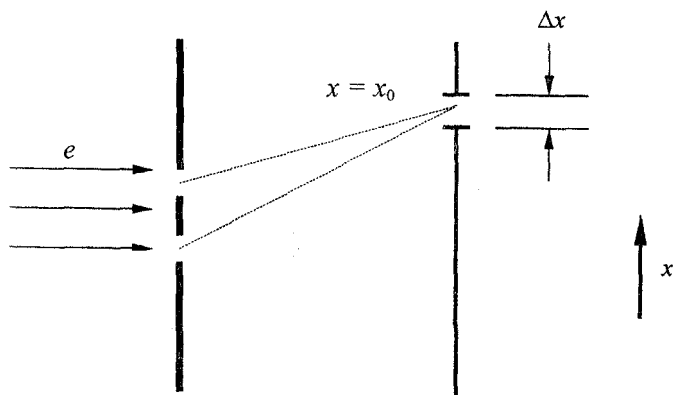


Рис. 8.3. Движение пучка электронов

Амплитуду вероятности нельзя непосредственно измерить; измерению поддается только пропорциональная $|\Psi(x)|^2$ интенсивность, или *плотность вероятности*. Поэтому реальное физическое значение квантово-механическая волновая функция $\Psi(x)$ обретает только в виде $|\Psi(x)|^2$.

Пример. В точке экрана $x_0 = 1$ волновая функция электронного пучка равна $+1$ (в каких-то условных единицах), и в интервале Δx вокруг этой точки наблюдается 100 световых вспышек в минуту. Какова интенсивность вспышек в точке $x_0 = 3$, если Ψ в этой точке равна -2 ?

Имеем

$$I(x_0) = A|\Psi(x_0)|^2 \Delta x.$$

Следовательно,

$$I(x_0=1) = A|\Psi(x_0=1)|^2 \Delta x = A|+1|^2 \Delta x = A \Delta x = 100 \text{ вспышек/мин.}$$

Тогда

$$I(x_0=3) = A|-2|^2 \Delta x = 4 A \Delta x = 4 \cdot 100 = 400 \text{ вспышек/мин.}$$

8.5. Принцип неопределенности В. Гейзенберга и принцип дополнительности Н. Бора

Одним из основных положений квантовой механики является *соотношение неопределенностей*, согласно которому невозможно одновременно точно определить местоположение (координаты) частицы и ее импульс. Чем точнее определяется координата частицы, тем более неопределенным становится ее импульс. И, наоборот, чем точнее известен импульс, тем более неопределенна координата. Эта зависимость называется соотношением неопределенности Гейзенберга:

$$\Delta q \cdot \Delta p \geq h/2\pi. \quad (8.5)$$

Здесь Δq и Δp - соответственно неопределенности в положении (координате) и импульсе частицы. Сходные закономерности наблюдаются при попытке оценить точные значения энергии микрочастицы ϵ в конкретный момент времени t . При этом неопределенность в изменении энергии частицы (фотона) $\Delta \epsilon$ и неопределенность в моменте времени Δt , когда это изменение произошло, связываются неравенством Бора-Гейзенберга:

$$\Delta \epsilon \cdot \Delta t \geq h/2\pi. \quad (8.6)$$

Вернер Гейзенберг (1901-1976) - немецкий физик, лауреат Нобелевской премии, один из создателей квантовой механики, математически выразил принцип неопределенности в 1927 г. Оказалось, что не только координату, но и импульс частицы (произведение массы частицы на скорость) невозможно точно определить. Согласно этому принципу, чем точнее определяется местонахождение данной частицы, тем меньше точность в определении ее скорости (масса постоянная) и наоборот.

Пример. Неопределенность значения координаты Δq электрона в атоме не превосходит размера атома, т. е. $d \approx 10^{-10}$ м. Поэтому неопределенность значения импульса электрона в атоме Δp составляет:

$$\Delta p \geq \frac{h}{2\pi \cdot \Delta q} \geq \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{2\pi \cdot 10^{-10} \text{ м}} \geq 1,055 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Принцип неопределенности показывает, почему невозможно «падение» электрона на ядро атома. Ядро атома имеет очень малые размеры, и при «падении» электрона местоположение последнего окажется весьма точно определенным. Следовательно, резко увеличивается неопределенность в скорости электрона (т. е. импульсе), разброс в значениях скоростей станет весьма большим. В этот разброс («меню» скоростей) будут включаться столь большие скорости, что электрону впору покинуть атом, а не падать на ядро.

Следует подчеркнуть, что принцип неопределенности не связан с какими-либо недостатками в конструировании измерительных приборов. Принципиально невозможно создать прибор, который одинаково точно измерил бы координату и импульс микрочастицы.

Не следует думать, что принцип неопределенности есть некая таинственная преграда природы, мешающая человеку слишком глубоко проникнуть в загадки поведения атомов. Напротив, принцип неопределенности является одним из проявлений корпускулярно-волнового дуализма. Волну нельзя локализовать в пространстве, и поэтому любое измерение положения объекта, обнаруживающего волновые свойства, принципиально сопряжено с неопределенностью. Принцип неопределенности Гейзенберга дает количественные значения этой неопределенности.

Принцип дополненности Н. Бора

Принцип неопределенности является частным случаем более общего принципа, высказанного Нильсом Бором (1928). Из этого принципа следует, что если в каком-либо эксперименте мы можем наблюдать одну сторону физического явления, то одновременно мы лишены возможности наблюдать дополнительную к первой сторону явления.

Это утверждение получило название принципа дополненности Бора. Дополнительными свойствами, которые проявляются лишь в разных опытах, произведенных при взаимно исключающих условиях, и к которым применим принцип Бора, могут быть положение и импульс частицы, волновой и корпускулярный характер вещества или излучения, энергия и длительность события.

8.6. Принцип суперпозиции

Важное значение в физике, в частности в квантовой механике, имеет принцип суперпозиции.

Принцип суперпозиции (принцип наложения) – это допущение, согласно которому результирующий эффект представляет сумму эффектов, вызываемых каждым воздействующим явлением в отдельности. Одним из простейших примеров является правило параллелограмма, в соответствии с которым складываются две силы, действующие на тело.

Принцип суперпозиции выполняется лишь в условиях, когда действующие явления не влияют друг на друга. Можно привести такой пример. Встречный ветер тормозит движение автомобиля по закону параллелограмма – принцип суперпозиции в этом случае выполняется полностью. Но если песок, поднятый ветром, ухудшает работу двигателя, то в этом случае принцип суперпозиции выполняться уже не будет. Этот принцип не всегда выполняется, например, при распространении света через диэлектрик, так как в ряде случаев при этом изменяются те свойства диэлектрика, от которых зависит распространение света через эту среду. Принцип суперпозиции в ньютоновской физике не универсален и во многих случаях справедлив лишь приближенно.

В микромире, наоборот, принцип суперпозиции – фундаментальный принцип, который наряду с принципом неопределенности составляет основу математического аппарата квантовой механики.

В релятивистской квантовой теории, предполагающей взаимное превращение элементарных частиц, принцип суперпозиции должен быть дополнен принципом *суперотбора*. Простейший пример: при аннигиляции электрона и позитрона принцип суперпозиции дополняется принципом сохранения электрического заряда – до и после превращений сумма зарядов частиц должна быть постоянной. Поскольку заряды электрона и позитрона равны и взаимно противоположны, должна возникать незаряженная частица, каковой и является «рождающийся» в этом процессе аннигиляции фотон.

8.7. Принцип неопределенности и детерминизма. Значение квантовой механики

Развитие ньютоновской теории способствовало становлению детерминистского взгляда на природу. Согласно этому мировоззре-

нию, можно определить положение и скорость всех тел в замкнутой системе в какой-то момент времени, и если известны все силы взаимодействия между телами, то можно полностью рассчитать поведение системы в будущем. Иными словами, будущее такой системы *предопределено*. Конечно, на практике провести такой расчет невозможно. Даже если положение только одного тела в системе определено с малейшей неточностью, в результате взаимодействий этого тела с другими неточность будет постепенно расти по величине, так что (по прошествии достаточно длительного времени) поведение системы будет существенно отличаться от предсказываемого законами Ньютона. Однако, кроме практической трудности, существует и другое, принципиальное ограничение, обусловленное квантовой теорией и принципом неопределенности.

Квантовая теория вовсе не доказывает ошибочность *детерминизма*; она лишь говорит, что не существует экспериментального способа доказать правильность этого взгляда. *Философы* не должны искать здесь доказательств или опровержений детерминизма. *Физики* вынуждены принимать те ограничения, которые накладываются на наблюдения и измерения квантовой теорией (пока не опровергнута ее справедливость). При этом физикам приходится иметь дело с *вероятностями*.

Законы квантовой механики составляют фундамент наук, изучающих строение вещества (в частности химии); они позволили выяснить строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов, понять строение атомных ядер, изучить свойства элементарных частиц. Поскольку свойства макроскопических тел определяются взаимодействием частиц, из которых они состоят, законы квантовой механики лежат в основе понимания и макроскопических явлений. Квантовая механика позволила, например, объяснить температурную зависимость и вычислить величину теплоемкости газов и твердых тел. Только на основе квантовой механики удалось последовательно объяснить такие явления, как ферромагнетизм, сверхпроводимость, понять природу таких астрономических объектов, как белые карлики, нейтронные звезды, выяснить механизм протекания термоядерных реакций на Солнце и звездах.

Ряд крупнейших технических достижений XX в. основан, по существу, на специфических законах квантовой механики. Так, квантово-механические законы лежат в основе работы атомных реакторов, обу-

свавливают возможность осуществления в земных условиях термоядерных реакций, проявляются в ряде процессов в металлах и полупроводниках, используемых в новейшей электронной технике, и т. д.

Таким образом, квантовая механика блестяще разрешила важнейшую из проблем - проблему атома и дала ключ к пониманию многих других загадок микромира. Но в то же время квантовая механика описывает движение электронов, протонов и других частиц, но не их порождение или уничтожение, т. е. применима *лишь к системе с неизменным числом частиц*. Одна из интереснейших проблем - проблема испускания или поглощения электромагнитных волн заряженными частицами, что на языке квантовой механики означает порождение или исчезновение фотонов, по существу, остается вне рамок компетенции квантовой механики. При квантово-механическом рассмотрении атома водорода можем получить дискретный набор всех физических величин, относящихся к различным состояниям атома, можно найти, какова вероятность обнаружения электрона на определенном расстоянии от ядра, но переходы атома из одного состояния в другое, сопровождающиеся испусканием или поглощением фотонов, в рамках квантовой механики последовательно описать невозможно.

Таким образом, квантовая механика дает приближенное описание атома, справедливое в той мере, в какой можно пренебречь эффектами излучения.

Порождаться и исчезать могут не только фотоны. Одно из самых поразительных и, как выяснилось позже, общих свойств микромира - универсальная взаимопревращаемость частиц. Либо «самопроизвольно» (на первый взгляд), либо в процессе столкновения одних частиц с другими они исчезают и на их месте появляются другие. Представьте себе, что при столкновении двух «Жигулей» на их месте появится трактор. Трудно! Между тем при столкновении протонов и нейтронов образуются π -мезоны, при столкновении электрона с позитроном на их месте возникает два (редко три) фотона (этот процесс называется аннигиляцией). Кроме того, осталась нерешенной задача проквантовать континуум, которым является электромагнитное поле. Именно указанные задачи решает квантовая теория поля, являющаяся дальнейшим обобщением квантовой механики.

Особенно бурно развивается релятивистская квантовая теория поля, учитывающая специальную теорию относительности (релятивистскую теорию) А. Эйнштейна.

Если рассматривается система, состоящая из медленных («малоэнергичных») частиц, то их энергии может оказаться недостаточно для образования новых частиц. В такой «нерелятивистской» системе число частиц может оставаться неизменным. Это и обеспечивает возможность применения для ее описания квантовой механики.

Все изложенное относится к «рождению» частиц, имеющих массу покоя, отличную от нуля. Но у фотона, как уже говорилось, масса покоя равна нулю, так что для «рождения» фотона, казалось бы, отнюдь не требуется больших «релятивистских» энергий. Однако и здесь невозможно обойтись без релятивистской теории, что ясно хотя бы из того, что нерелятивистская теория применима лишь при скоростях много меньших скорости света в пустоте, а фотон движется со скоростью света.

9. ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ. ВЕРОЯТНОСТЬ КАК АТРИБУТ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Наблюдения за бесчисленными разновидностями веществ в окружающем нас мире показывают, что все они в зависимости от условий участвуют в разнообразных процессах взаимодействий, взаимопревращений, проявляют существенно различные физические и химические свойства, зависящие от их строения и структуры. Химические взаимодействия всегда связаны с разнообразными физическими процессами: теплопередачей, поглощением или испусканием электромагнитных колебаний (свет), электрическими явлениями, агрегатными (фазовыми) переходами и др. Совершенно очевидно, что научный подход к пониманию сущности процессов взаимопревращений веществ предполагает постановку и разрешение широкого круга непростых вопросов:

1. Почему идут различные (в том числе и химические) процессы?
2. Как направление процессов зависит от условий эксперимента?
3. Насколько полно (глубоко) идут эти процессы?
4. Какие вещества и в каких агрегатных состояниях образуются в результате протекания химических превращений?
5. С какими реальными скоростями идут химические превращения и по каким механизмам, т. е. через совокупность каких элементарных актов они реализуются?

Очевидно, перечень вопросов может быть существенно расширен.

Каковы же главные методологические подходы к поиску ответов на поставленные вопросы? Можно назвать три основных.

Первый из них - *термодинамика*. Она является опытной и формальной дисциплиной. Все ее законы и понятия формулируются как результат опыта для макрообъектов с числом молекул $\approx 10^{20}$ без проникновения в молекулярный механизм процессов. Это обуславливает широту применения термодинамики, простоту ее математического аппарата, значительную практическую ценность, но и некоторые ограничения.

Второй метод - *статистическая механика*, опирающаяся на учение о молекулярной природе веществ. Рассмотрение последних как больших коллективов (ансамблей) частиц, подчиняющихся законам механики, позволяет обосновать понятия и законы термодинамики и значительно расширить область описываемых явлений. Статистическая механика позволяет связать макроскопические свойства веществ с микроскопическими свойствами составляющих их молекул, вскрыть некоторые аспекты природы элементарных актов взаимодействия.

Третий метод - *квантовая механика*, лежащая в основе учения о строении и свойствах отдельных атомов и молекул и взаимодействии их между собой. При этом главное внимание уделяется законам движения и распределения электронов по орбиталам. Информация, относящаяся к свойствам отдельных молекул, получается, главным образом, с помощью спектроскопических методов.

Рассматривая далее процессы, происходящие в веществе, можно отметить, что статистической физикой (физической статистикой) называется раздел теоретической физики, в котором изучаются макроскопические свойства систем на основе молекулярно-кинетических представлений и методов математической статистики. Статистическая физика рассматривает системы, находящиеся в равновесном состоянии (не изменяющееся во времени состояние, если таковое не обусловлено протеканием какого-либо внешнего по отношению к системе процесса) или близких к нему. Задачей статистической физики является исследование поведения и свойств таких систем на основе определенных представлений об их атомной структуре.

В статистической физике известны свойства и законы отдельных атомов, молекул, элементарных частиц, изучаемые квантовой механикой. Во многих случаях состояние произвольной системы, состоящей из n частиц с S степенями свободы может быть описано классической механикой заданием nS обобщенных координат и nS обобщенных импульсов, т. е. заданием $2nS$ независимых переменных. Обобщенные координаты механической системы - независимые параметры q_1, q_2, \dots, q_n , полностью определяющие конфигурацию этой системы, т. е. положение всех ее точек по отношению к системе отсчета; обобщенные скорости - полные производные по времени от обобщенных координат системы, т. е.

$$q_i' = \frac{dq_i}{dt}; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Поведение систем, состоящих из большого числа частиц, определяется статистическими закономерностями, отличными от законов, которым подчиняется каждая из частиц, входящих в макроскопическую систему. Поведение отдельной частицы (например, ее траектория, последовательность изменений ее состояний и т. п.) при статистическом описании системы оказывается не существенным. Поэтому изучение свойств системы сводится к отысканию средних значений физических величин, характеризующих состояние системы как целого. Существенное отличие систем, подчиняющихся статистическим закономерностям, от систем, в которых достаточным оказывается описание с помощью законов механики, состоит в том, что поведение и свойства первых в значительной степени не зависят от их начального состояния.

Связь между закономерностями, описывающими движение отдельных частиц (динамические закономерности), и статистическими закономерностями проявляется в том, что в зависимости от законов движения отдельных частиц существенно изменяются свойства макроскопической системы, изучаемой методами статистической физики.

Различные состояния системы, особенно сложной, могут осуществляться с той или иной степенью вероятности. Считается, что вероятность i -го состояния w_i определяется как предел отношения времени t_i , в течение которого система находится в данном состоянии, к полному времени T наблюдения над системой при неограниченном увеличении T :

$$w_i = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t_i}{T}.$$

Более подробно вопросы теории вероятности изучаются в специальных разделах математики.

10. ЗАКОНЫ (НАЧАЛА) ТЕРМОДИНАМИКИ

10.1. Термодинамический метод рассмотрения систем и процессов

Окружающий нас материальный Мир непрерывно изменяется, движение является неотъемлемым атрибутом материи, способом ее существования. Движение материи проявляется в различных формах, которые постоянно переходят одна в другую. Взаимопревращение форм движения широко используются в человеческой практике. Так, источником механического движения часто служит электричество, которое, в свою очередь, получают с помощью тепла или химических источников тока.

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

Движение неуничтожимо, как и сама материя. Принцип неуничтожимости движения выполняется в форме одного из наиболее общих законов природы - *закона сохранения и превращения энергии* (ЗСПЭ). Энергия не создается и не исчезает бесследно. При всех процессах и явлениях суммарная энергия частей материальной системы, участвующих в данном процессе, не увеличивается и не уменьшается, оставаясь постоянной. ЗСПЭ универсален в том смысле, что применим как к процессам, протекающим в сколь угодно больших телах, представляющих совокупность огромного числа молекул, так и к явлениям, происходящим с участием одной или нескольких молекул. Законы превращения одной формы энергии в другую изучаются термодинамикой. Ею изучаются и наиболее общие макроскопические свойства (параметры) материальных тел, проявляющиеся в процессах преобразования одного вида движения материи в другой.

Исторически термодинамика возникла как наука, изучающая переход теплоты в механическую работу, т. е. из необходимости создания теоретических основ тепловых машин.

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

В основе термодинамики лежит *феноменологический* подход к изучению объектов и процессов (от слова «феномен» - явление), т. е. они рассматриваются как целое, без проникновения в их атомно-молекулярную структуру. Используемые для описания параметры могут быть определены только для макрообъектов.

Всякое превращение энергии связано с некоторым процессом. В каждом процессе участвует определенная совокупность материальных тел. В связи с многообразным взаимным влиянием количество таких тел оказывается часто весьма большим. Чтобы облегчить изучение различных процессов, в термодинамике используется весьма своеобразный прием: из большого числа тел выделяют либо реальными физическими, либо мысленными модельными границами некоторую совокупность тел, которую называют изучаемой *системой*. Совокупность материальных тел, находящуюся за границами системы, называют *окружающей средой*. Термодинамика занимается изучением макроскопических систем, пространственные размеры и время существования которых достаточны для проведения измерений.

Система и окружающая среда могут взаимодействовать друг с другом. Это взаимодействие в общем случае заключается в передаче от среды к системе и в обратном направлении энергии и массы. Такие системы называются *открытыми*.

Если количество вещества в системе в рассматриваемом процессе остается неизменным, т. е. обмен веществом между системой и окружающей средой отсутствует, то система называется *закрытой*. Процессы в такой системе заключаются в перераспределении вещества между отдельными ее частями, а также в передаче энергии от системы к окружающей среде или в противоположном направлении.

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

Свойства, совокупностью которых определяется состояние системы, связаны друг с другом: при изменении одного из них изменяется по крайней мере еще одно. Эта взаимосвязь находит выражение в функциональной зависимости термодинамических параметров равновесной системы и называется *уравнением состояния*.

Например, для идеально чистого вещества, равномерно заполняющего объем V , во всех частях которого температура T и давление p постоянны, уравнение состояния в общем виде может быть представлено следующим образом:

$$F(p, V, T) = 0. \quad (10.1)$$

Для одного моля идеального газа таким уравнением является уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = RT, \quad (10.2)$$

где $R = 8,314$ Дж/(моль·К) (универсальная газовая постоянная).

Для однородного раствора появляется дополнительное условие - постоянство концентрации компонентов по всему объему. В случае гетерогенной (многофазной) системы каждая однородная фаза может быть описана своим уравнением состояния.

Особо следует обратить внимание на отличное (от других естественных наук) логическое построение термодинамики. В ее основе лежат три основных фундаментальных закона (начала), которые являются итогом обобщения практического опыта человечества.

1-е начало представляет собой ЗСПЭ применительно к макросистемам.

2-е начало утверждает существование функции состояния системы S (энтропии), характеризует направление протекания термодинамических процессов и условие равновесия термодинамических систем.

3-е начало утверждает принцип недостижимости абсолютного нуля температур (0 К) и обращение в нуль энтропии равновесного идеального кристалла при приближении его температуры к абсолютному нулю.

Эти законы выступают в качестве базовых постулатов, аксиом. Практические же выводы появляются как логические следствия применения начал термодинамики к конкретным системам и процессам с использованием несложного математического аппарата (преимуще-

ственно дифференциального и интегрального исчислений). Другими словами, термодинамика является дедуктивной наукой, когда из малого числа исходных посылок (фактов) удается (если, конечно, Вы овладели этим методом) получить большое число верных, далеко идущих выводов.

Вспомните впечатляющие успехи великих мастеров дедукции - Шерлока Холмса и Эркюля Пуаро, а заодно и великих писателей, их придумавших!

10.2. Первое начало термодинамики

Первое начало является математическим выражением количественной стороны ЗСПЭ в применении к макроскопическим (термодинамическим) системам. Оно было сформулировано и далее установлено в количественной форме М. В. Ломоносовым (1748), Г. И. Гессом (1840), Ю. Р. Майером (1842-1851), Д. П. Джоулем (1843-1855) и Г. Л. Ф. Гельмгольцем (1847) в результате экспериментальных и теоретических исследований в области физики и химии. Завершающим этапом этих исследований явилось открытие *количественной эквивалентности теплоты и работы*, т. е. обнаружение факта, что превращение теплоты в работу и работы в теплоту осуществляется всегда в одном и том же количественном соотношении. В частности, всегда реализуется один и тот же термический эквивалент работы J , т. е. отношение механической энергии (или работы) к соответствующему количеству теплоты:

$$J = 4,1868 \text{ Дж/кал}. \quad (10.3)$$

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

Современные формулировки и формы записи первого начала вводят представление о *внутренней энергии системы* U , которая выражает полный запас кинетической и потенциальной энергии данного тела или совокупности тел. Сюда входят энергия движения моле-

кул и образующих их частиц, энергия взаимодействия атомов в молекуле и отдельных составляющих частиц атомов. Определение абсолютных значений U затруднено из-за неопределенности начала отсчета, для которого $U = 0$. На практике рассматривают ΔU в каком-либо процессе, т. е. ее изменение. Внутренняя энергия изолированной системы - величина постоянная:

$$U_{\text{изол.сист}} = \text{const.} \quad (10.4)$$

Внутренняя энергия системы является однозначной функцией ее состояния и изменяется только под влиянием внешних воздействий.

Если же система не является изолированной и в результате каких-либо процессов осуществляется обмен энергией между системой и окружающей средой, то

$$\Delta U_{\text{сист}} + \Delta U_{\text{окр.ср}} = 0, \quad (10.5)$$

Т. е. происходит перенос энергии через контрольную поверхность, но энергия бесследно не исчезает и не возникают из «ничего».

Обобщение обширных экспериментальных данных показывает, что в макроскопических системах существуют два и только два способа обмена энергией между системой и окружающей средой - в форме теплоты Q и в форме работы A . Под теплотой понимают совокупность *микрофизических* способов передачи энергии вследствие хаотического (теплового) движения частиц. Под работой понимают любую *макрофизическую*, т. е. упорядоченную форму передачи энергии.

Рассмотрим три тела - 1, 2 и 3 (рис. 10.1). Пусть между телом 1 и телом 2 осуществляется теплопередача, а между телом 1 и телом 3 происходит механическое взаимодействие. При теплопередаче количества теплоты Q внутренняя энергия тела 2 изменится на $\Delta U_2 = -Q$, а внутренняя энергия тела 3 в результате совершения работы изменится на $\Delta U_3 = -A$. В результате теплопередачи и механического взаимодействия внутренняя энергия каждого из трех тел изменится, но в изолированной термодинамической системе, в которую входят все три тела, по закону сохранения и превращения энергии внутренняя энергия U остается неизменной. Следовательно, сумма изменений внутренней энергии тел 1, 2 и 3 равна нулю:

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 0.$$

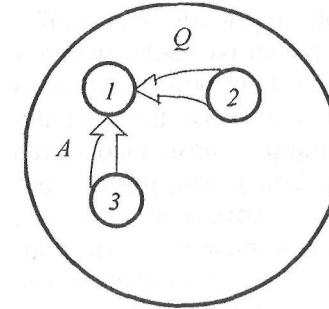


Рис. 10.1. Поток энергии

Отсюда изменение внутренней энергии тела 1 равно сумме изменений внутренней энергии взаимодействующих с ним тел 2 и 3, взятой с противоположным знаком:

$$\Delta U_1 = -\Delta U_2 - \Delta U_3$$

или

$$\Delta U_1 = Q + A.$$

Так как тело 1 является неизолированной термодинамической системой, можно сделать общий вывод: *в неизолированной термодинамической системе изменение внутренней энергии ΔU равно сумме количества теплоты Q , переданного системе, и работы A внешних сил:*

$$\Delta U = Q + A. \quad (10.6)$$

Это выражение закона сохранения и превращения энергии называется *первым законом термодинамики*.

Вместо работы A , совершаемой внешними силами над термодинамической системой, часто удобнее бывает рассматривать работу A' , совершаемую термодинамической системой над внешними телами. Так как эти работы равны по абсолютному значению, но противоположны по знаку:

$$A = -A',$$

то первый закон термодинамики имеет вид

$$\Delta U = Q - A'. \quad (10.7)$$

В неизолированной термодинамической системе изменение внутренней энергии ΔU равно разности между полученным количеством теплоты Q и работой A' , совершаемой системой.

Современная жизнь человека невозможна без использования самых разнообразных машин. С помощью машин человек обрабатывает землю, добывает нефть, уголь, руду, строит дома, дороги, совершает поездки по земле, полеты в воздухе и т. д.

Основным общим свойством всех этих машин является их способность совершать работу. Многие изобретатели в прошлом пытались построить машину - «вечный двигатель», способную совершать полезную работу без потребления извне и без каких-либо изменений внутри машины. Все эти попытки окончились неудачей. Невозможность создания «вечного двигателя» является экспериментальным доказательством первого закона термодинамики. Согласно первому закону термодинамики мы имеем

$$A' = Q - \Delta U. \quad (10.8)$$

Любая машина может совершать работу над внешними телами только за счет получения извне количества теплоты Q или уменьшения своей внутренней энергии ΔU .

В международной системе единиц СИ, которой пользуется весь мир, *работа, энергия и количество теплоты* измеряются в одних и тех же единицах - в *джоулях*: если речь идет о работе и энергии, то джоуль (Дж) равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы 1 Н на расстояние 1 м в направлении действия силы, т. е.

$$1 \text{ Дж} \rightarrow \text{Н} \cdot \text{м} \rightarrow \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2 \cdot \text{м} \rightarrow \text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2.$$

Если речь идет о количестве теплоты, то джоуль равен количеству теплоты, эквивалентному работе 1 Дж.

В качестве временной меры допускается применение внесистемных единиц, основанных на международной калории. При этом необходимо иметь в виду, что 1 кал эквивалентна 4,19 Дж, см. зависимость (10.3).

10.3. Второе начало термодинамики

Несмотря на всю важность и общность первого начала, оно недостаточно для полного описания термодинамических процессов и систем. Эта недостаточность состоит в следующем.

Первое начало, позволяя составлять энергетические балансы процессов, не дает никаких указаний на направление протекания процесса и условия достижения предельного (равновесного) состояния.

Очевидно, легко можно наблюдать и составить энергетический баланс процесса падения тела в поле сил тяжести с более высокого уровня (I) на более низкий уровень (II) (рис. 10.2).

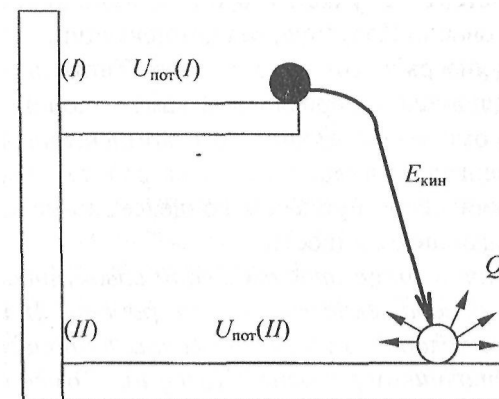


Рис. 10.2. Схема падения тела

Потенциальная энергия при начале движения (падения с ускорением) переходит в энергию кинетическую. При резкой остановке тела на уровне (II) кинетическая энергия переходит в тепловую энергию хаотического движения молекул тела и в виде теплоты рассеивается в окружающую среду:

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q.$$

Однако первому началу не противоречил бы и обратный процесс, которого никто не наблюдал, поскольку он противоречит второму началу: тело на уровне (II) теплообменом отбирает энергию у окружающей среды, охлаждая ее, в результате чего с этим запасом энергии поднимается на более высокий уровень (I).

Что же собой представляет второе начало термодинамики?

Первоначально оно было сформулировано как обобщение наблюдаемых фактов, как эмпирический закон из практики процессов

теплопередачи, в частности, при работе тепловых машин (С. Карно, 1824; Р. Клаузиус, 1850; В. Томсон, 1851).

Приведем несколько формулировок второго начала:

1. *Теплота не может сама собой переходить от холодного тела к нагретому. (Постулат Клаузиуса).*

Обратите внимание на слова «сама собой»! Это означает, что процесс идет в системе без участия каких-либо дополнительных процессов, или, как говорил Клаузиус, без компенсации.

У Вас на кухне работает холодильник. Теплота отнимается от продуктов, находящихся в морозильной камере холодильника, и отдается теплоту помещению кухни, но с *компенсацией* расходуется электрическая энергия из внешней сети на работу компрессора, что обеспечивает циклические процессы конденсации-испарения циркулирующей охлаждающей жидкости.

2. *Единственным результатом любой совокупности процессов не может быть превращение теплоты в работу. Или по-другому: теплота наиболее холодного из участвующих в процессе тел не может служить источником работы. (Постулат Томсона).*

3. *Невозможно построить периодически действующую машину, которая непрерывно превращала бы теплоту в работу только за счет охлаждения одного тела, без того чтобы в окружающих телах не произошло одновременно каких-либо изменений.*

Физический смысл второго закона термодинамики заключается в том, что энергия теплового движения молекул вещества в одном отношении качественно отличается от всех других видов энергии: механической, электрической, химической, ядерной и т. д. Это отличие заключается в том, что энергия любого вида, кроме энергии теплового движения молекул, может полностью превратиться в любой другой вид энергии, в том числе в энергию теплового движения. Энергия же теплового движения молекул может испытать превращение в любой другой вид энергии лишь частично. В результате этого любой физический процесс, в котором происходит превращение какого-либо вида энергии в энергию теплового движения молекул, является необратимым процессом, т. е. он не может быть осуществлен полностью в обратном направлении.

Из приведенных формулировок вытекают исключительно важные следствия:

- при *количественной эквивалентности* двух форм передачи энергии теплоты и работы, утверждаемых первым началом, второе начало устанавливает их *качественную неэквивалентность*. Если превращение всех видов работ в теплоту может осуществляться самопроизвольно и полно, то тепловая энергия в работу превращается лишь частично. Другая ее часть от рабочего тела передается другим телам (в тепловых машинах «другие тела» - это холодильники). Такая передача части тепла обеспечивает эффект *компенсации*;

- вечный двигатель второго рода невозможен, т. е. невозможно создать периодически действующее устройство, которое бы без компенсации полностью превращало в работу тепло, отбираемое от какого-либо тела.

Следует заметить, что приведенные выше очень важные и совершенно правильные исторически сложившиеся формулировки второго начала напрямую не раскрывают его глубинную физическую сущность. Из них в явном виде не выявляется возможность полного описания термодинамических систем, так как остается открытым вопрос о выражении количества теплоты через параметры системы.

10.4. Энтропия. Принцип возрастания энтропии

В строгой математической форме, наиболее часто используемой сейчас, второе начало термодинамики сформулировано Р. Клаузиусом (1845).

Введем несколько новых понятий. Во-первых: δQ и δA - соответственно элементарная теплота и элементарная работа в бесконечно малом процессе. Во-вторых, обратим внимание на то, что выражения для элементарных работ, в какой бы области макроскопической физики (механики, электростатики, магнетизма и др.) они ни рассматривались, имеют одинаковый вид, в том числе:

$$\Delta A_{\text{мех}} = f \cdot \delta l = f \cdot dl = P \Omega dl = PdV, \quad (10.9)$$

где f - действующая сила;

dl - путь, пройденный точкой приложения силы в направлении действия силы;

$$P = \frac{f}{\Omega} \text{ -- давление;}$$

Ω - площадь, на которую действует сила f ;
 $dV = \Omega \cdot dl$ - бесконечно малое изменение объема.

В выражении (10.9) величина δl выполняет роль аргумента функции. На основании того, что приращение аргумента есть его дифференциал, заменяем δl на dl .

Из теории электричества известно, что работа переноса заряда q под действием потенциала dG

$$\delta A_{\text{эл}} = q \cdot dG. \quad (10.10)$$

Аналогично работа намагничивания

$$\delta A_{\text{магн}} = HdB, \quad (10.11)$$

где H - напряженность магнитного поля;
 B - магнитная индукция.

Работа поверхностного натяжения

$$\delta A_{\text{пов.нат}} = \sigma d\Omega, \quad (10.12)$$

где Ω - площадь поверхности;
 σ - поверхностное натяжение (энергия).

Работа химического превращения (переноса)

$$\delta A_{\text{хим}} = \mu dn, \quad (10.13)$$

где μ - химический потенциал;
 n - число молей компонента, претерпевающего изменение.

Другими словами, для всех без исключения видов работ может быть записано обобщенное выражение

$$\delta A_k = Z_k \cdot dy_k, \quad (10.14)$$

где Z_k выполняет роль интенсивного параметра (параметра, нечувствительного к количеству вещества) и имеет смысл обобщенной силы или обобщенного потенциала;

y - экстенсивная величина (пропорциональная количеству вещества), имеет смысл обобщенной координаты.

Для экстенсивных параметров действуют законы сохранения, и поэтому не возникает необходимость рассматривать dV , dq , dn и т. д. отдельно для термодинамической системы и для случая «перехода контрольной поверхности» система - окружающая среда. Сложнее

обстоит дело с интенсивными параметрами P , μ , H , ϕ и др. Именно наличие перепада (разности $\Delta Z \neq 0$) на контрольной поверхности система - окружающая среда является движущей силой процесса, определяя его протекание в ту или иную сторону. Только в состоянии равновесия с окружающей средой величина интенсивного параметра системы (далее обозначается верхним символом i) равна величине этого же параметра, переносимой из окружающей среды через контрольную поверхность в систему (обозначается верхним символом e), т. е. $Z^i = Z^e$.

Поэтому в классической (равновесной) термодинамике рассматриваются гипотетические *обратимые, или квазистатические, процессы*, которые представляют собой смену последовательных состояний равновесия. В этом случае

$$Z^i = Z^e + \delta Z,$$

где δZ - бесконечно малая положительная или отрицательная величина. Изменение знака δZ обращает процесс, который начинает протекать в обратном направлении через те же самые промежуточные состояния.

Суть формулировки Р. Клаузиуса второго начала термодинамики состоит в том, что для обратимых (квазистатических) процессов теплота выражается через параметры состояния таким же образом, как и остальные формы изменения энергии, т. е. в форме произведения Zdy , которое для элементарного количества теплоты δQ^e , полученного системой при температуре T в результате обратимого процесса, записывается в виде:

$$\delta Q^e \leq TdS \text{ или } dS \geq \frac{\delta Q^e}{T}. \quad (10.15)$$

Здесь S - новая, устанавливаемая вторым началом термодинамики, функция состояния, называемая *энтропией* (от греч. euntropia поворот, превращение). В формуле (10.15) dS - дифференциал энтропии S .

Об этой функции можно сказать, исходя из аналогии с другими произведениями типа Zdy : энтропия является экстенсивной величиной и выполняет роль обобщенной координаты.

В выражении (10.15) равенство относится к обратимым (квазистатическим) процессам, а знак неравенства - к необратимым самопроизвольным (естественным) процессам.

Появление знаков равенства-неравенства позволяет отличить равновесные состояния от неравновесных и предсказать возможное (разрешенное) направление самопроизвольного процесса. Знак равенства в (10.15) можно было бы сохранить и для неравновесных процессов, если вместо δQ^e подставить $\delta Q = \delta Q^e + \delta Q^i$, где δQ^i - так называемая *некомпенсированная теплота*. Величина δQ^i характеризует теплоту, возрастающую внутри системы за счет превращений энергии других видов в тепловую вследствие эффектов неравновесности (необратимости).

Подстановка δQ в (10.15) дает выражение

$$dS = \frac{\delta Q^e}{T} + \frac{\delta Q^i}{T} = dS^e + dS^i. \quad (10.16)$$

Отсюда следует, что энтропия системы может изменяться по двум и только по двум причинам: вследствие теплообмена между системой и окружающей средой (dS^e); вследствие необратимых процессов, протекающих в системе (dS^i).

Очень поучительно рассмотреть поведение изолированных систем. Они характеризуются постоянством внутренней энергии $U = \text{const}$ и отсутствием любых видов работ, совершаемых системой или над системой. Очевидно, что у изолированных систем нет теплообмена с окружающей средой, т. е. $\delta Q^e = 0$. Тогда изменение энтропии

$$(dS)_{\text{из. сист}} = dS^i \geq 0. \quad (10.17)$$

Отсюда, если $dS^i > 0$ (т. е. в изолированной системе протекает самопроизвольный неравновесный процесс), то в такой системе энтропия может только возрастать. Если же $dS^i = 0$, то достигается предельное равновесное состояние, а величина энтропии достигает своего максимального значения S_{max} .

Таким образом, второе начало термодинамики постулирует закон о существовании энтропии у всякой равновесной системы и неубывании ее при любых процессах в изолированных системах (рис. 10.3).

На рис. 10.3 AB - самопроизвольный процесс; B - точка равновесного состояния системы ($S = S_{\text{max}}$); BC - мыслимый несамопроизвольный процесс (возможен при подведении энергии извне, т. е. нарушении изолированности системы).

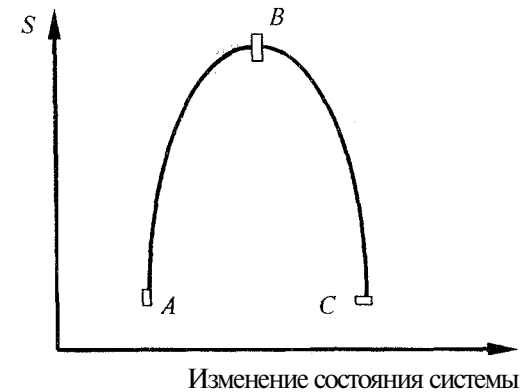


Рис. 10.3. Изменение энтропии в изолированной системе

С помощью энтропии изолированных систем предсказывается направление самопроизвольных процессов: $\Delta S > 0$ и предельное равновесное состояние: $\Delta S = 0$, $S = S_{\text{max}}$.

Уравнение 10.17 может рассматриваться как одна из наиболее общих формулировок второго закона термодинамики. Необратимые явления могут увеличивать (создавать) энтропию, но не могут уменьшить (уничтожить) ее. Если система находится в состоянии термодинамического равновесия, то скорость *возрастания энтропии равна нулю*.

10.5. Статистический смысл второго начала термодинамики

С точки зрения статистической физики энтропия выражает вероятность, и возрастание энтропии означает переход системы от менее вероятных состояний к более вероятным. Возрастание энтропии не носит абсолютного характера, а выражает лишь наиболее вероятное течение процессов. Для макроскопических систем, состоящих из большого числа частиц, возрастание энтропии является необходимым, но для микроскопических объектов (например, при броуновском движении) второе начало термодинамики не имеет силы. Статистическое толкование энтропии ограничивает сферу действия второго начала макроскопическими процессами, показывая его непри-

менимость не только к системам с малым числом частиц (микросистемам), но и к системам, включающим в себя бесконечно большое число частиц (Вселенная, Мир в целом). Для таких систем утрачивает смысл понятие наиболее вероятного состояния (все состояния в бесконечно большой системе оказываются равновероятными), а значит, и теряет смысл закон, говорящий о переходе системы от менее вероятных состояний к более вероятным. Таким образом, выводы о якобы неизбежном наступлении теплового равновесия и тепловой смерти необоснованны.

Исследование особенностей систем, состоящих из очень большого числа отдельных элементов (будь то электроны, атомы или молекулы), ввело в термодинамику новый элемент - представление о вероятности. С помощью этого представления оказалось возможным исследовать свойства больших совокупностей частиц, не прибегая к детальному изучению состояния каждой отдельной частицы.

Термодинамической вероятностью (W) называется число микросостояний, соответствующих данному макросостоянию. Следует обратить внимание, что при таком определении вероятности она будет выражаться большими числами.

Необратимый процесс в изолированной системе характеризуется возрастанием энтропии, но он одновременно характеризуется и ростом термодинамической вероятности. Первым на это обстоятельство обратил внимание Л. Больцман. Он же высказал мысль о наличии функциональной связи между энтропией и термодинамической вероятностью: $S = f(W)$. Выведенное им уравнение имеет вид

$$S = k \ln W. \quad (10.18)$$

Оно известно в научной литературе как формула Больцмана - в знак его заслуг, хотя в таком виде его впервые получил и записал М. Планк (1900). Коэффициент пропорциональности перед логарифмом k известен как постоянная Больцмана - одна из фундаментальных физических постоянных.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К},$$

где R - универсальная (молярная) газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К);

N_A - постоянная (число) Авогадро, равная числу молекул в 1 моле вещества: $6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Можно ли подсчитать число микросостояний W конкретной системы? Да, можно. Способ подсчета может несколько различаться в зависимости от природы частиц, составляющих макросистему, и от наших представлений о возможности отличить одну частицу от другой. Этим вопросом, исходя из разных допущений, занимались Больцман, Бозе, Эйнштейн и несколько позже Ферми и Дирак.

10.6. Гипотеза о «тепловой смерти» Вселенной. Стрела времени. Энтропия и информация

Рассмотрим некоторые ограничения и важнейшие следствия второго начала термодинамики.

1. *Ограниченность второго начала.* Поскольку энтропия связана с вероятностью состояния, то второе начало, строго говоря, не является абсолютным, точным законом. Более правильно его сформулировать в виде утверждения: весьма вероятно, что энтропия изолированной системы возрастает. Для макросистем отступления от второго начала крайне ничтожны и маловероятны. Однако для микроскопических систем эти отступления могут быть существенными вследствие флуктуации давления. Типичными флуктуациями (т. е. отступлениями от второго начала) являются неупорядоченные блуждания взвешенных коллоидальных частиц (броуновское движение) в малых объемах.

Из этих рассуждений следует относительность обратимости. В больших макросистемах, где второе начало является практически точным законом, существуют необратимые процессы, ведущие к максимуму энтропии. Но при переходе к достаточно малым системам возможны процессы, когда энтропия может не только возрасти, но и заметно убывать, т. е. необратимые процессы могут сами собой обращаться, благодаря чему появляется обратимость с нарушением второго начала. Иначе говоря, второе начало «ограничено снизу», т. е. ограничено малостью частиц, составляющих систему.

В термодинамике всегда имеют дело с макросистемами и потому ничтожных отступлений от второго начала не учитывают, принимая его за точный закон.

2. *Направление времени в макроскопической системе* непосредственно связано с явлениями необратимости, вытекающими из второго начала термодинамики. Если снять на кинолентку какой-либо физический макропроцесс, а затем прокрутить ленту в обратном направлении, то мы увидим другой принципиально возможный физический процесс (например, самопроизвольное разделение однородной смеси окрашенной и неокрашенной жидкости или самопроизвольный подъем кирпича, ранее упавшего с крыши). Эти процессы представляются исключительно маловероятными, а потому нереальными. Другими словами, в макроскопическом мире понятия прошлого, настоящего и будущего складываются под действием второго начала термодинамики, описывающего необратимые процессы, в которых принимают участие огромное число частиц. Четкая последовательность событий и привычная направленность времени приводят к очевидным аксиомам:

- время движется от прошлого к будущему;
- момент «теперь» есть настоящее время, отделяющее прошлое от будущего;
- прошлое никогда не возвращается;
- мы не можем изменить прошлое, но можем изменить будущее;
- мы можем иметь протоколы прошлого, но не будущего.

Иначе говоря, во всех явлениях, с которыми нам приходится иметь дело, будь то явления в области макроскопической физики, химии, биологии, гуманитарных наук, будущее и прошлое играют различные роли.

Существование стрелы времени здесь очевидно. Утверждение ряда философов, что стрела времени - «это лишь феноменология» и обусловлена особенностями нашего описания природы, с научной точки зрения абсурдно. Мы дети стрелы времени, дети эволюции, но отнюдь не ее создатели.

Подчеркивая общее значение второго начала как важнейшего закона природы, нельзя не обратить внимание на глубокие противоречия между явной необратимостью реальных процессов макромира и идеальной обратимостью чисто механических и элементарных квантовых явлений. Строгая обратимость механических законов непосредственно следует из уравнения *второго закона Ньютона*:

$$f = ma = m \left(\frac{dx^2}{dt^2} \right). \quad (10.19)$$

Уравнение (10.19) остается неизменным и при обращении знака времени с $+t$ на $-t$. В области внутриатомных процессов также царит полная обратимость: из законов квантовой механики вытекает *принцип микроскопической обратимости*, устанавливающий, что для всех микроскопических атомных или молекулярных процессов вероятность прямых и обратных процессов равны друг другу. Таким образом, в элементарных законах молекулярных процессов отсутствует необратимость. Все эти процессы строго симметричны по отношению к будущему и прошедшему. И лишь необратимые процессы в макросистемах, сопровождающиеся ростом энтропии, рассеянием энергии в веществе, описываемые законами статистической физики, позволяют установить естественное направление времени.

3. «*Тепловая смерть*» Вселенной - ошибочный вывод, сделанный Р. Клаузиусом на основании расширительного применения второго начала термодинамики, которому он дал следующую формулировку: «Энтропия Вселенной стремится к максимуму». Из такой формулировки следует, что во Вселенной в конце концов все виды энергии должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по веществу Вселенной. После чего в ней прекратятся все макроскопические процессы и наступит «тепловая смерть». Идеи Клаузиуса на протяжении вот уже 130 лет неоднократно были предметом жарких споров естествоиспытателей и философов различных школ. В настоящее время основные возражения против «теории тепловой смерти» Вселенной можно свести к следующим направлениям:

- второе начало термодинамики (закон возрастания энтропии) получено путем обобщения опытных фактов, относящихся к ограниченному макросистемам. Распространение второго начала на всю Вселенную есть далекая экстраполяция, для которой нет оснований;
- Вселенная (или, по крайней мере, доступная нашим наблюдениям ее часть) не является изолированной системой. Современная космология (А. Фридман, 1922; Э. Хаббл, 1929) исходит из представлений о неоднородной, нестационарной, расширяющейся Вселенной, отдельные части которой находятся между собой во взаимодействии;
- в случае систем галактических и тем более межгалактических размеров определяющую роль в их временной эволюции начинают играть дальнедействующие гравитационные силы взаимодействия между частицами. Это приводит, во-первых, к тому, что в таких сис-

темах возникают большие флуктуации и отсутствует самоненарушаемость равновесных состояний, и, во-вторых, энергия взаимодействия макроскопических частей системы становится сравнимой с их внутренними энергиями, так что система в целом не является термодинамической.

Таким образом, невыполнение исходных положений термодинамики и ее второго начала о неуклонном возрастании энтропии в системах галактических масштабов показывает нам верхнюю границу применимости классической термодинамики: термодинамика неприменима к достаточно большим участкам Вселенной и тем более ко всей Вселенной как целому.

4. *Связь между энтропией и информацией* - еще одно важное следствие второго начала термодинамики, положенное в основу молодой и бурно развивающейся научной дисциплины - *кибернетики*. Под информацией понимаются любого рода сведения, переданные от одного субъекта (объекта) к другому посредством звуковых, световых, печатных, цифровых или другого рода сигналов. В конечном итоге передача информации может быть сведена к передаче пакета цифровых или других символьных знаков, т. е. имеет статистическую основу. Разработка статистической теории количества информации в первую очередь связана с именами Н. Винера и К. Шеннона (1948). Ими было введено понятие *информационной энтропии*, которая выступает как мера неопределенности при характеристике объекта или явления и базируется на вероятностном подходе.

Если при некоторых условиях должно произойти одно из k несовместимых случайных равновероятных событий, то вероятность каждого из них

$$p_i = \frac{1}{k}.$$

Величина k называется также числом возможных исходов. При этом имеет место равенство

$$\sum_i p_i = 1.$$

Информационная энтропия, как и энтропия термодинамическая, связана с числом возможных исходов логарифмической зависимостью (Р. Хартли, 1928):

$$S_{\text{инф}} = \log_2 k. \quad (10.20)$$

Анализ уравнения (10.20) позволяет сделать следующие выводы:

- $S_{\text{инф}}$ монотонно возрастает при росте k ;
- если $k = 1$, то $S_{\text{инф}} = 0$, т. е. неопределенность отсутствует, результат строго детерминирован;

• $S_{\text{инф}}$ обладает свойством аддитивности¹: если в сложном опыте имеют место два одновременных исхода k_1 и k_2 , то для такого опыта

$$S_{\text{инф}} = \log_2 k_1 + \log_2 k_2 = \log_2 k_1 \cdot k_2 = \log_2 k.$$

Другими словами, формула (10.20) с точностью до постоянного множителя перед логарифмом аналогична формуле Больцмана.

Применение двоичного логарифма (логарифма по основанию два, т. е. \log_2) связано с соображениями удобства и позволяет выразить и количество информации J в *bitmax* (*binary digit* = бит). 1 бит - количество информации, сообщающее, какое из двух равновероятных событий в действительности имело место, т. е. количество информации, вдвое уменьшающее неопределенность.

Более общее выражение для подсчета, когда отдельные состояния системы неравновероятны ($p_1 \neq p_2 \neq \dots p_i \neq \dots p_k$), получил К. Шеннон:

$$S_{\text{инф}} = - \sum_i p_i \cdot \log_2 p_i. \quad (10.21)$$

Количество информации J , полученное в опыте или при передаче сигналов, характеризуется устраненной при этом неопределенностью. Если $S_{\text{инф.1}}$ - информационная энтропия до опыта, $S_{\text{инф.2}}$ - информационная энтропия после опыта.

$$S_{\text{инф.1}} > S_{\text{инф.2}}. \quad (10.22)$$

Другими словами, информация - это не любое сообщение, а только то, которое устраняет (уменьшает) неопределенность. Все остальное - информационный шум.

Таким образом, понятие количества информации совершенно естественно связывается с классическим понятием термодинамики и статистической механики - понятием энтропии. Как количество ин-

¹ Понятие аддитивности состоит в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, каким бы образом ни был разбит объект.

формации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия есть мера дезорганизованности системы. Одно равно другому, с обратным знаком ($J = -\Delta S_{\text{инф}}$). Или, по-другому, энтропия есть мера недостатка информации о системе. Значимость энтропийно-информационных подходов в таких, казалось бы, далеких от термодинамики науках, как экономика, социология, теория управления, биология, теория наследственности и многих других, в настоящее время никаких сомнений не вызывает.

11. ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В ПРИРОДЕ. ИДЕИ И. ПРИГОЖИНА О РАЗВИТИИ НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ. ПОРЯДОК ИЗ ХАОСА, ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ

11.1. Порядок из хаоса, диссипативные структуры

Со времени установления второго начала термодинамики ученых занимал весьма острый и принципиальный вопрос: как можно согласовать вывод о возрастании энтропии S - возрастании термодинамической вероятности W - с наличием в природе разнообразных процессов самоорганизации? Как в ходе необратимых процессов возникают более упорядоченные, высокоорганизованные состояния?

Долгое время считалось, что существует противоречие между вторым началом термодинамики и эволюционной теорией Дарвина. Согласно этой теории, в живой природе, благодаря принципу отбора, непрерывно происходит процесс самоорганизации, причем живые системы характеризуются как высокой упорядоченностью структур, так и упорядоченностью поведения в пространстве и времени. Противоречие это легко снимается: живая система - есть открытая система, энтропия которой может и прибывать, и убывать. Уменьшение энтропии (рост упорядочения) связано с совокупностью сопряженных процессов, обеспечивающих локальную компенсацию упорядочения возрастанием энтропии в окружающей среде.

В природе мы встречаемся с двумя типами упорядоченности - статической и динамической. В первом случае порядок реализуется в термодинамически равновесных условиях при достаточном понижении температуры, например, при кристаллизации жидкости. Статическая упорядоченность возникает в результате *фазового перехода*, условия которого являются равновесными. С этой упорядоченностью в биологии практически не приходится встречаться. По Шредингеру, живой организм есть *аперiodический кристалл*, т. е. высокоупорядоченная система, подобная твердому телу, но лишенная периодично-

сти в расположении клеток, молекул, атомов. Утверждение справедливо для строения организмов, клеток и биологических макромолекул (белки, нуклеиновые кислоты). Но апериодический кристалл Шредингера принципиально отличен от равновесного периодического кристалла. Динамический порядок живой системы реализуется не потому, что энтропия понижается вследствие понижения температур, а потому, что имеется отток энтропии из открытой системы в окружающую среду. Возникновение пространственно-временной структуры и в этом случае имеет характер *фазового перехода*, однако неравновесного.

К настоящему времени физики и химики знают множество примеров образования более упорядоченных состояний, возникающих в результате неравновесных процессов. При этом упорядочение может происходить как во времени, так и в пространстве. Пригожин назвал такие упорядоченные состояния *диссипативными* структурами (лат. *dissipatio* - рассеяние). Этим названием подчеркивается, что они возникают в диссипативных системах в ходе неравновесных (необратимых) процессов. Механизм образования диссипативных структур следует четко отличать от механизма формирования равновесных структур, основанного на больцмановском принципе упорядоченности¹. Для возникновения диссипативных структур необходимо соблюдение определенных условий.

- Они могут образовываться только в открытых системах. В них возможен приток энергии, компенсирующий потери и обеспечивающий существование упорядоченных состояний. Благодаря этому, наряду с производством энтропии, существует поток «отрицательной энтропии» извне.

- Диссипативные структуры возникают в макроскопических системах, т. е. в системах, состоящих из большого числа объемов атомов, молекул, клеток и т. д. Упорядоченное движение в таких системах всегда носит кооперативный характер, так как в него вовлекается большое число объектов.

- Диссипативные структуры возникают лишь в системах, описываемых нелинейными уравнениями. Нелинейность является важ-

¹ Принцип Больцмана лежит в основе статистического истолкования второго начала термодинамики: природные процессы стремятся перевести термодинамическую систему из состояний менее вероятных в состояния более вероятные, т. е. привести систему в равновесное состояние, для которого значения W и S максимальны, см. формулу (10.18).

ной и общей чертой процессов, происходящих вдали от равновесия. Самоорганизация не связана с каким-либо особым классом веществ. Она существует лишь при особых внутренних и внешних условиях системы и окружающей среды. Диссипативные структуры являются устойчивыми (стационарными) образованиями. Однако их устойчивость определяется устойчивостью источников энергии и зависит от времени их существования.

Рассмотрим несколько конкретных примеров самоорганизации.

Ячейки Бенара. Структурирование первоначально однородной жидкости (образование ячеек Бенара) удается наблюдать при возникновении свободной конвекции. Пусть в начальный момент жидкость находится в покое при некоторой постоянной температуре и заключена между двумя бесконечными горизонтальными плоскостями (рис. 11.1). Далее путем подогрева снизу создадим в этой системе постоянный температурный градиент (T_1 - температура нижней пластины, а T_2 - температура верхней пластины, причем $T_1 > T_2$). Из-за наличия силы тяжести и соответственно выталкивающей архимедовой силы такая система становится неустойчивой, поскольку «легкий» нижний слой и «тяжелый» верхний стремятся поменяться местами (рис. 11.2). В результате возникает конвекционное движение жидкости, но это движение далеко не случайное. Жидкость структурируется в виде небольших ячеек, называемых ячейками Бенара.

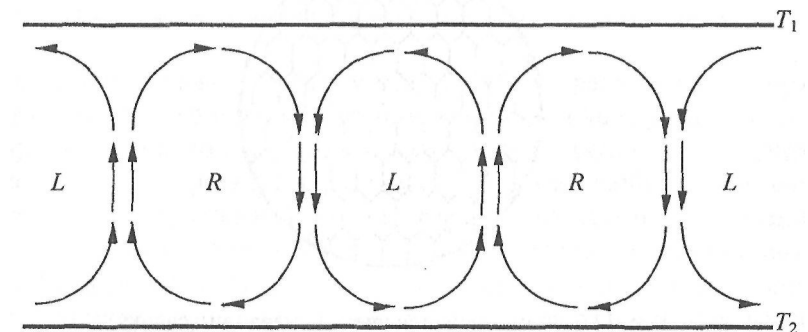


Рис. 11.1. Возникновение конвективных (бенаровских) ячеек

При наблюдении сбоку (см. рис. 11.1) видно, что движение жидкости достаточно сложно. В некоторых точках жидкость движется

вверх, проходит вдоль верхней пластины, затем движется вниз, проходит вдоль нижней пластины и вновь поднимается вверх. Ячейки выстраиваются вдоль горизонтальной оси, причем жидкость в соседних ячейках проходит последовательно во вращение то по (R), то против (L) часовой строчки. При наблюдении сверху (рис. 11.3) эффект структурирования жидкости проявляется в возникновении шестигранных ячеек.

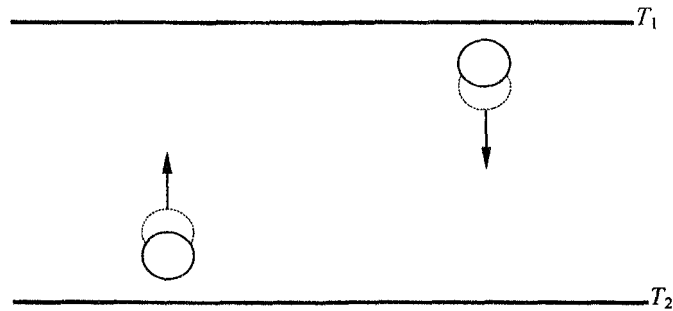


Рис. 11.2. К объяснению природы тепловой конвекции

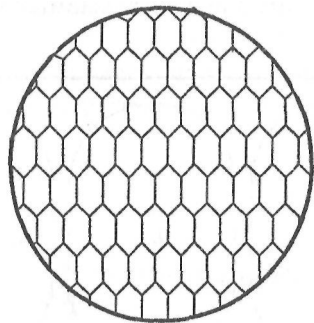


Рис. 11.3. Формирование ячеек Бенара (вид сверху)

Структурирование жидкости начинается только при достижении критической разности температур: $T_1 - T_2 = \Delta T \geq \Delta T_{кр}$. Причина, по которой потоки не наблюдаются при малых ΔT , связана со стабилизирующим влиянием вязкости жидкости: в результате этого в жид-

кости возникают внутренние силы трения, направленные против движения. Стабилизирующим фактором оказывается и теплопроводность, вследствие которой разность температур между смешенной каплей и окружением (рис. 11.2) стремится исчезнуть. Еще одна наглядная картина изменения механизма переноса тепла при переходе через $\Delta T_{кр}$ приведена на рис. 11.4. Ниже $\Delta T_{кр}$ справедливо линейное приближение (уравнение Фурье). Выше $\Delta T_{кр}$ наблюдается переход в нелинейную область.

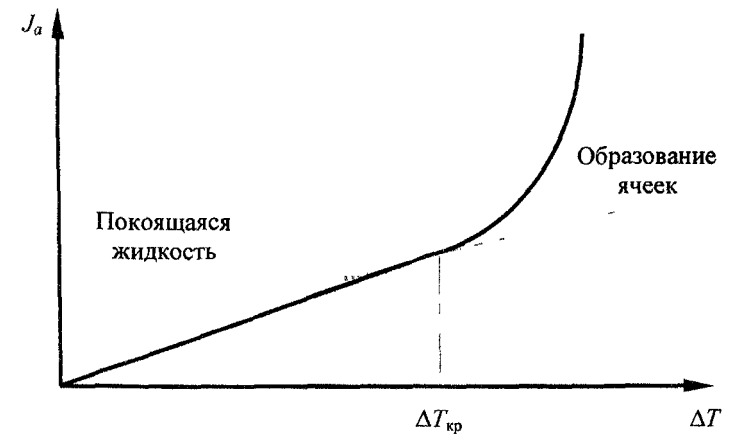


Рис. 11.4. Изменение механизма теплопередачи при достижении $\Delta T_{кр}$

Структурирование жидкости в условиях неравновесности приводит к качественно новым эффектам - эффектам усложнения. Наличие противоположно направленных вращений в двух соседних ячейках позволяет говорить о *нарушении симметрии*. Наиболее примечательной чертой при скачкообразном переходе от простого поведения к сложному является *упорядоченность и согласованность* системы. Когда ΔT было ниже $\Delta T_{кр}$, однородность жидкости в горизонтальном направлении делала независимыми друг от друга отдельные ее части. Напротив, выше порогового значения $\Delta T_{кр}$ все происходит так, как если бы каждый элемент объема следил за поведением своих соседей и учитывал его с тем, чтобы играть нужную роль в общем процессе. Такая картина предполагает наличие *корреляций*, т. е. статистически воспроизводимых отношений между удаленными частями системы.

Здесь стоит обратить внимание на различие между далекодействующим характером этих флуктуаций и короткодействующим характером межмолекулярных сил. Характерные размеры ячеек Бенара в обычных лабораторных условиях находятся в миллиметровом диапазоне (10^{-3} м), в то время как характерный пространственный масштаб межмолекулярных сил приходится на ангстремный диапазон (10^{-10} м). Иначе говоря, отдельная ячейка Бенара содержит около $(10^7)^3 \sim 10^{21}$ молекул. Тот факт, что такое огромное число частиц может демонстрировать *когерентное* (согласованное) поведение несмотря на случайное тепловое движение каждой из частиц, является одним из основных свойств, характеризующих *сложное поведение*.

Однако этим не исчерпывается все то удивительное, что связано с ячейками Бенара. С одной стороны, такой эксперимент характеризуется идеальной воспроизводимостью: при одних и тех же условиях превышение некоторого критического значения $\Delta T_{кр}$ приводит к возникновению конвекционной картины - ячеистой структуры с попеременным правосторонним (*R*) и левосторонним (*L*) вращением в соседних ячейках. Однажды установившись, направление вращения в дальнейшем сохраняется. Таким образом, явление структурирования жидкости при разности температур, превышающей $\Delta T_{кр}$, отвечает строгому *детерминизму*. С другой стороны, направление вращения в ячейках непредсказуемо и неуправляемо. Лишь случай в виде тех или иных возмущений, доминирующих в момент проведения эксперимента, решает, каким будет вращение в данной ячейке: право- или левовращательным. Иначе говоря, мы наблюдаем удивительное сотрудничество между случайностью и определенностью, которое наводит на мысли об аналогичном дуализме, известном в биологии со времен Дарвина (мутация - естественный отбор). В области физики такой дуализм до сих пор наблюдался лишь при квантово-механическом описании микроскопических явлений.

Таким образом, вдали от равновесия система способна приспосабливаться к своему окружению несколькими различными способами (рис. 11.5). *При одних и тех же значениях параметров возможно несколько решений*. И лишь случай решает, какое из этих решений будет реализовано. Тот факт, что из многих возможных вариантов выбран лишь один, придает системе *историческую размерность*, своего рода «память» о прошлом событии, произошедшем в критический момент и оказавшем влияние на дальнейшую эволюцию.

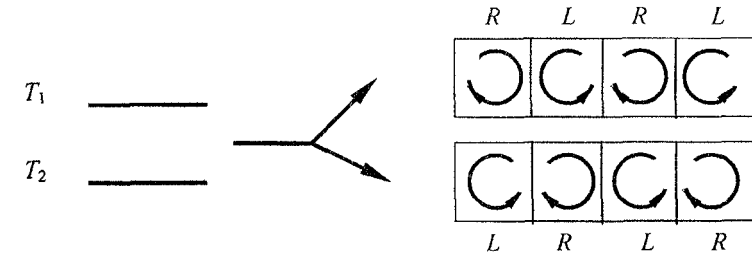


Рис. 11.5. Множественность решений неустойчивости тепловой конвекции

Что произойдет, если разность температур $T_1 - T_2 = \Delta T$ превысит $\Delta T_{кр}$? В некоторой области значений ΔT ячейки Бенара будут существовать. При переходе через другое критическое значение $\Delta T'_{кр}$ мы внезапно окажемся свидетелями нового мощного проявления случайности: структура течения станет размытой, и возникнет новый режим, характеризующийся неупорядоченной зависимостью переменных от времени. Этот режим предшествует явлению *турбулентности*. Турбулентное течение - это течение жидкости (или газа), при котором частицы жидкости совершают неупорядоченное, хаотическое движение по сложным траекториям. До недавнего времени в теории возникновения турбулентности при гидродинамических течениях широко использовалось понятие динамического хаоса, возникающего в процессе эволюции в динамических системах при наличии неустойчивости. Ламинарное течение - это течение, при котором жидкость (или газ) перемещается слоями без перемешивания. При этом переход от ламинарного течения к турбулентному рассматривался скорее как переход к более хаотическому, более беспорядочному движению, а не как процесс самоорганизации. Однако расчеты, выполненные в последние годы (Ю. Климонтович, 1984), показывают, что при переходе от ламинарного течения к турбулентному разность энтропии отрицательна:

$$S_{турб} - S_{лам} = \Delta S < 0. \quad (11.1)$$

По словам Пригожина и Стенгерс, «...переход от ламинарного течения к турбулентному есть процесс самоорганизации. Часть энергии системы, которая в ламинарном движении была тепловым

движением, преобразуется в организованное макроскопическое движение».

Подводя некоторые итоги рассмотрения эффекта Бенара, мы видим, что неравновесность позволила системе избежать тепловой разупорядоченности и трансформировать часть энергии, сообщаемой внешней средой, в упорядоченное поведение нового типа - диссипативную структуру, характеризуемую нарушением симметрии, множественными выборами и корреляциями в макроскопических масштабах. Можно сказать, что буквально на наших глазах произошло рождение сложного. Хотя достигнутая сложность имеет довольно скромный характер, однако она наделена такими особенностями, которые обычно приписывают исключительно биологическим системам. Важнее то обстоятельство, что сложность отнюдь не противоречит законам физики. Более того, она является неизбежным следствием этих законов при выполнении определенных условий.

Можно привести и другие примеры самоорганизации: функционирование лазера, реакция Белоусова-Жаботинского (БЖ) и др.

11.2. Бифуркация, нарушение симметрии, новая информация

Рассмотрим систему общего вида (изолированную или открытую диссипативную), эволюционирующую в соответствии с определенными динамическими законами. Пусть за счет каких-то механизмов она оказалась в некотором определенном состоянии $X_{ст}$, в котором она и остается впоследствии. В случае изолированной системы это состояние равновесия. В диссипативной системе оно может быть либо состоянием термодинамического равновесия, либо стационарным неравновесным состоянием.

На самом деле состояние реальных систем никогда не остается постоянным. Большинство систем контактирует со сложным и даже непредсказуемым окружением. Это окружение непрерывно обменивается с системой небольшими (реже значительными) количествами вещества, импульса или энергии, что не позволяет определить любой параметр состояния системы со сколь угодно высокой степенью точности - он всегда характеризуется *экспериментальной погрешностью и достоверной вероятностью*. Этот факт отражает вмешательство внешней среды во внутреннюю динамику системы. В результате мгновенное состояние $x(t)$ системы не совпадает со стацио-

нарным состоянием $X_{ст}$ - оно представляет собой некоторое среднее состояние:

$$X(t) = X_{ст} + x(t). \quad (11.2)$$

Величина $x(t)$ называется возмущением.

У проблемы возмущений имеется еще один аспект. Большинство систем состоит из огромного числа взаимодействующих объектов. Для таких систем переменные состояния следует понимать в статистическом смысле: это либо средние значения по мгновенным состояниям на данном временном интервале, либо наиболее вероятные значения, которые могут приниматься этими переменными. Потому в действительности регистрация мгновенного состояния показала бы наличие отклонений от таких «стандартных» значений макроскопических переменных состояния.

Такие внутренние отклонения генерируются системой спонтанно, независимо от внешней среды, и называются *флуктуациями*. Влияние флуктуаций по-прежнему описывается уравнением (11.2), но $x(t)$ теперь обусловлено внутренней динамикой системы. Обычно флуктуации возникают в виде локального маломасштабного события. Например, в какой-то малой части макроскопической системы молекулы могут иметь большую тепловую скорость по сравнению с соседями. В другом малом объеме число частиц (плотность) может быть локально повышено или понижено и т. д. Очевидно, такие события являются случайными. Иногда для обозначения флуктуаций используют термины типа «фоновый шум» или «фоновый сигнал».

Таким образом, мы принципиально обозначили причины, по которым состояние системы будет непрерывно отклоняться от стандартного состояния $X_{ст}$. Попытаемся далее выяснить, каким образом система отвечает на эти отклонения.

Мы уже подчеркивали важную роль нелинейности и внешних ограничений, управляющих поведением систем вдали от равновесия, когда при изменении управляющих параметров в системе наблюдаются многочисленные переходные явления (вспомните условия появления ячеек Бенара). Выделим теперь наиболее общие черты, присущие большому числу переходов, происходящих в разнообразных системах при удалении от состояния равновесия. Пусть, как и ранее, X - переменная состояния системы ($X = X_{ст} - x$), которая изменяется под действием управляющего (возмущающего систему) параметра λ . Вид зависимости X от λ (рис. 11.6) получил название *бифуркацион-*

ной диаграммы. Термин «бифуркация» - развилка или разделение надвое (от латинского *bi* – двойной и *furca* – развилка) – в современной научной терминологии служит для описания фундаментальной особенности поведения сложных систем, подверженных сильным воздействиям и напряжениям.

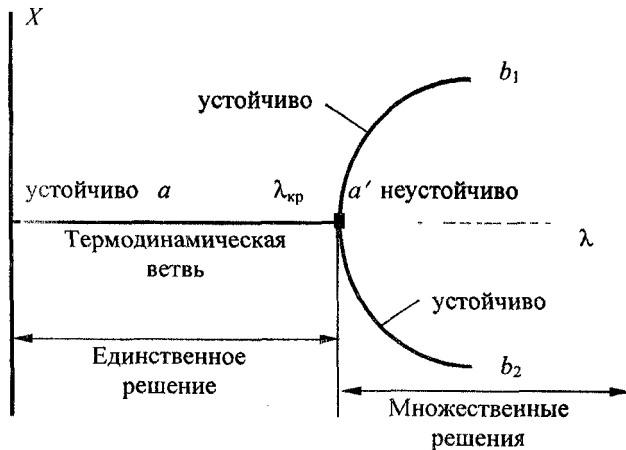


Рис. 11.6. Диаграмма бифуркации: влияние управляющего параметра λ на переменную состояния системы X

При малых значениях λ возможно лишь одно разделение a (состояние покоя в бенаровском эксперименте). Оно представляет непосредственную экстраполяцию термодинамического равновесия и, подобно равновесию, характеризуется важным свойством - асимптотической устойчивостью, поскольку в этой области система способна гасить внутренние флуктуации или внешние возмущения. Такую ветвь состояний по этой причине называют термодинамической ветвью.

При переходе через критическое значение параметра $\lambda > \lambda_{кр}$ состояния на этой ветви становятся неустойчивыми, так как флуктуации или малые возмущения уже не гасятся. Действуя подобно усилителю, система отклоняется от стандартного состояния и переходит к новому режиму (в бенаровском эксперименте - состоянию стационарной конвекции). Оба этих режима сливаются при $\lambda = \lambda_{кр}$ и различаются при $\lambda > \lambda_{кр}$. Это явление называется *бифуркацией*.

Бифуркация происходит в том случае, когда системы теряют устойчивость в окружающей среде, будучи выведенными из состояний, в которых они могли бы с комфортом пребывать практически сколь угодно долго. Легко понять причины, по которым это явление ассоциируется с катастрофическими изменениями и конфликтами. В решающий момент перехода (в окрестности $\lambda = \lambda_{кр}$) система должна совершить критический выбор: выбрать либо ветвь b_1 либо ветвь b_2 . В задаче Бенара это связано с возникновением право- или левовращательных ячеек в определенной области пространства. Решать будет лишь случай через динамику флуктуаций. Просканировав «фон», система совершит несколько попыток, поначалу, возможно, безуспешных, и, наконец, какая-то особенная флуктуация победит.

Стабилизировав ее, система превращается в своеобразный исторический объект в том смысле, что его дальнейшая эволюция будет зависеть от этого критического выбора. Отметим, что исходная картина наблюдается при биологической эволюции: мутация является аналогом флуктуации, а поиск устойчивости играет роль естественного отбора. Механическая иллюстрация бифуркации представлена на рис. 11.7. Шарик движется по впадине (ветвь a), которая в точке $\lambda_{кр}$ разветвляется и образует две новые впадины (ветви b_1 и b_2).

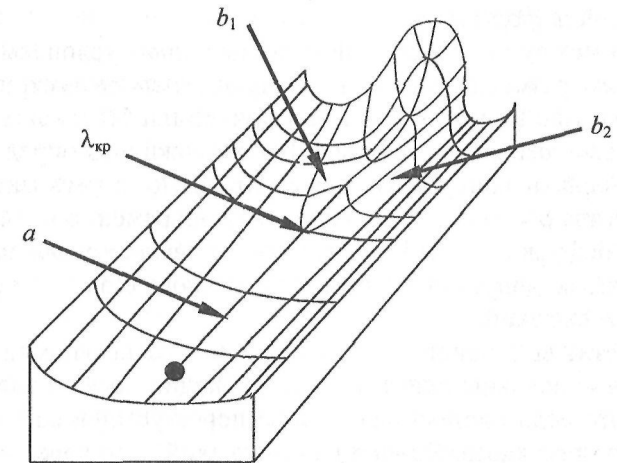


Рис. 11.7. Механическая иллюстрация явления бифуркации

Механическая иллюстрация бифуркации проста, но, как написали Пригожин и Николис, «довольно заманчиво на мгновение вообразить, что вместо шарика мог оказаться динозавр конца мезозойской эры или группа наших предков, собирающаяся принять идеографическую или символическую письменность!» [3].

Бифуркация, благодаря которой в системе появляются множественные новые решения, является источником новообразований и изменений. Исключительно принципиально, что эти решения характеризуются *нарушением симметрии*, например, возникновением правых или левых вращений в ячейках Бенара. Нарушение симметрии является проявлением внутренней дифференциации между различными частями системы или между системой и ее окружением. Этим нарушение симметрии воплощает одну из первейших предпосылок сложного поведения, которая должна быть реализована во время таких событий, как сгущение первичной материи при образовании галактик или при образовании первых живых клеток. Возникновение пространственных неоднородностей в биологической среде может дать недифференцированным клеткам в популяции возможность распознавать окружающую их среду и дифференцироваться в специализированные клетки. В свою очередь, это может позволить генетическому материалу проявить свои потенциальные возможности. Наконец, нарушение симметрии оказывается также предпосылкой создания новой *информации*.

Однако между предпосылкой и достаточным условием дистанция огромного размера. Переходы с нарушением симметрии могли бы иметь большое значение, если они приводили бы к асимптотически устойчивым решениям; имелась бы возможность определенным образом *отбирать* конкретную асимметричную форму материи из всего множества решений, становящихся одновременно возможными выше точки бифуркации: отбор позволял бы *декодировать информацию* и тем самым допускал бы переход сложного с одного уровня на другой, более высокий.

В качестве еще одного примера отбора кратко упомянем о бифуркациях в социальных системах. Бифуркационный процесс говорит о том, что если систему вывести за порог устойчивости, то она вступает в стадию хаоса. Однако динамический хаос вовсе не приводит к полной неупорядоченности, являясь переходным режимом от одного относительно устойчивого состояния к другому.

Для системы наступление хаоса не обязательно имеет роковой характер. Хаос может оказаться прелюдией к новому развитию. В жизнеспособных системах хаос придает более высокие формы порядка. Но отношение между посткризисным и предкризисным порядком никогда не бывает линейным - это не простая причинно-следственная связь. Процесс возникновения бифуркаций делает эволюцию неравновесных систем скачкообразной и нелинейной. И вследствие этого бифуркация полна неожиданностей.

Социальные, экономические, политические системы, в которых мы живем, сложны и нестабильны, рано или поздно их эволюционные пути должны претерпеть бифуркацию. Наш мир ничуть не в меньшей степени, чем мир природы, подвержен фазовым переходам. Бифуркации более наглядны, чаще встречаются и выражены более отчетливо, если системы, в которых они наблюдаются, близки к порогу своей устойчивости. Именно такое поведение отличает наши сложные общества в конце XX в.

Сами нестабильности могут быть разного происхождения: плохое применение технологических инноваций; гонка вооружений и агрессивная внешняя политика; политические конфликты; крушение локального экономико-социального порядка под влиянием участвовавших кризисов. Независимо от своего происхождения нестабильности с высокой вероятностью распространяются на все секторы и слои общества и тем самым открывают двери быстрым и глубоким изменениям.

Особенно остро эти изменения происходят в обществах закрытых, авторитарных, искусственно отделенных от мирового сообщества разного рода барьерами и запретами. Пока политическая система устойчива, а ее руководство авторитарно, репрессии и обман создают видимость стабильности. Но как только диктатура разваливается, ситуация становится взрывоопасной. Разочарование создает питательную среду для реформ, которые перерастают в переворот. Общество становится хаотическим, а его поведение - непредсказуемым. За последние 40 лет мы стали свидетелями двух гигантских волн такого рода бифуркаций, которые были инициированы глобальными изменениями, происшедшими в мире. Первая волна проходила под знаком «деколонизации», вторая - под знаком «гласности». Обе волны были провозглашены гуманистическими и характеризовались сильно запоздалыми реформами. Обе исходили из достойных всяческих по-

хвал мотиваций. Тем не менее обе волны столкнулись с неожиданными проблемами и привели к непредвиденным последствиям'. Отборы, которые состоялись при переходе точек бифуркации, в ряде случаев привели к относительно устойчивым состояниям, в свою очередь, подготавливающим новую бифуркацию. Бифуркации - неотъемлемая часть процесса развития: их нельзя предотвратить и избежать.

11.3. Идеи И. Пригожина о развитии необратимых процессов

Интересный взгляд на динамику необратимых процессов можно найти в книге лауреата Нобелевской премии, профессора Брюссельского университета Ильи Пригожина и Изабеллы Стенгерс «Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой». М., 1986. Выводы из этой книги сводятся к следующему:

1. Стрела времени проявляет себя лишь в сочетании со случайностью. Только в этом случае, когда система ведет себя достаточно случайным образом, в ее описании возникает различие между прошлым и будущим и, следовательно, необратимость.

2. Односторонне направленные во времени процессы не являются отклонениями (по Пригожину - абберациями) от мира с обратимым временем. Гораздо ближе к истине обратное утверждение: редким явлением надлежит считать обратимое время, связанное с замкнутыми системами (если таковые существуют в действительности).

3. Необратимые процессы являются источником порядка (отсюда и название книги - «Порядок из хаоса»). В системах, тесно связанных с открытостью и случайностью, необратимые процессы порождают высокие уровни организации, например диссипативные структуры. Это дает основание Пригожину и Стенгерс интерпретировать второе начало термодинамики следующим образом: «Энтропия - не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации. При определенных условиях энтропия становится прародительницей порядка».

4. Обратимость (по крайней мере, если речь идет о достаточно больших промежутках времени) присуща всем замкнутым системам, необратимость - всей остальной части Вселенной. Показывая, что при неравновесных условиях энтропия может производить не деградацию, а порядок, организацию и в конечном счете жизнь, Пригожин

и Стенгерс подрывают и традиционное представление классической термодинамики.

5. Представление об энтропии как об источнике организации означает, что энтропия утрачивает характер жесткой альтернативы, возникающей перед системами в процессе эволюции: в то время как одни системы вырождаются, другие развиваются по восходящей линии и достигают более высокого уровня организации. Такой объединяющий, а не взаимоисключающий подход позволяет биологии и физике сосуществовать, вместо того чтобы находиться в состоянии противоречий.

6. В окружающем нас мире действует и детерминизм (определенность), и случайность. Согласно теории, изменения, проистекающие из понятия диссипативных структур, когда на систему, находящуюся в сильно неравновесном состоянии, действуют, угрожая ее структуре, флуктуации (случайные отклонения), наступает критический момент. Система достигает точки бифуркации (раздвоения, разделения, разветвления). Пригожин и Стенгерс считают, что в точке бифуркации невозможно предсказать, в какое состояние перейдет система. Случайность подталкивает то, что остается от системы, на новый путь развития, а после того, как путь (один из многих возможных) выбран, вновь вступает в силу детерминизм (определенность), - так до следующей точки бифуркации. То есть случайность и необходимость выступают не как несовместимые противоположности: в судьбе системы случайность и необходимость играют важнейшие роли, взаимно дополняя одна другую. Редактор английского издания упомянутой книги Олвин Тоффер в предисловии отмечает следующий вопрос: «Если Пригожин и Стенгерс правы и случайность играет существенную роль в самой точке бифуркации или в ее ближайшей окрестности (а в промежутках между последовательными бифуркациями разыгрываются строго детерминированные процессы), то не укладывают ли тем самым Пригожин и Стенгерс случайность в детерминистическую схему? Не лишают ли они случайность случайности, отводя случаю второстепенную роль?» Пригожин и Стенгерс отвечают так: «Вы были бы правы, если бы не одно обстоятельство. Дело в том, что мы никогда не знаем, когда произойдет следующая бифуркация». Случайность возникает вновь и вновь, как феникс из пепла.

7. Подобно Ньютоновской модели, породившей аналогии в политике, дипломатии и других, казалось бы, далеких от науки сферах

человеческой деятельности, теория изменений Пригожина и Стенгерс, их методы моделирования качественных изменений позволяют по-своему взглянуть на понятие революции как структурного изменения, порождаемого суммой (или иерархией) неустойчивостей.

Пригожину и Стенгерс принадлежит оригинальная трактовка некоторых психологических процессов, например, инновационной деятельности, в которой авторы усматривают связь с «несредним» поведением (nonaverage), аналогичным возникающему в неравновесных условиях.

Еще более важные следствия теории Пригожина и Стенгерс имеет для изучения коллективного поведения. Пригожин и Стенгерс предостерегают против принятия генетических или социобиологических объяснений загадочных или малопонятных сторон социального поведения. Многие из того, что обычно относится на счет действия тайных биологических пружин, в действительности порождается не «эгоистическими» детерминистскими генами, а социальными взаимодействиями в неравновесных условиях.

Неудивительно, что экономисты, специалисты по динамике роста городов, люди, занимающиеся проблемами народонаселения, экологии, и представители других научных специальностей применяют идеи, изложенные в книге Пригожина и Стенгерс.

12. ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

12.1. Химические системы

Химической системой называется вещество или смесь веществ в определенном ограниченном объеме. Система может быть гомогенной и гетерогенной. Гомогенной называется система, обладающая на всем протяжении одинаковым химическим составом, одинаковыми химическими и физическими свойствами. Например, воздух (смесь газов), спирт и вода - гомогенные системы. Гетерогенной называется система, состоящая из двух или нескольких частей, различающихся по своим физическим или химическим свойствам и отделенных друг от друга поверхностями раздела. Например, вода и оксид алюминия - гетерогенная система. Отделенные друг от друга составные части гетерогенной системы называются фазами. Фаза, таким образом, - это гомогенная часть гетерогенной системы.

Система называется дисперсной, если в каком-либо веществе (дисперсионной среде) распределено в виде мельчайших частиц другое вещество (дисперсная фаза). Возможны следующие 9 типов дисперсных систем в зависимости от агрегатного состояния распределяемого вещества и среды (Г - газообразное вещество, Ж - жидкое, Т - твердое; первая буква относится к распределяемому веществу, вторая - к среде):

- | | | |
|--------|--------|--------|
| 1) Г+Г | 4) Г+Ж | 7) Г+Т |
| 2) Ж+Г | 5) Ж+Ж | 8) Ж+Т |
| 3) Т+Г | 6) Т+Ж | 9) Т+Т |

В зависимости от размеров распределяемых частиц различают молекулярные или истинные растворы (радиус частиц менее 0,001 мкм), взвеси (радиус частиц более 0,1 мкм), коллоидные растворы (радиус частиц порядка 0,001 - 0,1 мкм).

Молекулярным или истинным раствором называется твердая или жидкая гомогенная система, состоящая из двух или более компонентов, относительное количество которых может меняться в ши-

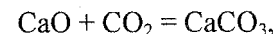
роких пределах. Это наиболее важные и чаще всего встречающиеся дисперсные системы.

Если раствор прозрачен, то взвеси - мутные. Во взвешенном состоянии в жидкости можно получить частицы твердого вещества (суспензии), жидкости (эмульсии), газа (пены). Можно получить взвеси в газах. Взвеси твердых и жидких веществ в газе называются аэрозолями. Дымы являются примерами взвеси твердых частиц в газе. Туман является взвесью жидкости в газе. Гелями или студнями называются взвеси жидкости в твердом веществе. Если дисперсная фаза представляет собой частички размером меньше 100 мкм, то энергия их теплового движения превышает силы тяготения и они подвергаются так называемому броуновскому движению, поддерживающему их во взвешенном состоянии. Энергия более тяжелых частиц не преодолевает сил тяготения и происходит их осаждение, называемое седиментацией. В технике седиментация часто служит для разделения по размерам взвешенных частиц, например, глины. Взвеси играют важную роль в природе и технике. Воды рек всегда содержат взвешенные частицы, которые, оседая в местах с замедленным течением, образуют отложения песка, глины. На различной плотности взвешенных частиц основана добыча некоторых полезных ископаемых и т. д.

Коллоидные растворы

Важным свойством коллоидных частиц является их огромная, сильно развитая поверхность, что благоприятствует поверхностным явлениям, в частности, *адсорбции*, т. е. поверхностному поглощению различных молекул, ионов. Адсорбция тем больше, чем степень дисперсности частиц больше и чем больше развита их поверхность, а также чем полярнее частицы веществ, подвергающихся адсорбции. Если коллоидом адсорбируются молекулы жидкости, то он называется лиофильным (любящим жидкость). Если жидкость не адсорбируется, то коллоид называется лиофобным (боящимся жидкости). Если дисперсная система - вода, то соответствующие названия - гидрофильный и гидрофобный. Иногда адсорбированное на поверхности вещество диффундирует внутрь сорбента (поглотителя). Такое объемное поглощение называется абсорбцией. Процессы адсорбции и абсорбции не связаны с образованием определенных химических соединений. Когда поглощение приводит к образованию химического

соединения, например, при сорбции (поглощении) углекислого газа оксидом кальция:



его называют *хемосорбцией*. Очень часто образование коллоидных частиц происходит в среде, содержащей ионы. Коллоидные частицы, адсорбируя эти ионы, приобретают заряд. Коллоидные металлы и сульфиды металлов обычно адсорбируют анионы и заряжаются отрицательно, оксиды и гидроксиды металлов обычно адсорбируют катионы и приобретают положительный заряд. Наличие одинакового заряда придает коллоидным частицам устойчивость, так как препятствует сближению их и объединению в более крупные агрегаты. Коллоидные частицы окружены в дисперсионной среде, в которой они взвешены, ионами противоположного заряда. Коллоидная частица в совокупности со всеми адсорбированными и окружающими ее молекулами и ионами носит название *мицеллы*. Важным свойством коллоидных растворов является их способность *коагулировать*, т. е. образовывать при определенных условиях осадок. Коагуляция происходит в результате лишения коллоидных частиц адсорбционной сольватной оболочки, нейтрализации заряда или химических превращений. Причины коагуляции следующие.

- Нагревание. При нагревании уменьшается адсорбционная способность коллоидов, поэтому крупные частицы, ставшие нейтральными, притягиваются друг к другу, образуя осадок.
- Действие электрического тока. Под действием электрического тока крупные заряженные коллоиды притягиваются к соответствующему (противоположно заряженному) электроду и там разряжаются; образовавшиеся нейтральные частицы притягиваются друг к другу и дают осадок. Явление разряда коллоидных частиц под действием электрического тока называется электрофорезом.
- Прибавление сильного электролита (приводит к нейтрализации коллоидных частиц).

Ценные свойства коллоидных частиц привели к широкому распространению коллоидных растворов в технике. Например, способность коллоидных частиц $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и других к адсорбции используется для удаления мути масла из воды. Гель кремниевой кислоты (силикогель) используется как хороший поглотитель бензина из нефтяных газов или как влагопоглотитель. Гидрофильный гидро-

кисл алюминия хорошо адсорбирует краски. Он применяется для обесцвечивания окрашенных жидкостей.

Кроме того, коллоидные растворы образуют высокомолекулярные соединения, размеры которых велики и отвечают коллоидным частицам.

Гидратная теория растворов Д. И. Менделеева

При растворении твердого вещества происходит разрушение кристаллической решетки и распределение молекул (или ионов) по всей массе растворителя, что требует затраты энергии. Одновременно частицы растворенного вещества, как было показано Д. И. Менделеевым, могут образовывать с растворителем определенные химические соединения - сольваты или гидраты (когда растворителем является вода). Образование сольватов обуславливается ионно-дипольным притяжением частиц растворителя и растворенного вещества. Процесс сольватации (гидратации) протекает с выделением тепла. Таким образом, общий тепловой эффект складывается из теплового эффекта собственно растворения (эндотермического) и теплового эффекта сольватации (экзотермического).

Растворы нельзя отнести к чисто механическим смесям, но они и не являются типичными химическими соединениями. Растворы являются сложными физико-химическими системами, сочетающими в себе признаки механических смесей (непостоянство состава, проявление свойств отдельных составляющих компонентов) и химических соединений (однородность растворов, наличие тепловых эффектов при растворении).

Способы выражения концентрации растворов

Основной характеристикой растворов является их концентрация, т. е. количество растворенного вещества в определенном количестве раствора или растворителя. Наиболее употребляемыми являются следующие способы выражения концентрации растворов:

- Процентная концентрация показывает, сколько граммов растворенного вещества содержится в 100 г раствора.

$$\omega = \frac{m_{\text{раств. вещ.}}}{m_{\text{раствора}}} \cdot 100\%,$$

где ω - процентная концентрация;

$m_{\text{раств.вещ}}$ - масса растворенного вещества;

$m_{\text{раствора}}$ - масса раствора.

Например, 20%-й раствор KNO_3 - это раствор, в 100 г которого содержится 20 г соли и 80 г воды.

- Молярная концентрация показывает количество молей растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора.

$$C_M = \frac{m_{\text{раств.вещ}}}{M \cdot V} \cdot 1000,$$

где C_M - молярная концентрация;

M - молярная масса растворенного вещества;

V - объем раствора (мл).

Например, раствор с молярной концентрацией 2 моль/л содержит в 1 л 2 моля растворенного вещества.

- Нормальная концентрация (нормальность) характеризуется количеством эквивалентов растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора.

$$C_N = \frac{m_{\text{раств.вещ}}}{\Xi \cdot V} \cdot 1000,$$

где Ξ - эквивалентная масса растворенного вещества.

Например, раствор с нормальностью 5н содержит в 1 л 5 г эквивалентов растворенного вещества. При приготовлении нормальных растворов сложных веществ - кислот, оснований и солей следует иметь в виду, что эквивалент кислоты численно равен ее молярной массе, деленной на основность, то есть на число атомов водорода в молекуле кислоты, способных замещаться металлами. Например, $\Xi_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{98}{2} = 49$. Эквивалент основания равен его молярной массе, деленной на валентность соответствующего металла.

Например, $\Xi_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{74}{2} = 37$. Эквивалент соли равен ее молярной массе, деленной на число атомов металла в ее молекуле и на валентность этого металла. Например, $\Xi_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{342}{2 \cdot 3} = 57$.

- Молярная концентрация показывает, сколько молей растворенного вещества содержится в 1 кг растворителя.

$$m = \frac{m_{\text{раств.вещ}}}{M \cdot m_{\text{растворителя}}} \cdot 1000,$$

где m - молярная концентрация;
 M - молярная масса растворенного вещества;
 $m_{\text{растворителя}}$ - масса растворителя в граммах.

- Мольная доля показывает отношение числа молей i -го компонента раствора к общему числу молей всех компонентов раствора.

$$N_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad n_i = \frac{m_i}{M_i}.$$

Для раствора, состоящего из двух компонентов, мольная доля первого компонента равна

$$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}.$$

Растворы ненасыщенные, насыщенные и пересыщенные

Если в раствор при данной температуре внести еще кристалл растворенного вещества и он растворится, то такой раствор называется ненасыщенным. Раствор, в котором взятое вещество даже при продолжительном взбалтывании больше не растворяется, называется насыщенным раствором при данной температуре.

Насыщенный раствор - это такой раствор, который может неопределенно долго оставаться в равновесии с избытком растворимого вещества.

Растворимостью данного вещества в данном растворителе при данных условиях называется концентрация раствора (насыщенного), выраженная в граммах растворенного вещества на 100 г растворителя или в граммах растворенного вещества на 1 л растворителя.

У большинства твердых веществ растворимость повышается с увеличением температуры и лишь у некоторых, например $\text{Ca}(\text{OH})_2$, понижается. Растворимость газов в жидкости с ростом температуры всегда понижается и повышается с ростом давления.

Так как растворимость большинства веществ уменьшается с понижением температуры, то при охлаждении горячих насыщенных растворов избыток растворенного вещества обыкновенно выделяется в виде кристаллов. Однако, если производить охлаждение осторожно и медленно, защитив при этом раствор от возможности попадания в него твердых частиц растворенного вещества извне, то выделение кристаллов может и не произойти. В этом случае получится раствор, содержащий значительно больше растворенного вещества, чем его требуется для насыщения при данной температуре. Такой раствор называется пересыщенным. В спокойном состоянии он может годами оставаться без изменений. Но если внести в пересыщенный раствор кристалл изоморфного (кристаллическое вещество, имеющее подобный состав и кристаллизующееся в одинаковой форме с близкими по величине углами между гранями) вещества или того вещества, по отношению к которому раствор пересыщен, то излишек растворенного вещества выделяется в форме кристаллов и раствор из пересыщенного становится насыщенным. Кристаллизация начинается в том месте, в котором находится внесенный кристалл, именно - на гранях внешнего кристалла (затравка).

Иногда кристаллизация начинается от простого сотрясения раствора, а также от трения стеклянной палочкой о стенки сосуда, в котором он находится.

Таким образом, пересыщенные растворы являются неустойчивыми системами. Возможность длительного существования таких растворов является трудностью первоначального возникновения центров кристаллизации.

12.2. Химическая кинетика

Химическая кинетика - это учение о скорости химического процесса (реакции). Скорость химической реакции v определяется как скорость изменения молярной концентрации одного из реагирующих веществ X в единицу времени, измеряется в молях на литр-секунду:

$$v = \frac{C(t) - C(t_0)}{t - t_0},$$

где $C(t)$ и $C(t_0)$ - молярная концентрация вещества в моменты времени t и t_0 , выраженная в молях на литр.

Скорость химической реакции зависит от концентрации реагентов, температуры, катализатора, природы реагирующих веществ. Для реакции $mA + nB = pC + qD$ скорость химической реакции определяется уравнением:

$$v = k \cdot [A]^m \cdot [B]^n,$$

где $[A]$, $[B]$ - молярные концентрации реагентов;

k - константа скорости реакции, которая зависит от температуры и природы реагирующих веществ, но не зависит от их концентрации.

Зависимость скорости реакции от концентрации определяется законом действия масс: «скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях их стехиометрических коэффициентов». Зависимость скорости реакции от температуры выражается правилом Вант-Гоффа: «При повышении температуры на каждые 10°C скорость реакции возрастает в 2-4 раза».

Правило Вант-Гоффа отображается значением температурного коэффициента γ , равного отношению скоростей реакции при температурах T и $(T + 10)$:

$$v_{(T_2)} = v_{(T_1)} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}.$$

Законы химической кинетики широко используются в производственных процессах (патенты И. С. Масленниковой).

Большинство химических реакций являются обратимыми: в зависимости от внешних условий они более или менее интенсивно протекают в двух противоположных направлениях.

Например: $\nu_1 \cdot A_1 + \nu_2 \cdot A_2 \leftrightarrow \nu_3 \cdot A_3 + \nu_4 \cdot A_4$.

Скорость прямой реакции $\xrightarrow{v} = k \cdot [A_1]^{\nu_1} \cdot [A_2]^{\nu_2}$.

Скорость обратной реакции $\xleftarrow{v} = k \cdot [A_3]^{\nu_3} \cdot [A_4]^{\nu_4}$

$\xrightarrow{v} = \xleftarrow{v}$ - состояние химического равновесия.

Химическое равновесие - состояние обратимой реакции, когда скорость прямой и обратной реакции равны между собой. Химическое равновесие - состояние динамическое, реакция не прекращается; скорость изменения концентраций исходных веществ в единицу

времени равна скорости изменения концентраций образующихся веществ в единицу времени. Таким образом, с наступлением химического равновесия концентрации участников реакции (реагентов и продуктов) приобретают постоянное значение и не изменяются с течением времени, если не меняются условия протекания реакции. Эти неизменные концентрации называются равновесными концентрациями.

$$\xrightarrow{K} \cdot [A_1]^{\nu_1} \cdot [A_2]^{\nu_2} = \xleftarrow{K} \cdot [A_3]^{\nu_3} \cdot [A_4]^{\nu_4},$$

$$K = \frac{\xrightarrow{K}}{\xleftarrow{K}} = \frac{[A_3]^{\nu_3} \cdot [A_4]^{\nu_4}}{[A_1]^{\nu_1} \cdot [A_2]^{\nu_2}},$$

где K - константа равновесия.

Константа равновесия - отношение произведения концентраций продуктов в степенях их стехиометрических коэффициентов к произведению концентраций реагентов в степенях их стехиометрических коэффициентов.

Влияние внешних условий на состояние химического равновесия описывается принципом Ле Шателье: если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказать какое-либо воздействие, то равновесие сместится в сторону реакции, уменьшающей оказанное воздействие.

1. Увеличение концентрации исходных реагентов и уменьшение концентрации образующихся приводит к смещению равновесия вправо и наоборот.

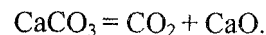
2. Повышение температуры приводит к смещению равновесия в сторону эндотермической реакции.

3. Повышение давления приводит к смещению равновесия в сторону меньшего числа молекул (только для замкнутой газообразной системы, реакция в которой сопровождается уменьшением числа молекул).

12.3. Энергетика химических процессов

Химические реакции и процессы протекают с выделением или поглощением энергии. Экзотермические реакции идут с выделением энергии в виде теплоты. Существуют реакции, протекающие с по-

глошением теплоты. Они называются эндотермическими. Пример: если нагревать жемчуг или мел (для химика это одно и то же: оба вещества представляют собой карбонат кальция CaCO_3) до температуры выше 800°C , то он начинает разлагаться на диоксид углерода (углекислый газ) и оксид кальция:



Однако, если прекратить поток тепла, то и реакция прекратится - разложение карбоната кальция идет с поглощением тепла. Все сказанное не противоречит законам термодинамики: в случае горения энергия высвобождается одновременно с уменьшением внутренней энергии системы. Разложение жемчуга связано с повышением внутренней энергии системы, что невозможно в соответствии с первым началом термодинамики без притока тепла.

Измеряя количество энергии, выделяющейся при реакции (тепловой эффект реакции), можно судить об изменении внутренней энергии системы. Тепловой эффект реакции измеряют в СИ в килоджоулях на моль (кДж/моль), иногда используют внесистемную единицу ккал/моль.

Частным случаем первого начала термодинамики является закон Гесса¹.

Этот закон гласит:

Тепловой эффект реакции зависит только от начального и конечного состояния веществ и не зависит от промежуточных стадий процесса.

Например, диоксид углерода можно получить:

1) либо прямым сжиганием графита (т. е. угля):



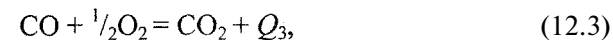
где Q_1 - тепловой эффект первой реакции;

2) либо промежуточным получением оксида углерода (угарного газа) с последующим его сжиганием:



где Q_2 - тепловой эффект второй реакции;

¹ Герман Иванович Гесс (1802-1850) - русский химик, профессор Петербургского педагогического института.



где Q_3 - тепловой эффект третьей реакции.

Сумма тепловых эффектов второй и третьей реакции по закону Гесса должна равняться тепловому эффекту первой реакции:

$$Q_2 + Q_3 = Q_1.$$

Закон Гесса позволяет вычислить тепловой эффект реакции в тех случаях, когда его непосредственное измерение почему-либо неосуществимо. Например, определить величину Q_2 очень трудно, потому что при сгорании графита даже в ограниченном количестве кислорода получается смесь оксида и диоксида углерода. Однако величину Q_2 легко вычислить, зная значения Q_1 и Q_3 , которые определяются опытным путем:

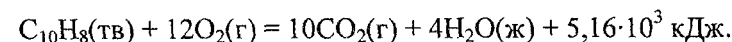
$$Q_2 = Q_1 - Q_3.$$

Из закона Гесса вытекает следующее общее положение.

Тепловой эффект химической реакции равняется сумме теплот образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования исходных веществ с учетом знаков тепловых потоков. Суммирование производится с учетом числа молей, участвующих в реакции, т. е. с учетом стехиометрических коэффициентов в уравнении протекающей реакции.

Если теплота образования какого-либо вещества из простых веществ не получена экспериментально, то для расчета теплот образования можно использовать значение $Q_{\text{обр}}$ ряда других соединений и, комбинируя их, получить $Q_{\text{обр}}$ искомого соединения.

Например, определим теплоту образования нафталина C_{10}H_8 , если при сгорании 1 моля нафталина до CO_2 и жидкой воды H_2O выделилась теплота $5,16 \cdot 10^3$ кДж.



В соответствии с законом Гесса тепловой эффект данной реакции будет равен:

$$Q = \sum \nu_i Q_{\text{обр.прод}} - \sum \nu_k Q_{\text{обр.исх}}, \quad (12.4)$$

где $Q_{\text{обр.прод}}$ и $Q_{\text{обр.исх}}$ - теплоты образования продуктов реакции и исходных веществ соответственно;

ν_i и ν_k - стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции.
По справочным данным, $Q_{\text{обрCO}_2(\text{г})} = 394$ кДж/моль; $Q_{\text{обрH}_2\text{O}(\text{ж})} = 286$ кДж/моль; $Q_{\text{обрO}_2} = 0$ кДж/моль.

Тогда, подставив эти числа в выражение (4), получим:

$$Q = 5160 \text{ кДж/моль} = 10 \cdot 394 + 4 \cdot 286 - 12 \cdot 0 - X.$$

X - теплота образования нафталина.

Следовательно:

$$X = Q_{\text{обр.C}_{10}\text{H}_8} = 10 \cdot 394 + 4 \cdot 286 - 5160 = -76 \text{ кДж/моль}.$$

Теплоты образования многих соединений известны с большой точностью. В прил. 7 приведены значения теплоты образования при стандартных условиях для некоторых веществ. Пользуясь этими данными, на основании закона Гесса можно рассчитать тепловые эффекты для многих реакций.

13. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

13.1. Основные отличия живого от неживого

Биология - позднее дитя мировой науки, ее взлет начался в XIX в. и продолжается до сих пор. Биологический уровень организации материи очень сложен, он полностью не сводится к закономерностям физики и химии, имеет отличительные свойства. Принципы живого нельзя полностью вывести из принципов неживого, но пока человек разумный обходится тем, чем располагает. Особенности биологического уровня организации материи предопределены атрибутами живого в отличие от неживого.

Жизнь - это активное, идущее с затратами энергии поддержание (за счет постоянного обмена веществ с окружающей средой) и матричное воспроизведение специфической и упорядоченной структуры. В неживом обмен веществ со средой практически отсутствует, здесь происходит лишь трата накопленной энергии, т. е. своеобразная «работа на износ», «любой ценой», так как нет оперативного простора для регуляции процессов (закон максимума). В живом все подчинено закону оптимума (более того, большинство ферментов в живых клетках работают в норме, в состоянии покоя, «вполсилы», менее 5-10% от максимума, при этом создается оперативный простор для саморегуляции). В неживой материи процветают стандарт и одинаковость функций; все живое - полифункционально, неживое - монофункционально. Живые системы в отличие от неживых обладают высокой степенью сложности, динамической упорядоченности и иерархичности своей структуры, неоднородностью в пространстве; энергия из окружающей среды используется в живых системах не только для поддержания, но и для упорядоченности. Максимум упорядоченности в неживом - это застывшая упорядоченность кристалла; оптимум упорядоченности в живом - паракристаллические структуры надмолекулярных образований, например, хромосомы, мембраны клеток, когда частица в них правильно расположена в двух измерениях, а в третьем измерении эти частицы могут занимать са-

мое различное положение. Неживое - это неупорядоченная смесь простых химических соединений.

Живые системы в отличие от неживых активно реагируют на среду окружения (движение, питание, рост, приспособление, размножение, возбудимость, ответная реакция на внешние раздражители), развиваются с элементами новизны, способны размножаться, воспроизводиться (наследственность), обладают памятью, способны хранить, перерабатывать и передавать информацию; приспособляются к своей среде (адаптация). Главное свойство живой системы - поддержание своей целостности и воспроизведение себе подобных согласно вложенной в нее программе, реплицирующейся матричным способом (генетическая программа не возникает заново). Неживая материя не способна к точному самовоспроизведению, дублированию, размножению. Задача живого - сохранить себя в мире; все созданные резервы, используемые в критических ситуациях, идут в дело, даже если они не понадобились для той цели, для которой были созданы. Живой организм сохраняет себя, извлекая из пищи не столько энергию, сколько информацию (отрицательная энтропия). Если неживые системы функционируют вблизи от равновесия, то живые - вдали от равновесия за счет использования внешней энергии (солнечная энергия, пища). Живые системы обладают ярко выраженным дуализмом (например, естественный отбор - детерминизм, необходимость, определенность, а мутации - случай).

Неживой мир удивительно симметричен (законы сохранения энергии, количества движения, электрического заряда - строгие следствия симметрии). Нередко нарушения симметрии в квантовой физике элементарных частиц - это проявление более глубокой симметрии. Жизнь - есть планомерное нарушение симметрии. Асимметрия является структурообразующим и созидующим принципом жизни. В живых клетках функционально-значимые биомолекулы асимметричны: белки состоят из левовращающих аминокислот (*L*-форма), а нуклеиновые кислоты содержат в своем составе, помимо гетероциклических оснований, правовращающие углеводы-сахара (*D*-форма), кроме того, сама ДНК - основа наследственности - является правой двойной спиралью. При химическом синтезе белков или Сахаров получаются рецематы (смесь *L*- и *D*-форм в отношении 1:1). Хиральная чистота биосферы абсолютна, в неживой природе все оп-

тически активные вещества присутствуют в рацемической смеси. В последние годы получены доказательства функциональной асимметрии головного мозга человека. Следует иметь в виду, что обратимость есть синоним симметрии.

Статистико-вероятностный характер причинно-следственных связей - это сфера высших форм жизни (разума). Случайный выбор при достаточно частом повторении сходных ситуаций обеспечивает человеческому обществу наиболее полный охват возможных путей к оптимальному решению и сведению к минимуму ошибок. Случайность выбора - важная характеристика разума. Для людей общение происходит на частотах от 10^{-1} до 10^6 Гц («общение» между элементарными частицами происходит на частотах $10^{20} \div 10^{27}$ Гц). В замкнутой изолированной системе энтропия возрастает. Вся энергия неживой, изолированной системы, генерируемая для производства полезной работы, в конечном счете диссипирует, рассеивается в виде тепла. Замкнутая система необратимо и самопроизвольно стремится к равновесию или деградирует в направлении выравнивания энергии до состояния однородности или симметрии (что равнозначно смерти). Живое - это открытая, неравновесная система, где для сохранения упорядоченности энтропия падает до минимума, используя внешний поток энергии (живые системы негэнтропийны). Живые системы находятся в неравновесном, но стационарном состоянии (устойчивое неравновесие или «текущее равновесие»).

Неживые системы знают только разрушение (естественная смерть как равновесие со средой), смерть у живых организмов, как недавно выяснено, генетически запрограммирована. У неживого нет перспективы эволюции, ибо система лишена возможности вероятностного выбора. Неживое исчезает монотонно, живое исчезает многостадийно, испытывая факторы изменения (эволюции) и созидания (творчество, поиски новизны, в том числе и непрерывное образование новых живых систем). В неживых системах действуют законы необратимости, живой организм устойчив за счет обратимости процессов, действия прямых и обратных связей. У неживого в идеале - путь к деградации и вырождению, у живого в идеале (для разума) - путь к самоосмыслению самого себя. В неживой природе динамическое равновесие ничем не ограничивается, в живой природе существует гомеостаз - устранение или максимальное ограничение факто-

ров внешней и внутренней среды, нарушающих динамическое равновесие в организме (или устойчивое неравновесие). Устойчивость, стабильность живого, наличие гомеостаза реализуется за счет гигантской системы положительных и отрицательных обратных связей (в неживой природе обратные связи практически отсутствуют, там царствуют прямые связи). Обратные связи порождают естественный отбор, их возникновение тождественно возникновению жизни, целесообразному поведению живых систем. У всех законов физики стохастическая (случайная) основа и закономерности пробиваются сквозь стохастичку, например, из хаоса гигантского числа молекул рождается диффузия (результат огромного количества случайностей). Законы природы - это принципы отбора, которые ограничивают стохастическую индивидуальность. В живых системах упорядоченность диктуется очень малой группой биомолекул.

Для неживого характерна инволюция (обратная эволюция: от сложного к простому). По мере возрастания хаотичности движения молекул физического тела возрастает энтропия и степень дезорганизованности - снижение количества информации; когда порядок и информация исчезают, энтропия стремится к максимуму. Для живого характерна прямая, т. е. прогрессивная эволюция, сочетающая непрерывность и скачки: «от амёбы - к слону», от простого к сложному. Статистические законы живого препятствуют движению эволюции «от слона - к амёбе» и способствуют образованию все более сложных организмов. Любое упрощение структуры снижает вероятность выживания и продолжения рода. По мере упорядоченности и сложной организации происходит снижение энтропии и увеличение количества информации. В принципе, эволюция неживого повторима и обратима (обратимость - синоним симметрии времени), эволюция живого неповторима и необратима (необратимость - синоним асимметрии времени). Эволюция неживого вследствие тотальности проявляется главным образом для всей системы. Эволюция живого вследствие избирательности может проявляться как для каждой конкретной клетки, так и для организма.

В неживом элементы системы, находящейся в термодинамическом равновесии, независимы друг от друга. В живом важны функциональные связи зависимых друг от друга элементов системы целого. Неживое не «помнит» об условиях своего возникновения. Любая живая система «помнит» внешние условия своего возникновения,

т. е. структурная организация живого не случайна. У неживого нет собственной истории в развитии. Живые организмы - вместилища истории, за счет существования генетической программы саморазвития и накопления жизненного опыта. Живая система имеет внутреннюю логику саморазвития, способна к непредсказуемой истории развития. Целостность и историчность развития - характеристика жизни. Эволюция живого (особенно разумной жизни) - это эволюция маловероятного. Если неупорядоченность и организация неживого нарушается случайными тепловыми флуктуациями, то высокая упорядоченность и организованность независима от случайных флуктуаций. Относительная роль флуктуаций в живом возрастает со снижением степени сложности его построения. Для неживого флуктуации приходят и уходят без их запоминания. Для живого случайные, но целесообразные флуктуации закрепляются и запоминаются. Живые системы малочувствительны к температуре окружающей среды. Скорости химических и биохимических реакций с повышением температуры возрастают, как правило, экспоненциально. В неживом состав молекул статичный, в живом - динамичный. Живые организмы «индивидуальны» в пространстве и времени, они все время меняются, стареют. Молекулы неживого в большей массе своей инертны. Для неживого характерен весь спектр химических элементов. Биомолекулы реакционноспособны, они состоят преимущественно из пяти легких химических элементов (С, Н, О, N, Р). Единицей неживого является молекула, единицей живого - клетка. Нет живых биомолекул, есть живая клетка. Внешняя среда действует на неживое непосредственно, а на живое опосредственно - внутренне (мутации) и внешне (естественный отбор). Неживое сосуществует с внешней средой через физико-химические процессы, самоотождествляясь с этой средой. Основная функция живого - освоение внешнего мира. Неживое - это сообщество частных, живое - сообщество целого, где целое дифференцируется в новые структуры, а части специализируются и автономизируются. Дифференциация и специализация - спутники живого, но целое не расчленено на части, а развивается как их единство (И. И. Шмальгаузен).

В живых клетках главным поставщиком внутренней энергии является молекула АТФ (аденозинтрифосфорная кислота), которая участвует в синтезе новых молекул углеводов, жиров и белков (рис. 13.1).

сферы в ноосферу как форму овеществления духа. Основные свойства неразумной жизни - жизнь как существование; ощущение и зачатки памяти, отсутствует ощущение смерти, времени, двойственное поведение (по типу «да - нет»), стремление обрести душу. Основные свойства разумной жизни - сознание, память, творческая и созидательная активность, личный выбор, стремление к свободе духа, ощущение смерти и трагичности своего существования, ощущение времени, асимметричное, троичное мышление (по типу «да - нет», «и то, и другое»). Для различных форм жизни соотношение стохастичности и детерминации гораздо больше $1/4$. Анализ эволюции языка разумной жизни показывает, что соотношение энтропии к накопленному информации равно $1/4$ (80% общего количества информации в тексте - это балласт, избыточная информация, 20% приходится на новую, непредсказуемую информацию). В живых разумных системах всякая новая информация никак не приближает язык к состоянию полной детерминации, ибо соотношение стохастичности и детерминации в текстах остается примерно равным $1/4$.

У высших животных есть зачатки функциональной асимметрии мозга, у человека же таковая предопределяет различные формы сознания и мышления. Неразумная жизнь инстинктивно стремится к смерти, разумная к бессмертию. Неразумная жизнь может подчиняться законам физики и химии, энтропийности природы, разумная - не подчиняется таковым. Все живое, включая и человека, определяется генетическим кодом, механизм которого уже известен. Разумная жизнь определяется космическим кодом, кодом духа, механизм которого пока неизвестен. Биологическая форма жизни у человека дополняется, кроме того, социальной и духовной жизнью. Биологические механизмы адаптации могут быть лишними для цивилизованного человека. Человек живет в обществе как «человек», но управляет своим организмом «как животное». У различных форм жизни отсутствует вероятностное прогнозирование (зачатки такого прогнозирования есть только у высших животных). Разумная жизнь отличается целеполаганием, предвосхищающей моделью поведения, обработкой внешней информации и управлением поведения. Интересно, что осознание себя в зеркале практически отсутствует даже у высших животных. Осознание себя в зеркале - критерий сознания, самоидентификации личности. Внешнее управление соизмеримо с внутренней сложностью живой неразумной системы, для которой некоторая

предсказуемость поведения системы соотносится с терпимостью к управлению над собой. Внутренняя сложность разумной системы превышает сложность управления, что делает разум непредсказуемым. Избыточность организации может изнутри разрушать систему. Нетерпимость к управлению «над собой», «добровольное и потенциальное сумасшествие» (Н. Е. Клименко, 1994) - отличительные черты разума. Для жизни характерна медленная эволюция, где движущая сила - избыточность генома. Для разума характерна сверхбыстрая эволюция. Человек сотворен очень быстро по меркам эволюции и теперь приходится самому человеку усовершенствовать себя. Мы лишь на 5-7% используем в своей жизни генетический запас ДНК мозга, т. е. у нас еще все впереди, мы все еще дети Галактики. Негативы сверхбыстрой эволюции: человеческий род 3-4,5 млн лет - в лесу, 3 тыс. лет - в поле, 300 лет - на заводе, 30 лет - у компьютера, а мозг не меняется. К фактам аномальности сверхэволюции можно отнести функциональную неустойчивость центральной нервной системы, инертность поведения, разброс вариантов нормального поведения, несогласованность в работе сигнальных систем, интенсивный культ неврозов и истерий, прекращение естественного отбора в развитии нервной системы человека; максимальное развитие внешней, сенсорной системы регуляции на фоне минимального развития системы внутреннего, вегетативного регулирования.

13.3. Основные принципы биологии. Эволюция: изменчивость, наследственность и естественный отбор

Все многообразие живых существ на Земле подчинено строгой иерархии: гены (вирусы, бактериофаги как формы преджизни) - клетки - ткани - органы - организмы - популяции - сообщества - экосистема (биоценоз) - биосфера. Различают 5 основных типов живых организмов:

- 1 - одноклеточные прокариоты, просто устроенные, без ядра (бактерии, сине-зеленые водоросли);
- 2 - одноклеточные эукариоты, сложно устроенные, с ядром и хромосомой;
- 3 - грибы;
- 4 - растения;

5 - животные (позвоночные и беспозвоночные).

Существуют до 10 млн разных видов живых существ. Вид - это группа организмов, которые обычно скрещиваются друг с другом, но не скрещиваются с представителями других таких групп. Многообразие есть форма устойчивости жизни. У всех организмов есть общие черты - уникальное и универсальное клеточное строение.

Существуют три основных механизма биологической эволюции - естественный отбор, наследственность и изменчивость.

Естественный отбор - отбраковка нежизнестойкого. За счет этого обеспечивается приспособляемость видов к конкретным условиям среды и создаются новые виды. Результатом естественного отбора является внутривидовая и межвидовая конкурентная борьба за существование (принцип «выживает сильнейший»). Во всех популяциях существует изменчивость. В борьбе за существование те особи, признаки которых наилучшим образом приспособлены к условиям жизни, обладают репродуктивным преимуществом и производят больше потомства, чем менее приспособленные, слабые особи.

Естественный отбор усиливает успех размножения, а не просто выживание. Происходит отбор особей, которые передадут свои гены последующим поколениям. Выживание важно потому, что только живые организмы могут воспроизводить себя, но даже воспроизведение не гарантирует успеха в эволюции. Условия среды, в которой обитают организмы, постоянно изменяются, и какими бы ни были эти условия, отбор благоприятствует лишь очень немногим генам. Ген, сохраняемый отбором в данное время или в данной среде, подвергается отрицательному отбору в другой среде, и таким образом популяция сохраняет генетическую изменчивость. Надо учитывать, что нередко данной особи селективно выгодно производить разнообразных в генетическом отношении потомков; это повышает вероятность того, что некоторые из них выживут, какими бы ни оказались условия среды. Естественный отбор может как повышать генетическую изменчивость, так и понижать ее; но в конечном итоге популяция, обладающая некоторым генетическим разнообразием, имеет больше шансов выжить, чем популяция, лишенная его.

Изменчивость - это принцип усиления эволюции, когда естественный отбор должен вести к прогрессивной эволюции (от амёбы к обезьяне). Изменчивость (единичные и случайные наследственные

изменения) возникают в результате спонтанных изменений в генах или под влиянием внешних факторов. Однако число изменений в ходе эволюции ограничено, изменения идут в определенном направлении, при этом необязательны спонтанные изменения. Изменчивость как фактор эволюции - фактор случайности, когда независимо от своей генетической программы особи могут погибнуть или оставить потомство. Этот фактор имеет значение для малых популяций, где наблюдается ошибка выборки, генетический дрейф, когда частоты некоторых генов могут внезапно и резко изменяться за одно или несколько поколений. Изменчивость обусловлена генетически за счет половой рекомбинации (перетасовок генов) и за счет мутаций.

В кратком изложении законы генетики таковы. Наследственные признаки передаются по наследству как некие дискретные единицы (гены). Гены - отдельные минимальные участки молекулы ДНК, находящейся в хроматине ядра. Гены кодируют определенные функционально-значимые белки (один ген - один белок или один фермент). На заре биологии существовала теория слитной наследственности (широкий диапазон непрерывной изменчивости). Гены могут объединяться в индивидууме, возникающем в результате оплодотворения, но затем расходятся (расщепляются), так что в репродуктивную клетку поступает для передачи следующему поколению либо один, либо другой ген. Генетические детерминанты сохраняют свою целостность на протяжении многих поколений. Механизмы деления и соединения хромосом обеспечивают определенную статистическую правильность распределения наследуемых черт. Если контрастирующие гены какого-либо признака присутствуют у гибридных индивидуумов, то один из них может проявиться (доминировать) у данного индивидуума и замаскировать (рецессивировать) присутствие своего партнера (отсюда понятие доминантный и рецессивный ген). Доминантные гены унаследованы только от одного родителя, рецессивные гены могут быть унаследованы от обоих родителей. Гены наследуются независимо друг от друга и не сливаются у потомков. Разные пары генов подчиняются закону независимого распределения. Половые гормоны влияют на экспрессию (проявление) генов.

Генная инженерия - это новая биотехнология как развитие методов введения в клетку желательных для нас генов (или генного материала). Отсюда открывается путь для создания младенцев в про-

бирке, лечения генетических болезней (при введении в яйцеклетку человека или же в зародыш), для эффективного синтеза белковых гормонов, необходимых для медицины (например, введение генов высших организмов в форме плазмиды - кольцевой ДНК в бактериальную клетку для синтеза инсулина, необходимого для лечения диабета). Новый ген перед делением клетки реплицируется вместе с бактериальной ДНК, и бактерия получает возможность синтезировать «чуждый» ей белок, кодируемый ее новой ДНК. Опыты по генной инженерии должны проводиться при особом социальном контроле, чтобы исключить возможность сознательного получения новых и опасных бактерий.

Эволюция шла от бесплодного (у некоторых растений) к половому размножению (у животных), в последнем случае изменчивость у потомков выражена гораздо сильнее (за счет перестановки генов).

У вирусов, бактерий существует одна молекула ДНК, с усложнением организмов у эукариот в ядре находится больше чем одна ДНК - в хромосомах. У млекопитающих каждая хромосома содержит одну молекулу ДНК, у высших растений в хромосоме могут быть десятки идентичных копий ДНК (избыточность). В мини-объеме хромосомы длинная полимерная молекула ДНК определенным образом упорядочена и свернута. При образовании половых клеток хромосомы не делятся, а расходятся в дочерние клетки, так что получаются гаметы с половинным (гаплоидным) набором хромосом. У человека, например, в нормальных клетках 46 хромосом, а в яйцеклетках и спермиях - 23. При слиянии гамет диплоидный набор хромосом восстанавливается. При таком процессе генетическая информация не изменяется, меняется только ее количество.

Мутации - случайны, неприспособительны, непредсказуемы, ненаправленны, т. е. изменяют генетическую программу без учета содержания сохраняющейся в ней информации. Факторы мутации - резкие изменения температуры, *РН* во внеклеточной среде, действие ультрафиолета (УФ), радиации, реакционноспособных химических веществ (мутагенов), вирусы. При больших дозах УФ ведет себя как мутаген, при малых - как волновой сигнал, действующий на ДНК, включающий или выключающий те или иные гены (ДНК - приемник УФ-излучения). Характер мутаций: разрыв в цепи, «выпадение» нуклеотидных оснований в молекуле. Ткани способны восстанавливать повреждения через систему репарации ДНК, этому также помогают

слабые дозы УФ. В результате мутаций могут возникать ошибки в репликации, в спаривании оснований (помимо образования пар А-Т и Г-Ц, см. далее). Лишь случайно некоторые мутации могут быть приспособительными. Учитывая очень малые размеры хроматина и плотноупакованной молекулы ДНК (менее 10^{-7} см), действие физических мутагенов объясняется квантово-механическими процессами. Есть точка зрения (Ламарк, Л. Берг), что эволюция не основана на случайных изменениях при мутагенезе, что она изначально целесообразна и приспособительна (телеологическая гипотеза направленной эволюции). В жизни организмов мутации наблюдаются все же редко. Генетические программы, заложенные в каждом из нас, чрезвычайно помехоустойчивы. Недаром молекула ДНК в хроматике одета защитной шубой - гистоновыми белками. Но есть и более важный способ борьбы с помехами - это дубликация (повторение). У каждого из нас в клетках по два генных набора, от отца и от матери. Если в одном из них произошла мутация по важному гену, мы можем этого и не заметить: ген второго набора компенсирует мутацию, и она в фенотипе не проявится (вероятность этого повышается лишь при близкородственном скрещивании), но только до тех пор, пока оба одинаково поврежденных гена не встретятся в одной оплодотворенной яйцеклетке. Кроме того, сам механизм кодирования аминокислот тройками нуклеотидов очень помехоустойчив (во многих случаях смысл триплета не изменяется).

Случайные изменения генетической программы при становлении фенотипов многократно усиливаются и подвергаются естественному отбору («демон Дарвина») условиями внешней среды. Упорядоченный процесс отбора фенотипов снимает возможные недостатки случайного (стохастического) мутагенеза. Генетическая рекомбинация - обмен частями генетических программ, этот процесс развился на стадии репарации ДНК. У человека в норме 46 хромосом, из них две половые, остальные 44 идентичны у обоих полов. 23 хромосомы человек получает от отца, 23 - от матери, а каково сочетание отцовских и материнских хромосом в яйцеклетке или спермии - это дело случая. Перед наступлением полового процесса происходит мейоз - редукционное деление. Хромосомы при этом не делятся, а расходятся по клеткам, из которых потом формируются половые.

Наследственность в живых системах точная на все 100% редупликаций. Все живые организмы обладают единством генотипа (ге-

нетической программы) и фенотипа (построение собственного организма на основе генотипа). Существует принцип раздельного копирования при совместном существовании генотипа (основа - ДНК) и фенотипа (основа - белки). Фенотип не может воспроизводиться без генотипа, и наоборот. Фенотип возникает на программе генотипа, заодно копируя генотип для будущего поколения. Смысл наследственности состоит в матричном копировании. В роли матрицы выступают не белки (они плохие матрицы), а нуклеиновые кислоты (ДНК), за счет образования устойчивых, комплементарных пар оснований нуклеотидов: аденин-тимин (аденин-урацил для РНК), гуанин-цитозин (для ДНК и РНК). ДНК построена из четырех нуклеотидов, при этом из единичной цепи ДНК в хроматине точно (практически без дефектов) синтезируется вторая спираль спиральной структуры ДНК для передачи наследственной информации из поколения в поколение. Двойная спираль ДНК - негатив + позитив. В механизмах наследственности во всей Вселенной главное не материальный субстрат, а матричный принцип его синтеза. В химическом коде ДНК - 64 «буквы», число сочетаний из четырех оснований нуклеотидов в ДНК по 3 кодона, 1 триплет (кодон) кодирует одно аминокислотное звено полипептидной (белковой) цепи, состоящей из 20 природных аминокислот. Код универсален у всех организмов, он не перекрывается. Многие аминокислоты кодируются более чем одним кодоном (надежность передачи информации). В химическом коде некоторые триплеты выполняют функцию стоп-сигнала, определяя конец и начало нового предложения. Центральная догма молекулярной биологии - формирование трехмерной белковой глобулы (спирали) из первичной аминокислотной последовательности - выглядит так:



Первая реакция репликации, репарации (молекулярного размножения) протекает в ядре, где происходит и процесс транскрипции (переписывания) кода ДНК в код матричной РНК, которая далее переходит в цитоплазму клеток, где затем наступает процесс трансляции (перевода) информации кода мРНК на язык аминокислотной последовательности вновь образуемого белка, этот процесс необратим (рис. 13.2).

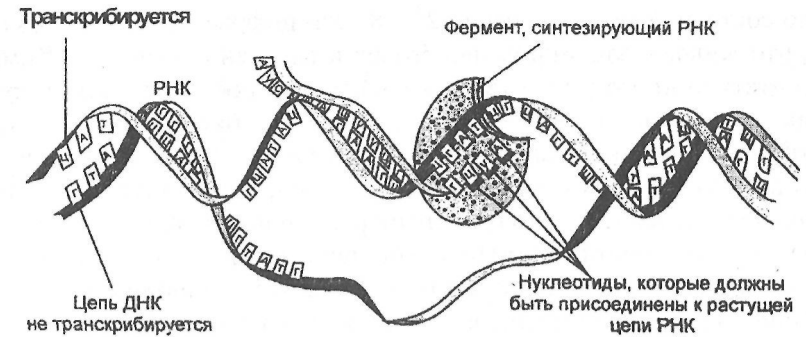


Рис. 13.2. Синтез РНК на ДНК-матрице

Язык генома жестоко однозначен, в нем нет места для неоднозначности, метафоричности, неопределенности. Информация, закрепленная в генотипе, избыточна (двойной набор хромосом в оплодотворенной яйцеклетке). В генотипе нужно кодировать только последовательность аминокислот, все остальное возникает при развитии организма само. Структура фенотипа также информационно избыточна. В генотипе закодирована серия инструкций (первичная структура белка, очередность и интенсивность их синтеза) по созданию фенотипа (самосборка на уровне частей клетки, клеток, тканей и органов). ДНК в геноме млекопитающих хватает для синтеза 3-6 млн различных белков, а в жизни нужно 50 тыс. (максимум не более 100 тыс.). Фенотип гораздо беднее генотипа. Мы храним в своих генотипах информацию о строении многих фенотипов своих предков - близких и далеких. В генотипе скрыта информация об эволюции живого на Земле. Мы носим информацию о жизни на Земле в самих себе.

Каждый вид содержит свой набор белков и нуклеиновых кислот. Всего существует около 10 млн видов живых существ; все эти виды, вместе взятые, должны содержать по минимуму 10^{11} различных белков и почти столько же различных нуклеиновых кислот. В мозге человека число нейронов 10^{11+12} , число контактов-синапсов - 10^{13+14} . Число звезд во Вселенной меньше, чем количество синапсов в мозге человека. Учитывая парность контакта, число функциональных состояний в мозге равно $2^{10^{13+14}}$, что гораздо больше всех элементарных частиц во Вселенной. Если бы в мозге было всего 3 синапса, то

число состояний было бы равно $2^3 = 8$. Эти цифры еще раз говорят о том, что живое - это мир разнообразия и высшей сложности. Химики-синтетики не могут синтезировать все многообразие биомолекул, однако для живых клеток - это «просто». Все биомолекулы и биоструктуры - как ни странно - состоят из химических простых органических молекул, их природных соединений, практически не встречающихся в неживой природе. Специфика природных биомолекул - в последовательности мономеров в биополимерах (белках, нуклеиновых кислотах, полисахаридах, и пр.). Биосинтез биополимеров - это реакция сополимеризации из минимального числа простых мономеров (20 аминокислот, 4 нуклеотида, более 10 сахаров-углеводов). Число сочетаний в биополимерах даже в первичной структуре (последовательности букв-мономеров в линейном ряду) измеряется чрезвычайно большими цифрами.

Структура нуклеиновых кислот и белков, а также их функции одинаковы во всех организмах - от микроорганизмов до животных и человека, что означает, что живые организмы возникли от общего предка, что возникновение жизни на Земле уникально, специфично и имеет одну причину. Идентичность организма каждого вида сохраняется благодаря наличию свойственного только ему набора нуклеиновых кислот и белков.

Живые организмы, живые клетки поглощают из окружающей среды свободную энергию для работы при постоянных температурах и давлении (для роста клеток, движения, транспорта, обеспечения обмена и пр.), при этом в среду возвращается эквивалентное количество энергии в виде тепла и других форм (в форме «отходов» клетки), которая в основном рассеивается (рис. 13.3).

Клетки запасают свободную энергию в особых химических веществах (макроэргах), неустойчивых, реакционноспособных, не способных выдерживать высокие температуры, сильный электрический ток, действие сильных кислот и оснований. Клетки не могут использовать тепло как источник энергии, поскольку тепло может совершать работу лишь тогда, когда оно переходит от более нагретого тела к более холодному. Клетки не похожи на тепловой и электрический двигатель, они представляют собой химические машины, работающие при постоянной температуре (рис. 13.4).

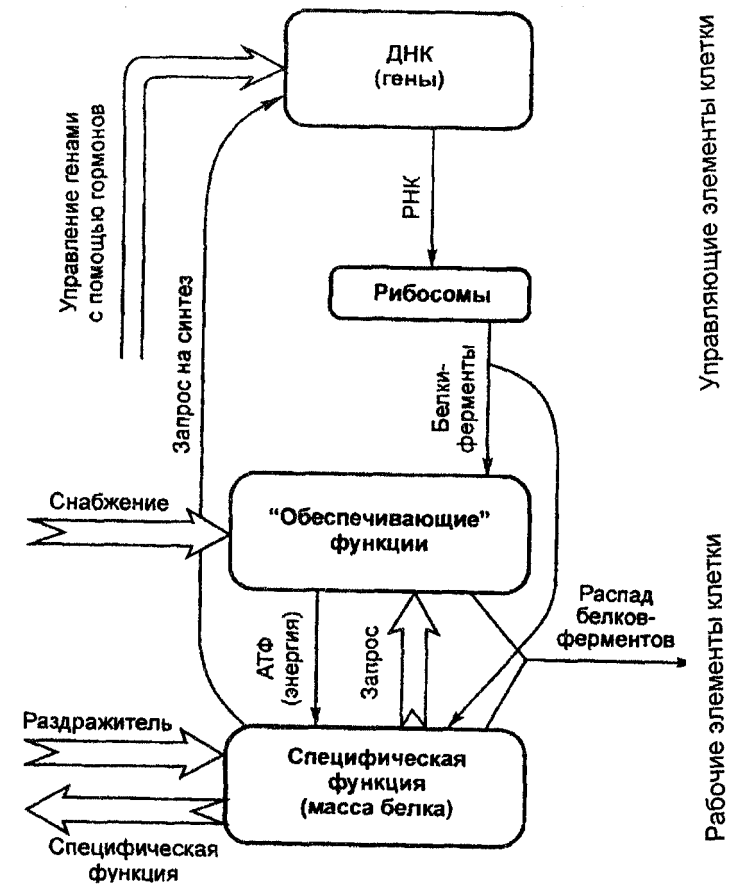


РИС. 13.3. Функции клетки

Каждая химическая реакция требует своего фермента - катализатора. Ферменты - самые лучшие катализаторы в мире, значительно превосходят известные химикам синтетические катализаторы более высокой специфичностью и эффективностью действия, а также способностью работать в относительно мягких условиях - при умеренной температуре, атмосферном давлении и при $pH = 7,4$. Ферменты в отличие от химических катализаторов работают в мили- или секундном интервале (для химических катализаторов нужны дни, недели

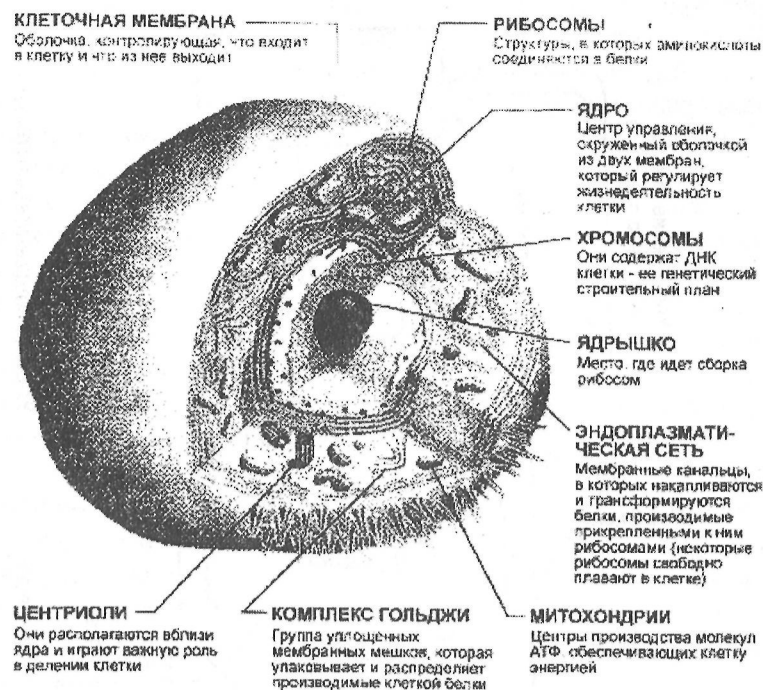


Рис. 13.4. Схематическое изображение живой клетки

или месяцы работы), реакции катализируют со 100%-м выходом и без образования побочных продуктов. Учитывая правило: один фермент - одна «реакция», в живой клетке протекают эффективно множество различных химических реакций, при этом клетка не испытывает опасности в «месиве бесполезных химических продуктов» (Ленинджер). Ферменты часто катализируют последовательно протекающие реакции - от 2 до 20 и более промежуточных звеньев, поэтому «работа» ферментов должна быть упорядочена по времени и в пространстве. В организме система синтеза и распада веществ в высшей степени регулируема через систему эндогенных активаторов и ингибиторов и находится в состоянии гомеостаза. На этом основана уникальная система самообновления наших тканей. Клетки обладают уникальной способностью в ответ на внешний сигнал - раздражитель (электрический или химический: гормоны, медиаторы, ней-

ропептиды) каскадно усиливать внешний сигнал в 5-6 раз цепочкой внутриклеточных обменных процессов (клетка чувствительна к слабым изменениям внешней среды). Живые системы представляют собой природные слабые лазеры, отличающиеся от рукотворных чрезвычайно низкой интенсивностью и наличием естественной полихромотичности излучения. Излучение живого отличается высокой когерентностью - согласованным протеканием во времени излучений (биофотонов) во всем световом диапазоне (биополе). Живые системы способны к точному воспроизведению на протяжении сотен и тысяч поколений. Генетическая информация исключительно стабильна; многие современные бактерии имеют почти те же размеры, форму, внешнюю структуру и содержат те же белки и ферменты, что и бактерии, жившие миллионы лет назад. Генотип мало зависит от эволюционного процесса, сохранение генетической информации в ДНК определяется ее структурной комплементарностью. Информация в генах линейна, линейность расположения генов в ДНК распространяется от вирусов до человека в форме последовательности нуклеотидов.

13.4. Психофизиология человека. Здоровье, болезнь, творчество

Здесь и далее будут рассмотрены последующие проблемы науки о живом в тезисном исполнении как вариант расширенной, но концептуальной программы, которая напоминает современному молодому человеку, становящемуся на путь гуманитария и самореализации себя в обществе, что ему нужно и полезно знать. Конечно, мы должны знать о своей анатомии, поддержании здорового образа жизни и путях корреляции основных заболеваний человечества, мы должны знать о путях стимуляции умственного труда, психологии научного творчества.

Для самопознания человек должен знать цену эмоциям побуждения и поведения, эмоциям высшего порядка, типа «интерес - возбуждение» как фундаментальной мотивации поисковой и творческой активности; знать цену радости, удивления, горя, страдания, депрессии, гнева, отвращения, презрения, страха и видов тревожности, чувства вины, совести и морали. Знать цену человеческим эмоциям - это значит уметь их контролировать. Социальные потрясения XX - нача-

ла XXI вв. и успехи науки о живом, да и вообще науки в целом, произвели переоценку психических и интеллектуальных возможностей человека.

Например, в 60-х гг. мы узнали о природе сна, о парадоксальной кратковременной фазе быстрого сна, которая контролирует наши сновидения и отвечает за творчество во сне. Мы многое узнали о природе кратковременной и долговременной памяти и роли различных отделов головного мозга в этом процессе. Нам стали известны первичные механизмы работы сознания. Мы многое узнали о циркадных ритмах человека, например, суточном колебании различных функций. Мы знаем об 11-летнем солнечном цикле, влияющем на жизнь человека и его психическое состояние.

Поразительными были данные о функциональной асимметрии головного мозга человека. Суть этих открытий состоит в том, что в левом полушарии мозга человека находятся морфологические и функциональные центры, ответственные за логико-речевую, рациональную и целеполагающую мыслительную способность, а в правом полушарии - центры, ответственные за образно-интуитивное мышление. «Левый» мозг человека отвечает за знаковое новаторство и рациональное творчество, беспечен и склонен к эйфории, устремлен в будущее; «правый» мозг отвечает за консерватизм поведения, склонен к скептицизму и депрессии, устремлен в прошлое. Функциональная асимметрия мозга дает новые перспективы для понимания творческого процесса и его стимулирования, новые перспективы в отношении обучения детей и эффективного использования их доминирующих сторон мозга в жизнедеятельности.

Успехи науки о живом во многом позволили понять механизмы важнейших заболеваний человека в XX в., а значит, и разработать эффективные методы их коррекции. Так, в механизмах физиологического и патологического стресса (ответная реакция организма на внешние неспецифические раздражители) важная роль принадлежит системе: гипофиз мозга - надпочечники - сердце, управляемой секрецией и гиперсекрецией адреналина из надпочечников, действующего на сердце. В механизмах нарушений сердечно-сосудистой системы выявлена важная роль гиперхолестеринемии, есть определенные успехи в коррекции атеросклероза и сердечных аритмий. Вскрыты некоторые механизмы патогенеза важнейших заболеваний мозга, в частности: эпилепсии, шизофрении, наркомании и алкого-

лизма, в которых принимают участие природные внутримозговые нейропептиды, имеющие важное отношение к регуляции химической передачи информации от одной нервной клетки к другой (синаптическая передача).

13.5. Космические и биологические циклы

13.5.1. Ритмы в природе

Биение сердца и альфа-ритм мозга, жизнь отдельного человека, социальные потрясения и войны, пассионарные взлеты и падения могучих этносов и цивилизаций - все подчинено определенным ритмам.

Периодические события в науке связаны с двумя понятиями - ритмом и циклом. В словаре русского языка С. И. Ожегова даются такие определения: ритм - равномерное чередование каких-нибудь элементов; цикл - совокупность явлений, процессов, составляющих кругооборот в течение известного промежутка времени. На основании этих определений слова «ритм» и «цикл» будем считать в нашем изложении синонимами.

В естествознании сформировалось синтетическое направление, занимающееся исследованиями ритмов во всем их многообразии - ритмология. Ритмология объединяет усилия исследователей из различных областей науки: физики, химии, астрономии, геологии, медицины, биологии и др.

Рассмотрим первоначально так называемые космические ритмы - периодические изменения в природе, происходящие под влиянием космических факторов. К числу этих факторов относятся как причины механического характера - вращение Земли и Луны, пространственная ориентация осей вращения, приливные силы и т. п., так и более сложные и физически опосредованные явления типа 11-летнего цикла солнечной активности.

Космические ритмы тесно связаны с всевозможными движениями, которые мы наблюдаем и в которых мы участвуем вместе с нашей планетой. Само понятие времени родилось из наблюдения циклического движения неба. Мы будем рассматривать космические ритмы прежде всего с точки зрения космическо-земных связей. Проблема космическо-земных связей, в свою очередь, перерастает в общую диалектическую идею взаимосвязанности всех вещей в мире

вообще, концепцию всеобщей «симпатии» (от греч. симпатемаон олон - связь всего со всем). Родилась эта идея в форме астрологии, которую принес грекам вавилонский жрец Берос. В астрологии - в этом древнем искусстве гадания по звездам, в этом сложном сочетании науки и суеверия, философии и шарлатанства - основополагающей является концепция космических ритмов и их взаимодействия на судьбы людей. Отбросив астрологию в целом (со всеми ее высокими первоначальными замыслами), естествознание надолго отбросило и глубоко правильную идею о воздействии Космоса на Землю и на человека. Так, фундаментальные идеи А. Л. Чижевского (1897—1964) о влиянии солнечной активности на творческую деятельность личности и даже на социальные процессы долгое время подвергались гонениям как крамольные или игнорировались.

В конце XX в. естествознание приблизилось к пониманию механизмов взаимосвязи космических явлений и функционирования человеческого организма.

Наш космический дом - планета Земля - обладает собственным гравитационным и магнитным полем, она является источником электромагнитного излучения (по большей части искусственного происхождения). Обитатели Земли живут в сложном переплетении гравитационных и магнитных полей, днем и ночью их пронизывают потоки частиц космического происхождения, волны электромагнитного излучения. Эти потоки, волны и поля действуют постоянно. На постоянную составляющую гравитационного и магнитного полей, электромагнитного излучения и потоков космических лучей накладываются циклические составляющие, изменяющиеся в определенных ритмах.

Есть изменения сравнительно быстрые, происходящие в короткой временной шкале, - *короткопериодические*, а есть крайне медленные, накапливающиеся столетиями и тысячелетиями - *долгопериодические* изменения.

Живой организм - тончайший прибор, улавливающий малейшие изменения (прежде всего короткопериодические) электромагнитных, гравитационных и магнитных полей, потоков энергичных частиц и чутко реагирующий на эти изменения. Так, при помощи вестибулярного аппарата организм тонко чувствует направление, силу и вариации гравитационного поля.

Долгопериодические изменения влияют на погоду и климат на Земле, а через это и на всю среду обитания.

Рассмотрим основные причины возникновения космических ритмов и некоторые механизмы их воздействия на природу на нашей планете. Эти ритмы мы сгруппируем по их характерному периоду в две группы.

К первой группе отнесем ритмы, действующие в *антропоной* шкале времени, т. е. в шкале, соизмеримой с жизнью человека.

Это, прежде всего, суточный, месячный и годичный ритмы. Из-за многочисленных вращений - Земли вокруг своей оси, Луны вокруг Земли, Земли вокруг Солнца, Солнца вокруг своей оси - изменяются физические условия и характеристики физических полей на поверхности Земли.

В суточном и годичном ритмах изменяются освещенность, создаваемая Солнцем на поверхности Земли, температурный режим и ряд физических параметров атмосферы и гидросферы. В результате происходит смена дня и ночи, смена времен года. Суточные и месячные вариации гравитационного поля на поверхности Земли, связанные с приливным воздействием Луны и Солнца, создают сложное явление океанских приливов, сыгравшее значительную роль в происхождении и развитии жизни. С такими же периодами (сутки и месяц) происходят вариации магнитного поля Земли. Изменения ориентации земной магнитосферы относительно потока солнечного ветра задает суточный ритм магнитного поля. Вращение Солнца, а вместе с ним межпланетного магнитного поля, имеющего характерную структуру, задает 27-дневный ритм вариаций магнитного поля Земли. Вспышка на Солнце - внезапное, непериодическое высвобождение магнитной энергии - вызывает резкие изменения магнитной и радиационной обстановки на Земле. Последствия одной вспышки (магнитная буря, полярное сияние, нарушение радиосвязи) быстро проходят, но частая повторяемость вспышек в период повышенной активности Солнца приводит к устойчивым эффектам в биосфере Земли. Периоды максимальной активности Солнца подчиняются 11-летнему ритму. Такой же ритм отчетливо проявляется во многих биологических и социальных процессах на Земле.

Ко второй группе мы отнесем ритмы, действующие в *геологической* шкале времени, т. е. на протяжении очень длительных периодов, несоизмеримых с жизнью человека.

26 тыс. лет - период прецессии оси вращения Земли, так называемый Большой Платонический Год; 41 тыс. лет - с таким периодом происходят вариации угла наклона оси вращения Земли к эклиптике;

100 тыс. лет - характерный период изменения величины эксцентриситета земной орбиты. Совместное действие этих космических факторов, их наложение, взаимное усиление приводят к не вполне регулярным долгопериодическим изменениям климата Земли - ледниковым периодам.

От сотен тысяч до миллионов лет - характерные периоды, в течение которых общее магнитное поле Земли сохраняет свою ориентацию (полярность). Изменение знака магнитного поля («переключение» полярности на противоположную) происходит за короткий по геологическим меркам срок. При этом на время исчезает магнитное поле Земли, «снимается» защитный экран магнитосферы, который задерживает энергичные космические лучи от проникновения в атмосферу и к поверхности Земли. Космические лучи значительно ослабляют озоновый слой, защищающий биосферу Земли от губительного действия ультрафиолетового излучения Солнца. Это вызывает катастрофические изменения в биосфере - от усиления мутаций на клеточном уровне до вымирания многих видов живых организмов, населявших Землю.

Самый большой из известных периодов - *галактический год*, равный примерно 250 млн лет. Это период вращения Солнца в Галактике. Во вращающейся Галактике этот период соответствует вполне определенному положению орбиты Солнца - вблизи радиуса коротации. Это особое место в Галактике - своеобразный «пояс жизни». Радиус коротации - то место в Галактике, где *редко* происходят вспышки сверхновых, губительные для жизни. Это создает благоприятные условия как для возникновения, так и для длительного существования жизни. Во-первых, именно здесь, вблизи радиуса коротации, дольше всего «выпариваются» гигантские молекулярные облака, из которых впоследствии образуются звезды и планеты. Для образования в облаке сложных органических молекул, необходимых для возникновения жизни, требуется много времени - миллиарды лет. Такая возможность есть только вблизи радиуса коротации. Во-вторых, как было показано Шкловским, близкая к Земле вспышка сверхновой может привести к полному исчезновению жизни. Вблизи радиуса коротации вероятность вспышек сверхновых мала, поэтому жизнь, возникшая на планете, может существовать и развиваться достаточно длительное время (миллиарды лет).

Итак, один оборот Солнца - один галактический оборот - равен 250 млн земных лет. Сопоставим жизнь нашей планеты, возраст биологической жизни на Земле с «ходом вечных галактических часов»:

- возраст Земли (4,6 млрд лет) - 18 галактических лет,
- жизнь на Земле (3,6 млрд лет) - 14 галактических лет,
- млекопитающие (250 млн лет) - 1 галактический год,
- первый человек (3 млн лет) - 5 галактических суток,
- жизнь человека (100 лет) - 10 галактических секунд.

13.5.2. Ритмы и физические поля организма

Естествознание приблизилось к пониманию механизмов взаимосвязи функционирования живой природы и космических явлений.

Общеизвестно влияние метеорологических и климатических факторов на жизнь, поэтому, если погода зависит от солнечной активности, климат - от параметров вращения Земли и ее магнитного поля, то естественно ожидать зависимость биологических явлений от соответствующих космических причин. Вместе с тем есть много указаний на то, что космические факторы действуют на живые организмы не только через погоду, но и непосредственно переменными полями.

Идею этого влияния можно выразить с помощью следующих трех позиций.

1. Физико-химические процессы в организме сбалансированы и протекают в определенном темпе. Важнейшие процессы жизнедеятельности организма осуществляются посредством собственных электрических и магнитных полей и импульсов, имеющих свои строго определенные ритмы.

2. Существуют внешние (для организма) поля (гравитационное и магнитное поля Земли, поле электромагнитного излучения), имеющие как постоянную, так и ритмическую составляющие. В них погружено все живое на Земле. В них мы живем, к ним приспособлены физико-химические процессы в организме, с ними взаимодействуют собственные поля организма.

3. Изменения привычных для организма внешних полей или их ритма, вызванные естественными и искусственными причинами (различные виды радиации, магнитные бури, искусственное состояние невесомости и т. д.), приводят к различного вида нарушениям жизнедеятельности клеток и организма в целом, а иногда и к ее полному прекращению.

В этом разделе выше мы рассматривали физические поля Земли, причины, вызывающие их изменения, и характер этих изменений.

А о каких физических полях организма идет речь? Можно ли их зафиксировать? Исследования такого рода успешно проводятся медиками и физиками. Кратко назовем их основные результаты.

Организм испускает тепловое (инфракрасное) излучение, собственные акустические (звуковые) волны. На поверхности тела (на коже, волосяном покрове и т. п.) всегда существует поле статического электрического заряда, переменное электрическое и магнитное поле.

Инфракрасное и тепловое радиоизлучение несут информацию о температуре и тепловом балансе органов и тканей. Низкочастотные электрические поля (с частотами до 1 кГц) связаны, как правило, с электрохимическими (в первую очередь трансмембранными) потенциалами, отражающими функционирование различных органов и систем организма. Такие же частоты имеют и магнитные поля, связанные с токами в проводящих тканях, сопровождающими физиологические процессы. Низкочастотные звуковые волны (инфразвук) дают важную информацию о механическом функционировании внутренних органов, мышц и т. д. Высокочастотные акустические сигналы связаны с источниками на клеточном и молекулярном уровне.

В последней четверти XX в. начались работы по исследованию полей человеческого организма. С помощью чувствительных приемников и радиометров изучаются электромагнитные поля организма. Разработана аппаратура для регистрации электрических полей организма и электрических потенциалов на поверхности тела. Она широко используется в медицине - это электрокардиография, электроэнцефалография и др. В конце 60-х гг. XX в. появились сверхчувствительные приборы для регистрации собственных магнитных полей организма. Стала развиваться перспективная область исследований, основанных на анализе информации, поставляемой этими слабыми полями. Она получила название *биомагнетизма*, в отличие от магнито-биологии, занимающейся изучением влияния сильных магнитных полей на биологические процессы.

В качестве примера упомянем о некоторых магнитных проявлениях биологической активности, свойственных многим органам живых организмов. Установлено, что постоянные или колеблющиеся с периодом в несколько минут магнитные поля характерны для желудка человека. Были обнаружены магнитные поля постоянных электрических токов в коже, появляющиеся при прикосновении к покрывающему ее волосяному покрову. Измерены магнитные поля при со-

кращении мышц человека при легком массаже. Глаза - источники довольно сильного электрического поля, так как работа сетчатки сопровождается возникновением потенциала до 0,01 В между передней и задней ее поверхностями. Это вызывает в окружающих тканях электрический ток, магнитное поле которого можно регистрировать. Индукция магнитного поля глаза значительно выше, чем магнитного поля мозга. При работе мозга возникают как электрические, так и магнитные поля. Наиболее сильные сигналы порождаются ритмической активностью мозга. С помощью электроэнцефалографии этих ритмов и установлено соответствие между ними и функциональным состоянием мозга (бодрствованием, разными фазами сна) или патологическими проявлениями (эпилептическим припадком и т. п.). Например, альфа-ритм - это колебания электрического и магнитного полей мозга с частотой 8-12 Гц. Он характерен для бодрствующего человека с закрытыми глазами в спокойном состоянии. Магнитная активность мозга усиливается при закрытых глазах, подавляется при открывании глаз. Показана амплитуда магнитной индукции $2 \text{ пТл} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ Тл}$ и амплитуда электрического сигнала 40 мкВ (рис. 13.5).

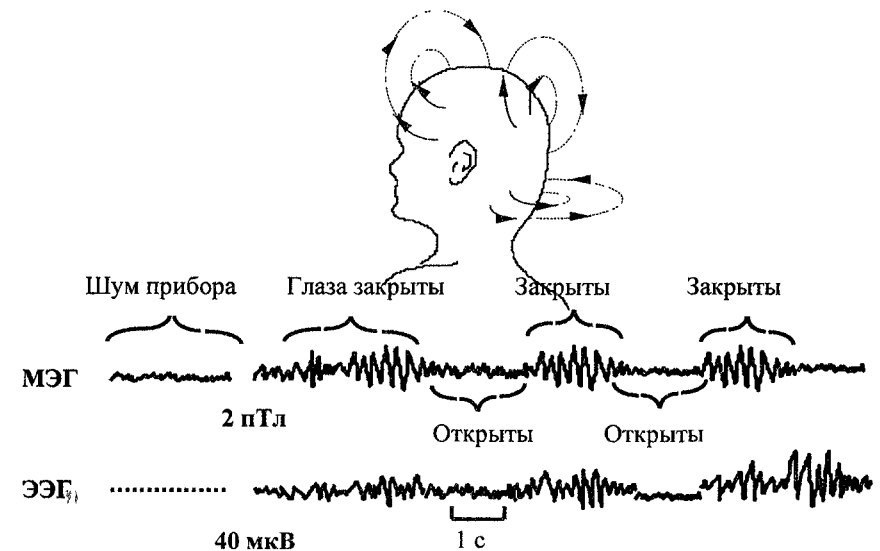


Рис. 13.5. Распределение магнитного поля альфа-ритма вокруг головы. Альфа-ритм на магнито- и электроэнцефалограммах

Для сравнения на рис. 13.6 показаны характерные величины и частотные спектры биоманнитных сигналов человеческого организма и внешних магнитных полей. Значение магнитной индукции B приводится в единицах тесла (Тл). Цифрой 1 отмечена постоянная составляющая магнитного поля Земли. На постоянную составляющую магнитного поля Земли накладывается переменная составляющая в периоды спокойного Солнца (кривая 2) и во время магнитных возмущений (магнитных бурь), вызванных вспышками на Солнце (кривая 3). Кривая 4 показывает уровень чувствительности современных приборов, использующихся для регистрации магнитных полей биологических объектов.

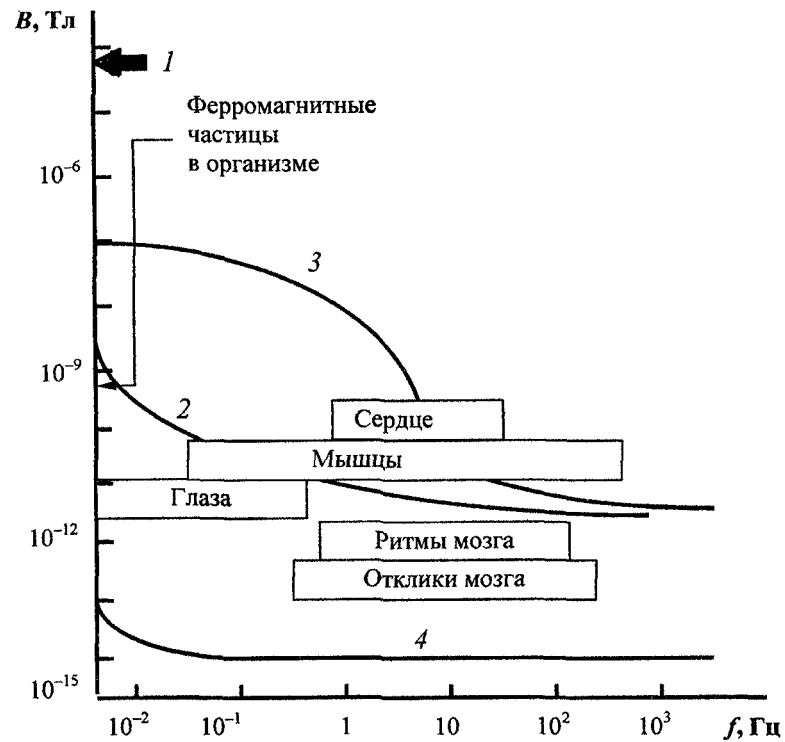


Рис. 13.6. Характерные значения и частотные спектры биоманнитных сигналов и геомагнитных полей

Внешние поля, волны, потоки частиц в соответствии с законами физики взаимодействуют с собственными полями организма и через это взаимодействие оказывают влияние на организм человека, на функционирование органов, центральную нервную систему, работу мозга и т. д. По-видимому, особенно чувствителен организм к воздействию внешних полей, действующих в определенных ритмах, синхронных с ритмами самого организма.

Выбор источников энергии для обеспечения подходящей для человека жизни является сейчас одной из наиболее важных проблем.

14. СИНЕРГЕТИКА. КОНЦЕПЦИИ САМООРГАНИЗАЦИИ. НА ПУТИ К ЕДИНОЙ КУЛЬТУРЕ

14.1. Общее представление о синергетике

Одно из самых поразительных явлений и наиболее интригующая из проблем, с которыми сталкиваются ученые, - спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже из хаоса. В повседневной жизни мы встречаемся с подобными явлениями, когда наблюдаем развитие растений и животных. Рассматривая их в гораздо больших масштабах времени, ученые приходят к проблемам эволюции и в конце концов к вопросу о происхождении живой материи. Наряду с попытками понять или в некотором смысле объяснить эти чрезвычайно сложные биологические явления естественно возникает также и вопрос о возможности обнаружения процессов самоорганизации в гораздо более простых системах неживого мира.

В последние годы накопилось много примеров физических и химических систем, в которых из хаотических состояний возникают высокоупорядоченные пространственные, временные или пространственно-временные структуры. Как и в живых организмах, такие системы могут функционировать лишь за счет подвода к ним потока энергии (и вещества). В отличие от машин, сконструированных человеком, которые рассчитаны на определенный тип функционирования, вышеупомянутые структуры образуются спонтанно: они самоорганизуются. Для многих специалистов оказалось неожиданным то, что большое число таких систем проявляет поразительные аналогии в поведении при переходе от неупорядоченного состояния к упорядоченному. Это - сильный аргумент в пользу того, что функционирование таких систем подчиняется одним и тем же фундаментальным принципам.

Некоторые примеры самоорганизующихся систем приведены выше (раздел 11). В них процесс самоорганизации идет обязательно с участием большого числа объектов (атомов, молекул или более

сложных образований) и, следовательно, определяется совокупным кооперативным действием. Чтобы подчеркнуть это обстоятельство, профессор Г. Хакен (Штутгартский университет, Германия) ввел специальный термин «синергетика». Это название происходит от греческого «synergeia», что означает совместное, или кооперативное, действие. Впервые этот термин был введен, и именно в этом смысле, великим английским физиологом Шеррингтоном около ста лет тому назад в ходе исследования мышечных систем и управления ими со стороны спинного мозга.

Синергетика возникла на стыке нескольких наук (физики, химии, биологии, социологии и т. д.) и изучает такое совместное действие отдельных частей какой-либо неупорядоченной системы, в результате которого происходит самоорганизация - возникают макроскопические пространственные, временные или пространственно-временные структуры. Изучается и обратное явление - переход от упорядоченного состояния к хаосу.

Речь идет о целом ряде естественнонаучных концепций, возникших в 60-70 гг. нынешнего столетия и объединяемых под названием «концепции самоорганизации».

В указанных концепциях заявлен новый образ мысли, новый взгляд на мир. Эти идеи изложены в трудах профессиональных философов, опирающихся на оригинальные научные исследования и на их популярные изложения. Нельзя не отметить, что массив этих публикаций, порожденных концепциями самоорганизации, достаточно велик. Он соизмерим с тем массивом философской и вообще мировоззренческой литературы, который вырос в первой половине нынешнего столетия из теории относительности и квантовой механики, а в начале второй половины - из концепций кибернетики.

14.2. Концепции самоорганизации

В начале 50-х и в 70-е гг. нынешнего столетия формулируются кибернетические концепции самоорганизации, называемые в дальнейшем классическими. Эти концепции, отвечающие стандартной кибернетической идеологии с ее акцентировкой понятия управления, а стало быть, и цели, стоящей перед системой. Управлением в этом контексте называется агрегат, принадлежащий кибернетической сие-

теме и обеспечивающий выполнение ее функционирования. Самоорганизация в классическом кибернетическом смысле этого слова - это процесс структурирования системы, управляемый изнутри этой системы.

В 60-е гг. в кибернетике возникает новое, неклассическое, понятие самоорганизации, в котором понятие управления утрачивает свое прежнее значение. Так, например, Г. фон Ферстер, выдвинув принцип «порядок из шума», построил несколько моделей таких самоорганизующихся систем, в которых отсутствует специальный блок управления. Несколько раньше к понятию спонтанной самоорганизации в ходе функционирования системы близко подошел один из создателей кибернетики Н. Винер (1894-1964).

В 60-е и 70-е гг. на авансцену выходит понятие диссипативной структуры, выдвинутое бельгийским ученым русского происхождения И. Р. Пригожиным с соавторами, и понятие самоорганизации как образования диссипативной структуры. И. Р. Пригожин с группой ученых работал над проблемами химической термодинамики. В центре их внимания находились колебательные химические реакции, представляющие собой своеобразные динамичные структуры - «химические часы» (примером колебательной реакции может служить некая обратимая реакция, происходящая в однородной смеси и приводящая к периодическому повышению и понижению концентрации одного из участвующих в ней веществ). Обычно в термодинамике структурирование связывается с установлением термодинамического равновесия. Рассматривая колебательные химические реакции, Пригожин и его сотрудники «общались» со структурой, существовавшей вдали от состояния равновесия. Они назвали ее диссипативной структурой, поскольку она осуществляется в условиях диссипации - рассеяния энергии в окружающую среду и поддерживается за счет ассимиляции системой энергии из окружающей среды. Диссипативная структура, таким образом, существует в условиях постоянного энергообмена между системой и окружающей ее средой, причем энергообмен может сочетаться и с массообменом.

Концепция диссипативных структур была разработана Пригожиным на пути поэтапного обобщения классической термодинамики. Первоначально (50-е гг.) Пригожий был занят прототипом того, что сейчас называется самоорганизацией, - стационарными состояниями, не слишком удаленными от термодинамического равновесия. Обоб-

щая второе начало термодинамики, он нашел принцип, управляющий формированием этих стационарных состояний, - принцип минимума производства энтропии (эта теорема выражает своего рода инертность неравновесных систем: «Если заданные граничные условия мешают системе достичь термодинамического равновесия, т. е. нулевого производства энтропии, то система переходит в состояние с наименьшей диссипацией»). Следующим этапом стала для Пригожина нелинейная неравновесная термодинамика, занимающаяся сильно неравновесными системами, в которых возникают диссипативные структуры. Здесь уже не проходил принцип минимума производства энтропии. Пригожий с соавторами выразил условие существования диссипативной структуры, применив величину второго порядка малости - избыточное производство энтропии. Это условие уже задействует не только собственно термодинамические факторы, но и кинетические факторы - химическое сродство и скорость химической реакции.

В конце 60-х и начале 70-х гг. с проектом новой науки синергетики, описывающей явления самоорганизации в сильно неравновесных системах, выступил немецкий физик Г. Хакен, работавший в области теории лазера. Синергетика Хакена - теория иного рода, нежели неравновесная нелинейная термодинамика И. Р. Пригожина и его коллег. В ней центральным является понятие параметра порядка, заимствованное из классической физики фазовых переходов (переходов между физически однородными частями системы). Параметрами порядка называются «величины или, на языке физики, моды, если они подчиняют себе поведение системы». Чтобы объяснить параметры порядка, Хакен прибегает к представлениям термодинамики, но затем использует весьма отличные категории, составляющие основы теории неравновесных систем фазовых переходов.

Почти одновременно с Хакеном концепция самоорганизации была выдвинута М. Эйгеном, работающим в области молекулярной биологии. В центре внимания Эйгена и его сотрудников был химический механизм самоорганизации - образование в процессе предбиологической эволюции циклов реакций с участием нуклеиновых кислот и протеинов, циклов, обладающих самовоспроизводимостью и способных, таким образом, к выживанию.

Как известно, комплекс «белок - нуклеиновая кислота», способный к воспроизведению, является одним из важнейших признаков

жизни. Даже на уровне простейших организмов этот комплекс оформлен в виде достаточно сложного механизма трансляции, который включает в себя ДНК, РНК разных типов, рибосомы и целый набор специфических белковых ферментов, контролирующих синтеза во всех звеньях трансляции.

Последовательность аминокислот в белковых цепочках, генерирующихся при трансляции, полностью определяется последовательностью нуклеотидов в цепочках (точнее - спиралях) ДНК (или РНК в вирусах). При этом каждая из 20 аминокислот кодируется во всех живых организмах одинаково - определенными тройками, триплетами нуклеотидов. Какие именно триплеты кодируют данную кислоту - эту проблему решил эволюционный процесс, в результате которого возник современный механизм трансляции.

Объясняя этот эволюционный процесс, Эйген допускает «первичный бульон», в котором находится много различных нуклеотидов и аминокислот со случайной последовательностью звеньев. Этот бульон находится в неравновесных условиях, и одни цепочки спонтанно образуются, а другие рассыпаются и рвутся. Так как различных веществ в первичном бульоне очень много, то вполне вероятно, что найдутся такие нуклеиновые цепочки, которые являются катализаторами (пусть очень слабыми) при образовании некоторых цепочек аминокислот. И наоборот, цепочки аминокислот могут хоть немного облегчить редупликацию (взаимодополнительное воспроизведение копий) нуклеиновых цепочек. Поскольку в бульоне одновременно идут многие реакции, объединенные сложными случайными связями, то имеется вероятность образования каталитических циклов реакций.

В каталитическом цикле вещество воспроизводится, проходя через ряд каталитически активных промежуточных стадий. Циклическая организация реакций оказывается более предпочтительной по своим термодинамическим характеристикам и скорее «выживает» при естественном отборе реакций. Однако главной новацией Эйгена является не просто «каталитический цикл», а «гиперцикл», особым образом упорядоченное множество «элементарных реакционных циклов».

Циклическая организация реакций оказывается более выгодной по термодинамическим и кинетическим соображениям, чем их цепочечная, незамкнутая организация. Победив менее организованные реакционные структуры, гиперцикл «проверяет» свою организацию

посредством конкуренции с другими гиперциклами. Дарвиновской эволюции видов предшествовал аналогичный процесс молекулярной эволюции, который привел к созданию уникального аппарата клетки, использующей универсальный код.

Итак, к середине 70-х гг. возникло несколько различных концепций самоорганизации, некоторые из них более подробно рассмотрим отдельно.

14.3. Самоорганизация в живой и неживой природе

Синергетика - наука о самоорганизации простых систем в сложные на основе нелинейной термодинамики разветвленных, необратимых процессов, наука о превращении хаоса в порядок (1975, И. Пригожин, Г. Хакен). Понятие «синергетика» означает кооперативность (содействие, сотрудничество), взаимодействие различных элементов системы. Сейчас синергетика включает в себя системный анализ, теорию самоорганизующихся систем с диссипативными структурами, кибернетику, теорию вероятностей, т. е. это комплексная наука.

Существуют два типа самоорганизации: 1) в системе не появляются качественно новые элементы, наблюдается их перекомбинация, либо сочетание элементов, либо изменение их количества (в неживой природе - образование галактик, вихрей, химические автоколебательные реакции, лазеры, неравновесные фазовые переходы и пр.); 2) в системе появляются качественно новые элементы (в живой природе - образование видов, зарождение жизни, появление человека и пр.). В качестве примера первого типа рассмотрим лазер. Когда происходит накачка энергии, он работает, как обыкновенная лампа, а микроскопические ячейки - атомы-антенны рабочей среды излучают свет независимо друг от друга. Однако при определенном значении мощности в лазере происходит новое качественное явление - скачок: антенны начинают слаженно и кооперативно работать в одной фазе, наблюдается когерентное, мощное излучение, при этом меняется макроскопическое состояние рабочей среды. Самоорганизующиеся системы способны сохранять внутреннюю устойчивость при воздействии внешней среды, они находят способы самосохранять и даже улучшать свою структуру. В такой системе заложены механизмы,

причинные связи, которые обеспечивают ее стремление к достижению вполне определенной цели.

В отсутствие самоорганизации наблюдается быстрое установление однородного состояния; все части простой системы тождественны между собой, везде все одинаково, симметрично, однородно.

Синергетика модифицирует наше отношение к хаосу, к роли случая в сторону переоценки вклада детерминизма в физических и социальных процессах, в сторону переоценки роли линейного мышления, согласно которому прогресс предсказуем, развитие ретросказуемо и предсказуемо; настоящее определяется прошлым, а будущее - настоящим и прошлым. Синергетика объясняет коварство закона экспоненты в живых и неживых системах (возрастание народонаселения, рост знания, «экономическое чудо»). Проблема управляемого развития принимает форму проблемы самоуправяемого развития. Синергетика рассматривает хаос как созидательное начало в эволюции (помимо чисто разрушительных функций), когда малые возмущения, флуктуации в момент неустойчивости преобразуются в макроструктуры. Отсюда вытекает, что каждый отдельный человек не потерян в истории, в социуме, он может в критические периоды влиять на макросоциальные процессы. Синергетика открывает новые принципы суперпозиции, сборки эволюционного целого из частей, построения сложных развивающихся структур из частей. В этом случае целое уже не равно сумме частей, оно теперь качественно иное, устанавливается общий темп развития входящих в целое частей на фоне существования структур разного возраста в одном темпомире. Синергетика позволяет оправдать воздействие слабых возмущений, флуктуаций на сложные самоорганизующиеся системы.

В ходе самоорганизации образуются диссипативные структуры - аттракторы, которые не стационарны, динамичны, способны как к усложнению, так и к деградации, они предопределяют характер эволюции, так как окружающая среда неизбежно подстраивается под устойчивое состояние макроструктуры. Будущее состояние системы как бы притягивает к себе настоящее. Эти структуры находятся в симбиозе с хаотическими, неустойчивыми промежуточными процессами в среде, где нет этих структур. Этот симбиоз заставляет среду подлаживаться под структуру, а вся система самоорганизуется (будущее притягивает настоящее, а настоящее притягивает будущее). Самоорганизация протекает в открытых и нелинейных системах. От-

крытость - это наличие в системе источников и стоков энергии, обмена веществ и энергии с окружающей средой. Нелинейность - это наращивание неоднородности в сплошной «объемной» среде и диссипация структур. Диссипация - это фактор выедания лишнего (аналогия с Микеланджело, который говорил, что он берет кусок мрамора и отсекает все лишнее), фактор рассеивания, размывания неоднородности. Диссипация - это полезное зло самого хаоса, или проявление хаоса как двуликого Януса. Один хаос на микроуровне - это фактор, выводящий среду на структуру - аттрактор, другой хаос на макроуровне - это постепенная деградация структуры с фазой ее улучшения и с последующей фазой ее саморазрушения («творящий» хаос). Хаос, разрушая, строит, а строя, приводит к разрушению.

Открытость, нелинейность и диссипация предполагают множество решений нелинейных уравнений, что соответствует множественности путей эволюции. Отсюда вытекают важные следствия самоорганизации: многовариантность, идея выбора из альтернатив, идея темпа эволюции, идея необратимости эволюции, дискретный путь эволюции, возможность неожиданных изменений направления эволюции, случайность выбора пути в момент бифуркации (точки ветвления) альтернативных процессов, нелинейная положительная обратная связь (как путь сверхбыстрого развития процессов по всему пространству среды). Теория самоорганизации систем опирается на новый тип детерминизма - детерминизм с пониманием неоднозначности будущего и с возможностью выхода на желаемое будущее. Это детерминизм, который усиливает роль человека. В неживой системе, находящейся в термодинамическом равновесии, т. е. в устойчивом фазовом состоянии, составляющие систему элементы ведут себя независимо друг от друга, игнорируя остальные элементы (гипноны). При переходе системы в неравновесное состояние гипноны «пробуждаются» и устанавливают друг с другом когерентную и кооперативную связь, между ними устанавливаются корреляции. Новая самоорганизующая система из зависимых элементов по функциональным признакам ведет себя как единое целое. Система структурируется так, как если бы каждая молекула была «информирована» о состоянии системы в целом. Новая самоорганизующая система голографична, и зависимые элементы обладают «памятью» поведения целой системы. Согласование всех элементов осуществляется неодновременно, а путем возникновения в системе очагов (зон нуклеации)

когерентности, которые при дальнейшем удалении от равновесия охватывают всю систему. При этом далекодействующие корреляции организуют систему еще до того, как происходит макроскопическая бифуркация. В живой системе важны функциональные связи, а не пространственные, то есть корреляции между временными событиями, а не между положениями в пространстве. В живой системе важна синхронизация активности зависимых элементов (максимум синхронизации - мозг человека). Любые системы, удаленные от термодинамического равновесия, активны, способны к самоорганизации. Одна и та же функция, одна и та же задача может быть решена различными путями (принцип Эделмена).

Перечислим наиболее характерные особенности диссипативных структур: системы, управляющие положительной обратной связью (самоусиление); открытые системы, потребляющие внешнюю энергию для поддержания и роста своей внутренней организации; экспоненциальный характер развития системы; система, становящаяся малочувствительной к шуму и к направляющим воздействиям извне; развитие приобретает черты неотвратимости, неуправляемости; количество элементов, вовлекаемых в согласованное движение в единицу времени, возрастает нелинейно; системы агрессивны, подчиняя своему типу функционирования все большее количество энергии, вещества (денег, людей, продуктов питания и пр.), при этом хаотичность, беспорядочность окружения подобных систем быстро возрастают; ускоренное развитие сложной динамической системы обычно сопровождается снижением ее устойчивости (коварство экспоненты), с другой стороны, экспоненциальное развитие дает кратковременное преимущество подчиненной ему системе, т. е. общий регресс может включать в себя локальный прогресс. Мы уже отмечали, что диссипация - это не только путь деградации вещества и энергии, но и системообразующий фактор. Известен следующий принцип: диссипативная структура может порождать консервативную напоминающую структуру, служащую затравкой для диссипативной структуры более высокого уровня, чем и объясняется системогенез. Особенность диссипативных систем - в скачкообразном развитии. Наступает такой момент, когда относительно равномерное, более или менее предсказуемое упорядоченное развитие достигает точки бифуркации - выбора траектории дальнейшего развития. И то, по какому пути будет дальше развиваться система, зависит как от нее самой, так и от

окружающих ее потоков информации и энергии. На точку бифуркации, на точку выбора можно влиять, управляя внешней энергией и информацией. Хаос перерастает в порядок в точке бифуркации. Ни один вид не может увеличивать свою численность и биомассу бесконечно, рано или поздно происходит стабилизация.

Кризис не есть крах. Крах - это все, кризис - это преддверие точки бифуркации, что означает, что есть возможность найти выход из положения. Человечество, находясь в состоянии кризиса, будучи на краю бездны, может, сконцентрировав силы, породить независимого и свободного индивидуума, который обретет значимость подлинного Героя - Спасителя.

14.4. Принцип универсального эволюционизма

Рассматривая вопросы самоорганизации, необходимо упомянуть об универсальном эволюционизме. В одной из своих работ академик РАН Н. Н. Моисеев пишет: «В последние годы установлено множество фактов, которые поднимают эволюционизм на новый уровень. Возникает некая универсальная парадигма, может быть, даже некая общая теория. Одни называют ее теорией самоорганизации, другие используют слово "синергетика"». Я предпочитаю ее называть эволюционизмом, или универсальным эволюционизмом. Возникает действительно эволюционное мышление, и в нем особое место занимает конкретная мутация - эта истинная реальность бесконечной изменчивости мира, в котором суждено жить человечеству. И мы начинаем понимать, что законы развития Природы и Общества - если угодно, генотип и фенотип той или иной эволюционной линии - определяют лишь некоторые пределы, в которых основной процесс остается заранее непредсказуем». В других источниках Н. Н. Моисеев пишет, что термин «универсальный эволюционизм» употребляется им для обозначения лишь тех общих законов, тех особенностей мирового эволюционного процесса, которые присущи всем процессам развития, независимо от их природы. Концепция универсального эволюционизма ставит своей целью с минимальным числом гипотез (которые, следуя В. И. Вернадскому, можно называть «эмпирическими обобщениями») нарисовать некую целостную непротиворечивую «картину мира» - разумеется, лишь очень условно и схематично.

Такие общие конструкции, несмотря на их условность, всегда играли определенную роль в развитии естествознания. Ныне, в эпоху, когда происходит синтез естественнонаучного и гуманитарного знаний, они важны хотя бы тем, что демонстрируют единство материального мира и тем самым облегчают этот синтез. Но подобные схемы могут иметь и более прикладное значение, поскольку они предлагают аналогии, позволяющие стать путеводной нитью в отыскании пути более обстоятельного и детального изучения тех или иных феноменов, в частности биологического и общественного развития человека.

В основе процессов самоорганизации всегда лежат три эмпирических обобщения, которые естественно назвать «дарвиновской триадой»: *изменчивость* (случайность и неопределенность, органически присущие природе); *наследственность* (зависимость настоящего и будущего от прошлого); *отбор* (система правил (законов), отбирающих из множества виртуальных движений движения реальные, доступные или недоступные наблюдению).

Основная задача научного знания, согласно концепции универсального эволюционизма, состоит во внесении конкретного содержания в смысл этой триады, т. е. в раскрытии конкретного содержания изменчивости, описании зависимости будущего от прошлого и конкретизации принципов отбора. По существу, речь идет об изучении общих свойств тех механизмов, которые определяют изменение характеристик изучаемой системы (или переходы из одного состояния в другое, если мы умеем их определять). Среди этих механизмов особое место принадлежит механизмам бифуркационного типа. Их особенность состоит в том, что даже при отсутствии случайных возмущений продолжение траекторий развития, или изменение свойств изучаемого феномена, неоднозначно. Другими словами, механизмы бифуркационного типа качественно меняют характер эволюционного процесса.

Впервые существование подобных механизмов было открыто Л. Эйлером еще в XVIII в. при изучении устойчивости нагруженной колонны. В силу этой неоднозначности постбифуркационное движение целиком определяется структурой случайных внешних воздействий в момент бифуркации, а следовательно, непредсказуемо. Конечно, те бифуркационные механизмы, которые были изучены Эйлером, Пуанкаре и другими математиками и физиками, являются очень идеализированными схемами. В реальности переход через состояние

бифуркации не совершается мгновенно, но тем не менее ныне хорошо изученные теоретические модели отражают черты, присущие любым перестройкам организации материи, с которыми мы сталкиваемся при исследовании окружающей нас реальности.

Из того, что мир стохастичен, что существуют механизмы бифуркационного типа, следует неповторимость, необратимость эволюционного процесса и его направленности. По мере его разворачивания происходит непрерывное усложнение организационных форм материального мира и рост их разнообразия. Это важнейшие особенности мирового процесса развития, проявляющиеся на всех уровнях его организации. Они являются не эмпирическим обобщением, а строгим следствием эмпирических обобщений о стохастичности мира и существования бифуркационных механизмов.

Принципы отбора - это законы неживой природы, живого вещества и общества. Смысл принципов отбора меняется по мере перехода к более высоким уровням организации материи. На уровне неживой материи законы носят «абсолютный характер». Ничто не может нарушить законы сохранения или второй закон термодинамики. Иное дело на уровне общественной организации материи, где отбор реализуемых ситуаций из числа мысленно возможных носит форму тенденции.

Одна из центральных проблем фундаментальной науки - это проблема редукционизма. Это проблема сведения тех или иных законов к другим, более простым, с помощью конечного алгоритма или установления связей между ними. Вопрос о существовании некоторого минимального набора фундаментальных законов, управляющего процессами самоорганизации материи, будет, вероятно, всегда волновать исследователей. Проблема редукционизма появилась не сегодня. Она претерпела ряд существенных трансформаций - от витализма, от утверждения независимости законов, управляющих живым веществом, а тем более обществом, - до «чистого редукционизма», утверждающего, что происходящее в природе и обществе сводится в конечном счете к «структуре электронных оболочек взаимодействующих атомов». В действительности существует глубочайшая связь этих законов, связь, которая нам почти неизвестна. Мы можем утверждать лишь только одно: законы, определяющие принципы отбора, действующие в живом веществе и обществе, не противоречат законам неживого мира, законам физики и химии. Ничто живое не

может их переступить. Но утверждение о том, что эти законы полностью определяют процессы жизнедеятельности и процессы, протекающие в общественной сфере, представляется весьма смелой и не очень обоснованной гипотезой. Законы, управляющие эволюцией живого вещества и общественным поведением, зачастую нельзя вывести обычным путем из простейших законов физики.

В истории нашей планеты произошли по меньшей мере две фундаментальные бифуркации, изменившие направление общепланетарной эволюции, механизмы которых нам неведомы, - возникновение живого вещества и образование мозга.

14.5. Путь к единой культуре

Сегодня становится совершенно очевидной необходимость привнесения в сферу естественнонаучной культуры нравственных, этических и даже эстетических категорий, столь характерных для древних традиций Запада и Востока в опыте единения человека с природой и космосом. Определенные задачи стоят и перед гуманитариями. Им следовало бы перенять обыкновение ученых не отвергать, а переосмысливать ряд накопленных ранее истин, попытаться объяснить законы гармонии на языке более универсальном, чем язык субъективно-эмоциональных переживаний. Таким образом, мы приходим к необходимости формирования - с учетом знания современной науки - целостного видения мира, свойственного нашим предкам. Синтез мудрости древних цивилизаций, гуманитарных и естественных наук - это путь к новому пониманию природы, человека и общества.

В последние десятилетия такой синтез начался спонтанно в силу логики развития самой науки, интеграции ее дисциплин, рассмотрения все более сложных систем в физике, химии, биологии, приближающихся по сложности поведения к живым организмам или их сообществам, моделирующим, как оказалось, также социальные и психические феномены. Кроме того, сейчас осознана принципиальная неустранимость роли человека как наблюдателя и интерпретатора эксперимента, т. е. актуален лишь целостный подход: природа + человек.

Это направление науки о сложном (синергетика), опирающееся на современные математические методы и являющееся далеко идущим

общим обобщением дарвинизма, по существу, может быть названо «эволюционным естествознанием» в широком смысле.

От Бытия к Становлению - вот, следуя И. Пригожину, ориентация новой научной парадигмы, в контексте которой акцент переносится с изучения инвариантов системы, положений равновесия на изучение состояний неустойчивости, механизмов возникновения нового, рождения и перестройки структур, самоорганизации.

Например, возникает возможность универсальным образом описывать явления самоорганизации, проясняются значение открытости систем, роль случайности и конструктивная роль хаоса, природа катастрофических революционных изменений в системе, механизмы альтернативного - исторического ее развития и т. д. Замечательно, что все эти понятия, до недавнего времени бывшие исключительно в арсенале гуманитарного образа мышления, теперь приобретают иное, более глубокое звучание. Теперь можно говорить о возникновении некоего единого метаязыка естествознания и гуманитария. Намечаются понимание и встречное движение двух культур, возврат к единству на новом уровне осознания мира.

Этот процесс надо сознательно развивать, что приведет не только к примирению, но и взаимообогащению двух культур, так как одна представляет рациональный способ постижения мира, другая - диалектически дополнительный - интуитивный, ассоциативно-образный. Диалектическое единство заключается в том, что ни одна из культур не самодостаточна и, согласно знаменитой теореме К. Геделя, рано или поздно не сможет развиваться без привлечения методов другой, поскольку иначе каждая из них выродится в застывшую догму либо в хаос абсурда.

Начинать, как всегда, следует с образования. И если необходимость гуманитарного цикла дисциплин для студентов-естествознавцев не вызывала сомнений, то эффективное преподавание естествознания гуманитариям сейчас становится возможным благодаря применимости новой научной парадигмы для обеих культур, осознанию универсальной роли метаязыка, синтезирующего язык философских категорий и синергетики, язык образов, ассоциаций и формальной логики, язык древних традиций Востока и Запада.

15. САМООРГАНИЗАЦИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

15.1. Системная характеристика сложных (диссипативных) процессов

Одна из основных характеристик социально-экономических процессов, благодаря которой они относятся к процессам самоорганизации, состоит в том, что они не обладают постоянной во времени структурой и что происходящие в них изменения являются в основном спонтанными и лишь частично зависят от внешних воздействий. Внешние воздействия запускают механизм, действие которого определяется внутренней природой очень сложного процесса.

В более развернутой форме это означает, что при изучении таких процессов следует учитывать следующее.

1. Различие между актуальной, проявляющей себя в пространстве и времени структурой, параметры которой можно наблюдать и измерять, и потенциальной (не реализованной в данное время) структурой, не имеющей пространственно-временных свойств и, следовательно, не наблюдаемой непосредственно, но оказывающей воздействие на процесс в целом. Основное свойство потенциальной структуры - альтернативность, т. е. наличие исключаящих друг друга (при реализации) состояний. Они могут быть состояниями равновесия или неравновесия, регулярными или случайными процессами разной длительности, самоподдерживающимися, самоускоряющимися, самозамедляющимися или переходными процессами. При определенных условиях какая-то из этих альтернатив приобретает устойчивость и реализуется, заменив ставшее неустойчивым прежнее состояние («обмен устойчивостью»). «Обмен устойчивостью» может быть связан с рождением новых или исчезновением ряда прежних альтернатив. Эти альтернативы определяют, чем данная система может стать при тех или иных условиях и чем она не сможет быть никогда (ни при каких условиях).

2. Наличие особой области значений параметров, в которой малые внешние воздействия на систему могут вызвать в ней значитель-

ные изменения, в том числе структурные (эффект самоорганизации). Значения параметров в этой области называют критическими.

3. Непредопределенность поведения системы при критических значениях параметров, означающая отсутствие каких-либо правил, позволяющих по данному состоянию системы и совокупности всех воздействий на нее однозначно или с некоторой вычислимой вероятностью определить ее следующее (будущее) состояние. В этих условиях система или процесс обладают внутренней свободой, позволяющей им спонтанно (без внешней причины) формировать свои новые состояния.

Когда значения параметров близки к критическим, то достаточно малого воздействия на систему, чтобы она скачком перешла из данного (существующего в настоящий момент времени) состояния, ставшего неустойчивым, в новое устойчивое состояние, изменив способ поведения. Время перехода в новое состояние в этом случае значительно меньше, чем требуется для постепенного перехода в такое же состояние. Соответственно можно говорить о быстрой и медленной эволюции системы.

В области критических значений параметров системы или процесса флуктуации (неустраняемые малые случайные колебания) могут нарастать, вызывая хаос. Поведение системы становится случайным, непредсказуемым и неуправляемым.

Соответственно изменяется и концепция управления, которая должна учитывать альтернативность эволюции и особенности поведения в критической области значений параметров системы, налагающие существенные ограничения на внешние управляющие воздействия, которые могли бы реализовать способ поведения, отсутствующий в потенциальной структуре системы. Кроме того, если внешние воздействия осуществляются в критической области значений параметров, то результат воздействия не является предопределенным в силу объективной неопределенности будущего, а важность полученного результата может оказаться непропорциональной приложенным усилиям: значительные усилия могут привести к незначительному результату, а незначительные по величине усилия могут дать существенный результат.

Для того чтобы полученный результат не был «чисто случайным», в управлении должен существовать специальный механизм для передачи внешних воздействий на уровень индивидуального по-

ведения субъектов (индивидуумов). Если при этом возникает кооперативный эффект, делающий организованным (например, однонаправленным) поведение миллионов индивидуумов, то результат предпринятых действий однозначен, в противном случае он формируется неустраняемыми малыми флуктуациями среды. Этими положениями характеризуется концепция управления, свойственная концепции самоорганизации. Мы сталкиваемся в ней с эффектом самоорганизации (или, с точки зрения управления, с эффектом самоуправления), когда новые структуры и соответствующие им способы поведения возникают спонтанно (самопроизвольно в том смысле, что на уровне событий отсутствуют ясно выраженные порождающие их причины).

Условия, вызывающие самоорганизацию, сравнительно легко прослеживаются в природных диссипативных системах. Это открытые нелинейные неравновесные системы, в которых могут возникать, благодаря потоку энергии, поступающему в систему и распространяющемуся в ней через диссипацию (рассеяние), новые структуры.

Это утверждение не противоречит второму началу термодинамики. Второе начало справедливо для любых - закрытых (не обменивающихся энергией со средой) и открытых - систем, но действует в них по-разному. В закрытых системах оно ведет к тепловому хаосу - состоянию с максимальной энтропией (т. е. с минимумом структурной организации), поскольку это единственное устойчивое состояние в потенциальной структуре линейных (равновесных или близких к равновесию) систем. В открытых системах, находящихся вдали от равновесия, состояние с максимальной энтропией может стать неустойчивым, а устойчивость может приобрести альтернативное состояние с меньшей энтропией. В таких системах диссипация, порождаемая вторым началом, может привести к актуализации сложно организованной структуры, порождая эффект самоорганизации.

Таким образом, созидательная роль диссипации парадоксальна только с точки зрения равновесной термодинамики. В равновесных и одновременно замкнутых системах диссипация (например, теплопроводность) уничтожает исходную упорядоченность: благодаря диссипации в них устанавливается термодинамическое равновесие, происходит выравнивание температур. Именно на диссипацию сослались в свое время сторонники тепловой смерти Вселенной. Но в сильно неравновесных открытых системах диссипации (диффузия, вязкость, микроскопический хаос, случайное поведение индивиду-

мов) может привести к возникновению сложно организованной структуры. Она устраняет, благодаря малым случайным воздействиям, все неустойчивые образования, оставляя лишь те, какие в данных условиях устойчивы.

Перечислим основные условия возникновения самоорганизации в диссипативных процессах: 1) поток энергии извне, обусловленный открытостью системы; 2) неравновесность, способствующая усилению флуктуаций и устранению неустойчивых образований (в этом случае говорят, что «хаос создает порядок»); 3) наличие потенциальности, допускающей обмен устойчивостью между присущими ей альтернативами.

С диссипацией связаны и такие процессы самоорганизации, которые ведут к установлению когерентности (согласованности) в системе. Роль диссипации состоит в этом случае в синхронизации пространственно разделенных явлений. Если раньше большинство из них происходило независимо и несогласованно, то затем они начинают действовать согласованно (кооперативно) при отсутствии внешней согласующей силы.

Примером может служить действие «невидимой руки» (А. Смит), спонтанно согласующей интересы и действия индивидуумов в условиях конкуренции.

Отметим, что эволюция к новому состоянию системы с малой энтропией не обязательно единственна. Существует не только много путей к одному и тому же новому состоянию, но и много различных состояний, каждое из которых может приобрести устойчивость при определенных условиях. В момент, когда происходит бифуркация (ветвление), принцип причинности не действует. Однако после спонтанного возникновения упорядоченных в пространстве и времени структур спонтанность исчезает, уступая место действию причинности в обычном смысле. Поэтому синергетическая концепция управления не исключает причинности, а ограничивает ее, рассматривая в качестве важного, но частного случая.

15.2. Экономика как пример «диссипативной системы»

Созидательная роль диссипации возможна не только в природных, но и в социальных процессах. Основу «диссипативной силы» в

обществе составляют действия миллионов индивидуумов, обладающих способностью планировать свое поведение и корректировать его на основе прошлого опыта. Поэтому социальные «диссипативные системы» обладают рядом свойств, каких нет у природных диссипативных систем. Мы ограничимся рассмотрением экономики как диссипативной системы. В экономике различают производство, обмен, распределение и потребление. Потребление служит конечной целью функционирования экономики, производство создает возможность потребления. В процессе производства конечное число благ (товаров и услуг) создается посредством ограниченных ресурсов по определенным технологиям. Обмен служит опосредующим звеном между производством, распределением и потреблением. Средством реализации обмена является рынок. Это экономическое пространство-время, в котором происходит купля и продажа произведенных товаров и услуг с помощью денег.

Основные субъекты экономики - семейные хозяйства и предприятия (производители, фирмы). Семейные хозяйства продают свои ресурсы (в первую очередь услуги труда) предприятиям и расходуют получаемые средства на покупки товаров и услуг. Предприятия покупают ресурсы и продают семейным хозяйствам и другим фирмам свою продукцию, тем самым в экономике возникают потоки ресурсов, товаров, услуг и денег, причем денежный поток направлен в сторону, противоположную потокам ресурсов, товаров и услуг. Это создает платежеспособный (обеспеченный деньгами) совокупный спрос и совокупное предложение.

Экономическое поведение во многом определяется взаимоотношением совокупного спроса и совокупного предложения. Частью этого взаимоотношения является конкуренция - соревнование продавцов (производителей) за право продать свой товар покупателям и соревнование покупателей за право купить товар у продавца. Затрагивая интересы миллионов людей, конкуренция усредняет действие экономических факторов, объективирует результаты усилий отдельных лиц и вознаграждает того, кто делает что-либо лучше, чем остальные. При конкуренции существует много самостоятельно действующих покупателей и продавцов, благодаря чему экономическая власть распределяется между многими субъектами. Можно сказать, что конкуренция выполняет в экономике функцию, аналогичную диссипации в природных процессах.

Взаимодействие конкуренции и цен на товары и услуги порождает доход и прибыль. Доход есть совокупная выручка от всех продаж. Прибыль равна разности между доходом от продажи продукции и затратами на ее производство и сбыт (издержками). При наличии конкуренции прибыль дает объективную оценку результатам экономической деятельности, поощряя или наказывая ее субъекта размерами полученной прибыли или убытка.

Стремление получить прибыль в условиях конкуренции заставляет производить именно те товары и услуги, за которые потребители согласны платить. Колебания конкурентных цен позволяют судить о том, что именно требуется людям. Через ценообразование конкуренция распределяет ресурсы в соответствии с объективной потребностью в них.

Более детальный анализ дохода и прибыли требует учета основных факторов производства: капитала, труда и естественных условий их применения (это - земля, климат, полезные ископаемые и т. п.). Капитал понимают как совокупность благ, обладающую способностью (возможностью) приносить доход. Считается, что доход создается всеми факторами производства, и каждый из них получает в виде вознаграждения часть дохода. Капитал получает прибыль, труд - заработную плату, владелец земли или ее недр - ренту. Сумма совокупной прибыли и совокупной заработной платы называется валовым национальным продуктом (ВНП).

Другие важные понятия - сбережения и инвестиции. Сбережения - это непотребленная часть дохода. Они увеличивают богатство, только если переходят в инвестиции. Инвестиции - это вложение благ в производство для получения в будущем дополнительных благ. Инвестиции создают возможность экономического роста и развития. Характеристика рыночной экономики неполна без выяснения функций денег. При наличии рынка деньги выполняют три первичные функции: являются средством обмена товаров и услуг; образуют количественную меру стоимостей всех экономических благ; служат средством сохранения стоимости (накопления богатства, обеспечения покупательной способности в будущем). Для выполнения этих функций количество денег должно быть ограниченным. Отметим также, что стремление к обладанию деньгами служит непосредственным мотивом экономической активности: работники продают свои услуги за денежную заработную плату, предприниматели стремятся

получать денежную прибыль, а производство неприбыльно до тех пор, пока товары не проданы за деньги. Деньги могут служить капиталом и представлять собой форму, посредством которой можно владеть любым неденежным имуществом или претендовать на владение им. Развитие института денег приводит к появлению кредита (ссуды) и процента. В первом приближении процент можно рассматривать как плату, взимаемую за предоставление денег в ссуду на определенный срок. Чем больше величина процента, тем невыгоднее инвестиции и выгоднее сбережения.

Для понимания закономерностей экономического поведения необходимо введение еще двух новых фундаментальных понятий - экономического равновесия и экономического неравновесия.

Состояние экономики называется равновесным, если любой образующийся в нем излишек или недостаток товаров, услуг, капиталов и денег стремится со временем к нулю. Это состояние устойчиво, если система возвращается к нему при малых отклонениях, и неустойчиво в противном случае.

При экономическом равновесии совокупный спрос равен совокупному предложению, инвестиции равны сбережениям, цены и заработная плата стабильны, действительные и ожидаемые экономическими субъектами значения основных экономических величин совпадают, а деньги выполняют в основном функцию средства обращения. Предложение денег в условиях равновесия неизменно, государственные расходы равны государственным доходам, а импорт - экспорту. Если равновесие устойчиво, то в экономике возникает механизм его самоподдержки. Допустим, например, что в некоторый момент времени сбережения стали превышать инвестиции. Тогда возникает избыточное предложение денег и норма процента падает, делая более выгодными инвестиции и менее выгодными сбережения. В результате инвестиции растут, а сбережения сокращаются, восстанавливая равенство инвестиций и сбережений. Если, напротив, инвестиции превышают сбережения, то эффективность инвестиций уменьшается в силу падения спроса на товары и услуги, а сбережения по тем же причинам растут, и равенство инвестиций и сбережений снова восстанавливается.

Различают статическое и динамическое равновесие экономики. При статическом равновесии ВНП неизменен, предложение труда, объем капитала и цены постоянны. При отсутствии НТП, демогра-

фических сдвигов и природных катаклизмов статическое равновесие устойчиво благодаря механизмам самоподдерживания.

Динамическое равновесие - это сбалансированный экономический рост, т. е. рост выпуска и дохода, при котором все произведенные товары и услуги находят сбыт и все платежеспособные потребности удовлетворяются. В отличие от статического равновесия, динамическое равновесие в общем случае неустойчиво, и это ведет к возникновению неравновесия в экономике.

В состоянии неравновесия перечисленные выше равенства экономических величин нарушаются. Совокупный спрос уже не равен совокупному предложению, возникает устойчивый избыток или недостаток сбережений, усредненные предложения экономических субъектов и действительные значения экономических величин начинают систематически отличаться друг от друга. Деньги начинают выполнять не только первичные, но и многие другие функции, превращаясь наряду с трудом и капиталом в самостоятельный фактор производства. Равновесные механизмы самоподдерживания продолжают действовать, но сфера их действия ограничивается появлением новых механизмов самоускорения или замедления изменения значений многих важных показателей (например, среднего уровня цен).

С возникновением неравновесия в экономике начинают проявляться свойства сложной структуры, о которых шла речь в первом разделе. Простейший тип неравновесного экономического поведения - эволюция от одного состояния равновесия к другому, с иным уровнем занятости, выпуска и дохода. В более сложном случае в экономической эволюции возникают бифуркации и происходит «обмен устойчивостью».

В состоянии неравновесия существенна экономическая роль государства. В связи с этим перечислим его основные экономические функции:

- 1) обеспечение правовой базы функционирования экономики;
- 2) защита свободы конкуренции и других экономических свобод;
- 3) частичное перераспределение доходов общества посредством сбора налогов и последующих государственных расходов, в том числе трансфертов: пособий по безработице, по болезни и старости, обеспечение бесплатным медицинским обслуживанием и дешевым жильем;
- 4) контроль над денежным обращением;

5) стимулирование экономического роста, контроль уровней занятости, цен и состояния окружающей среды.

Для достижения социально значимых целей (увеличение темпов экономического роста, уменьшение безработицы, стабилизация уровня цен и пр.) государство может осуществлять различные управляющие воздействия (см. ниже). Однако успех этих воздействий во многом зависит от того, в какой степени они опираются на присущие экономике механизмы самоподдержания, самоускорения, самозамедления и самоорганизации. Рассмотрим несколько типичных примеров.

15.3. Проблема инфляции

По определению, инфляция есть уменьшение покупательной способности денег в результате роста цен. Противоположный процесс - дефляция. В этом случае покупательная сила денег растет из-за падения цен. При росте цен все обладатели денежного имущества уплачивают обществу косвенный налог, равный темпу инфляции. При падении цен они, напротив, получают соответствующую величину. Инфляцию нельзя отождествлять с ростом предложения денег. Если темп роста предложения денег равен темпу роста реального выпуска, то инфляция отсутствует.

И инфляция, и дефляция существенно влияют на мотивы экономического поведения. Инфляционные цены, если инфляция не слишком высока, побуждают к расширению производства, но искажают предпочтения потребителей и предпринимательскую прибыль. Сильная инфляция подрывает денежную систему. Дефляция ослабляет стимулы к производству и увеличивает значимость владельцев денег.

Для современных развитых стран проблема инфляции стала актуальной во второй половине XX в. Так, если в 30-е гг. главной проблемой в Англии была безработица (не менее 10% ежегодно), то затем безработица падает до 2,5%, но начинают расти цены. С 1950 по 1980 г. цены в Англии выросли в 9 раз. Сходные процессы происходили и в других развитых странах.

Необходимо различать фоновую и подлинную инфляцию. Фоновая инфляция сопровождает любой экономический рост. Цены в этом случае растут на 2-3% в год и не создают особой проблемы.

Подлинная инфляция отличается от фоновой значительно большим темпом, а также наличием механизмов самоускорения и самозамедления инфляции. В основе одного из таких механизмов лежит различие между реальным и ожидаемым темпами роста цен. Если покупатели предполагают, что цены возрастут, то они увеличивают закупки по текущим ценам. Это увеличивает спрос, и цены действительно растут. Если, напротив, они предполагают, что цены упадут, то они уменьшают закупки, надеясь докупить остальное по более низким ценам. В итоге спрос уменьшается, толкая цены вниз. Подлинная инфляция, таким образом, связана с предложениями субъектов. Скорость достижения результатов в борьбе с инфляцией, которую общество считает чрезмерной, частично зависит от настроения людей. Чем сильнее распространено убеждение в том, что предлагаемые меры ослабят инфляцию, тем быстрее удастся с ней справиться. И чем сильнее распространены в обществе пессимизм и паника, тем труднее преодолеть инфляцию.

В подлинной инфляции различают инфляцию спроса и инфляцию издержек. При инфляции спроса цены растут из-за того, что спрос систематически превышает предложение. При инфляции издержек цены растут из-за роста затрат на сырье, энергию и заработную плату, на выплату процентов по кредитам. Промежуточное место между ними занимает инфляционная спираль «цены-зарплата-цены». Рост цен заставляет увеличивать заработную плату, что увеличивает предложение денег и спрос, вызывая новый виток роста цен. Теоретически цены в этом случае могут расти до бесконечности.

Заметим, что рост денежной заработной платы не обязательно является инфляционным. Он неинфляционен, если темп роста заработной платы соответствует темпу роста производительности труда. Тогда, при прочих равных условиях, не возникает избыточного предложения денег.

При больших темпах роста цен (50% в месяц и более) наступает гиперинфляция. Цены начинают расти с ускорением. Мировой рекорд в этой области принадлежит Венгрии, в которой индекс цен с августа 1945 г. по июль 1946 г. повышался в среднем на 20 000% в месяц. Такой уровень гиперинфляции возможен только при бумажном денежном обращении, неконвертируемой денежной единице, значительном падении объемов производства и неограниченной эмиссии денег. Как бороться с инфляцией? Однозначного ответа на

этот вопрос не существует, так как успех той или иной меры зависит от конкретных условий. Прямое регулирование (замораживание) цен обычно не помогает, оно просто переводит открытую инфляцию в подавленную, когда возникает дефицит и растет «черная» цена дефицита. Уменьшение предложения денег необходимо, но, как правило, недостаточно для преодоления инфляции. Характер антиинфляционных мер зависит также от того, имеют ли дело с инфляцией спроса или с инфляцией издержек. Для подавления инфляции спроса достаточно уменьшить предложение денег и сделать более привлекательным владение денежным имуществом (по сравнению с имуществом в другой форме). Примером служит опыт Тайваня.

В конце 40-х гг. экономика Тайваня находилась в полуразрушенном состоянии. За год цены росли в среднем в 30-35 раз, объем производства сокращался, а денежная система разрушалась. В 1948 г. была проведена денежная реформа, но безрезультатно. Положение изменилось к лучшему только тогда, когда в марте 1950 г. власти решились на резкое повышение нормы процента: 7% в месяц на одномесечные сберегательные депозиты (при темпе инфляции 34% в квартал). Рост цен почти сразу же прекратился, и вскоре после этого было объявлено о широкомасштабной американской помощи Тайваню. Если вместо инфляции спроса имеет место инфляция издержек, то указанные меры приводят к неоднозначным результатам (возникает бифуркация системы, порождающая различные пути эволюции). Рост процента по вкладам и уменьшение предложения денег (сокращение кредитно-денежной эмиссии) приведет к значительному росту платы за кредит, увеличивая издержки и тем самым цены. При слабом спросе, когда инфляция спроса отсутствует, это ведет к сокращению производства и к росту безработицы, вызывая новое сокращение спроса и повторение всего процесса. Для успешной борьбы с инфляцией издержек необходимо верное определение предельно допустимого (критического) уровня кредитно-денежной эмиссии и темпа роста процента по вкладам.

За узкими границами этого критического уровня реакция экономики будет отличной от ожидаемой. Когда оба указанных показателя ниже критического уровня, то производство останавливается из-за недостатка средств и прекращения инфляций, а когда они выше, то экономика разваливается из-за того, что выходит на режим гиперинфляции.

15.4. Колебания делового цикла

Одной из отличительных черт нелинейных систем, к которым относятся и экономические системы, служит наличие, по крайней мере в потенциальной структуре, предельного цикла - замкнутых повторяющихся траекторий движения. Цикл означает повторение определенного движения. Предельность означает, что одно и то же (или близкое ему) движение повторяется сколь угодно долго.

В экономике предельному циклу соответствуют периодические изменения экономических показателей. Помимо ежегодного кругооборота хозяйственной жизни это деловые циклы продолжительностью в 7-11 лет, циклы Кузнеця с периодом 15-20 лет и колебания с периодом 50-60 лет, получившие название длинных волн. Каждый цикл имеет повышательную и понижительную фазы, соответствующие экономическим подъемам и спадам.

Заметим, что, с точки зрения равновесной теории, существование спадов ненормально и служит признаком того, что в экономике что-то испортилось. С позиций неравновесной теории, учитывающей эффекты нелинейности, цикл (а тем самым и спад как составная часть цикла) есть нормальное проявление функционирования экономики, способ ее самоорганизации и саморегулирования.

Из всех периодических изменений мы рассмотрим деловой цикл (рис. 15.1).

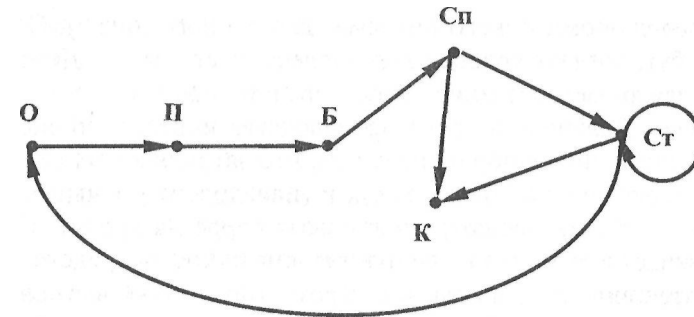


Рис. 15.1. Структура делового цикла:

О - оживление; П - подъем; Б - бум; Сп - спад;
К - кризис; Ст - стагнация (застой)

Оживление представляет собой возникновение повышательной тенденции, подъем - рост этой тенденции, бум - максимум подъема, спад - это смена повышательной тенденции понижательной, кризис - быстрый переход в состояние минимальной деловой активности, стагнация - промежуточное состояние экономики, в котором уже нет спада, но еще нет подъема.

Оживление экономики начинается, когда реализуются непроданные товарные запасы и возникает перспектива новых прибыльных вложений капиталов. Сначала растут в цене акции компаний, которые сумели устоять в период спада, но постепенно, особенно с уменьшением нормы процента, процесс идет вширь, приводя к созданию новых предприятий. Предприниматели соперничают друг с другом за труд, и заработная плата растет. Наступает подъем.

Для подъема характерно резкое увеличение спроса. Растут и объем, и скорость продаж, увеличивая выпуск и порождая поток инвестиций. Возникает дополнительный спрос на стройматериалы, сырье, оборудование, потребительские товары.

Рост спроса приводит к росту цен. Предвидя подъем, многие покупают товары и акции с целью их перепродажи по большой цене. Это ведет к росту спроса на деньги и увеличению производства. Возникает самоускоряющийся процесс роста цен, заработной платы, выпуска продукции и объема кредита. Постепенно этот процесс переходит в бум.

Бум имеет двоякое значение. С одной стороны, это период максимального экономического подъема (для данного цикла). С другой стороны, бум создает условия для последующего спада. Дело в том, что бум завершает создание новых средств производства, начатое оживлением. Дальнейший рост производства инвестиционных товаров становится диспропорциональным, что затрудняет их сбыт. Рост запасов и сокращение объема продаж (или просто уменьшение скорости роста объема продаж) увеличивает спрос на кредит. Положение осложняется тем, что в период подъема спрос на средства производства взвинчивает цены на них. Кроме того, новые вложения еще не успели принести прибыль, и их владельцы стремятся занять больше средств для своих оборотных нужд. В итоге потребности в кредите начинают обгонять возможности получения кредита. Предчувствие возможности спада еще сильнее увеличивает спрос на деньги. Все это отражается на денежном рынке. Рыночная норма процента

быстро растет, обнаруживая поведение, отличное от равновесного. Вблизи от равновесия рост нормы процента уменьшает спрос на кредит. Вдали от равновесия картина иная. Если потребность в кредите превысит некоторое критическое значение, то рост этой потребности будет продолжаться, порождая «бесконечный» спрос на кредит. Регулирование экономики через норму процента становится бессмысленным. Возникает спад как самостоятельное явление, увеличивающее банкротства и уменьшающее степень взаимного доверия.

В период финансового спада деньги сужают только на короткий срок и под огромный процент. Товары продают в основном для того, чтобы оплатить текущие платежи. Поэтому цены на товары и акции начинают падать, и чем дальше, тем быстрее. Появляются сложности в функционировании банковской системы и денежного обращения, грозящие превращением спада в кризис. Роль спада (кризиса) в рыночной экономике так же двойственна, как и роль бума. С одной стороны, спад означает сокращение производства, падение цен и разорение части экономических субъектов. С другой стороны, спад способствует росту эффективности экономики. Он приводит к быстрому обесцениванию неэффективного капитала, к высвобождению факторов производства из ряда старых отраслей, создавая возможности их использования в новых сферах. Постепенно спад преодолевается исправлением прежних ошибок, разорением неэффективных производителей, сменой устаревших технологий, структурными сдвигами производства. Каждое преодоление спада приводит к более высокому технологическому уровню и более высокому значению ВВП, от прироста которого могут выиграть все основные группы населения. Однако спад (кризис) не обеспечивает последующего подъема автоматически, так как может перейти не в оживление, а в состояние затянувшейся стагнации. Для наступления оживления должна уменьшиться норма процента, ставшая непомерно высокой в период спада, и появиться перспектива нового прибыльного использования капиталов. На продолжительность спада влияет также величина срока службы капитального имущества длительного пользования и размер издержек хранения избыточных запасов, которые должны «рассосаться» для того, чтобы наступила фаза подъема.

Вообще говоря, рано или поздно спад и стагнация сменяются подъемом благодаря механизмам саморегуляции рыночной экономики. Однако требуемое для этого время может оказаться большим, а

социальные издержки - чрезмерными. Поэтому стратегическая задача «управления» экономическим циклом состоит в том, чтобы сделать спады более короткими и пологими, а подъемы - более продолжительными, приближаясь по возможности к равновесной траектории сбалансированного экономического роста.

Схема реализации этой цели в рыночной экономике такова. Когда экономика находится в состоянии спада, то государство способствует понижению платы за кредит и уменьшает налоговые ставки, стремится создать новые выгодные сферы приложения капиталов. Оно может также стимулировать рост расширением объема трансфертов (различных денежных выплат населению, не связанных с его участием в производительном труде), предоставлением выгодных госзаказов и пр.

Когда экономика находится на подъеме, то цель управляющих воздействий состоит в том, чтобы не допустить «перегрева» экономики, приводящего к росту инфляции и/или к большей величине последующего спада. Для этого повышают плату за кредит и увеличивают налоги, уменьшают предложение денег.

Сложность такого решения, как и в предыдущем примере, состоит в необходимости точного определения критической величины повышения платы за кредит и темпа роста налоговых ставок. Если обе величины будут меньше критической, то они не окажут заметного воздействия на положение дел, а если больше, то могут вызвать преждевременный спад. При этом изменения могут происходить очень быстро, если управляющие воздействия провоцируют неустойчивость текущего состояния экономики.

15.5. Закон Парето

В свое время А. Смит сформулировал принцип «невидимой руки», согласно которому при наличии конкуренции каждый экономический субъект, заботясь о собственной выгоде, «неизбежно старается, насколько он может, увеличить годовой доход общества. Правда, обыкновенно он вовсе не имеет этого в виду... и направляется невидимой рукой к достижению целей, о которых он вовсе не помышляет... Преследуя свою собственную выгоду, он часто работает на общую пользу более действенным образом, чем если бы задался такой целью».

Для понимания функционирования экономики этот принцип имел основополагающее значение. Вопреки распространенному мнению о том, что общественное благо выше личного, Смит показал, что во главу угла надо поставить индивидуальные интересы, «естественное стремление каждого человека к улучшению своего положения». Рост общественного богатства и приоритет общественных ценностей установятся тогда сами собой. Стремление людей к деньгам и получению прибыли наведет порядок спонтанно, независимо от их желания. Из принципа Смита, однако, нельзя сделать никаких заключений относительно распределения дохода между индивидуумами, т. е. о социальной структуре общества. Ответ на этот вопрос частично может быть получен на основе закона Парето, утверждающего, что *при малых значениях ВВП на душу населения его рост ведет к росту социального неравенства, а увеличение этого показателя, после достижения им некоторого критического значения, уменьшает различия в индивидуальных доходах.*

Действительно, наблюдения показывают, что при относительно малых значениях ВВП его рост ведет к увеличению индекса Джини j , измеряющего степень социального неравенства (чем больше j , тем сильнее неравенство). В XIX в. это обстоятельство оправдывало социалистические теории, которые основывались на том, что рост богатства приводил к росту различий между богатыми и бедными, требовали изменений в распределении богатства в сторону большего равенства. Реализация их требований на практике приводила лишь к уменьшению совокупного дохода и тем самым к увеличению фактического различия между бедными и богатыми. Использование изменений в распределении благ (собственности) в качестве независимых управляющих воздействий на экономику оказалось опасной иллюзией.

Однако тенденция к спонтанному уменьшению различий между доходами богатых и бедных не является философской химерой. Рано или поздно в рыночной экономике достигается такой значительный по величине критический уровень ВВП, начиная с которого j не увеличивается, а уменьшается с дальнейшим ростом ВВП на душу населения. Согласно данным Всемирного банка, средний уровень дохода на душу населения в развитых странах составил в 1984 г. 11 тыс. долл., в средних странах 1300 долл. и в бедных - 260 долл. При этом в первых $j = 0,3-0,4$, а в последних j более или равно 0,6. Эти и другие данные оправдывают закон Парето в принятой им формулировке:

«увеличение богатства по отношению к численности населения с необходимостью вызывает возрастание минимального дохода, или уменьшение неравенства доходов, или же то и другое вместе». Следствием этого закона является спонтанное возникновение (адекватно самоорганизации) среднего класса, составляющего социальную основу развитой рыночной экономики. Заметим, что увеличение совокупного дохода является не непосредственно управляемой переменной, а результатом многих усилий, влияющих на управляемые параметры экономической системы. Одним из таких параметров служит степень индивидуальной свободы, рост которой образует необходимое условие значительного увеличения совокупного дохода. Индивидуальная свобода (в природных системах ей соответствует микроскопический хаос) наилучшим образом отвечает эволюции экономики, будущее которой, благодаря неустойчивостям и бифуркации, принципиально неизвестно (за пределами относительно небольшого «горизонта видимости») и не содержит никакого «абсолютно справедливого» конечного состояния. В этом смысле прав оказался Э. Бернштейн, который по другому поводу сказал: «Движение - все. Конечная цель - ничто».

15.6. История вопроса

Как уже отмечалось, проблему самоорганизации в экономических процессах впервые поставил А. Смит, сформулировав принцип «невидимой руки».

В конце прошлого века, в том числе благодаря трудам М. И. Туган-Барановского, стала ясной самоорганизующая роль спада в деловом цикле, подготавливающего последующий подъем. В основополагающей работе Д. Кейнса показано что, оптимизм А. Смита чрезмерен, так как при определенных условиях сил рыночной саморегуляции недостаточно для преодоления экономического спада и безработицы и что необходимо государственное вмешательство в экономику посредством проведения определенного, зависящего от экономической конъюнктуры, сочетания бюджетной и денежной политик. Поставленная Кейнсом проблема обсуждается вплоть до настоящего времени в получивших широкую известность дебатах между неокейнсианцами и монетаристами. Интересно, что ни одна из сторон

не отрицает ни огромного влияния, какое может оказать на экономику государство, ни реальности сил рыночной саморегуляции. Предмет спора в другом: возможно ли правильно рассчитать все последствия проводимой государством активной экономической политики и не получится ли в итоге, что ее результаты окажутся противоположными тем, какие хотелось получить. И если это так, то не лучше ли просто надеяться на то, что силы рыночной саморегуляции постепенно выведут экономику на правильный путь (при минимальном вмешательстве государства, например, при увеличении объема денежной массы темпом, равным темпу экономического роста).

Сложности, на какие указывают противники «государственного активизма», коренятся на самом деле в проблеме, поставленной впервые не в экономической науке, а в физике и математике. Дело в том, что одни и те же воздействия могут привести к противоположным результатам даже при малых сдвигах в критической области значений параметров сложной системы. Прогресс в изучении этой проблемы связан в первую очередь с именами А. Пуанкаре, А. Андронова, В. Арнольда, Р. Тома, И. Пригожина, Г. Хакена. Методологический анализ современного состояния этой проблемы можно найти в работах В. Н. Костюка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

К разделу 1

1. *Фейнберг Е. Л.* Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М., 1992.
2. *Сноу Ч. П.* Две культуры. М., 1973.
3. *Толстой Л. Н.* Что такое искусство? // Собр. соч.: В 20 т. Т. 15. М., 1964.
4. *Фейнберг Е. Л.* Взаимосвязь науки и искусства в мировоззрении Эйнштейна // Вопросы философии. 1979. № 3.
5. *Хилл П.* Наука и искусство проектирования. М., 1973.
6. *Моисеев Н. Н.* Естественнонаучное знание и гуманитарное мышление // Общественные науки и современность. 1993. № 2.
7. *Небел Г.* Наука об окружающей среде. Как устроен мир: В 2 т. М., 1993.
8. *Доброе Г. М.* Наука о науке. Начала науковедения. Киев, 1989.
9. *Капица П. Л.* Эксперимент. Теория. Практика. М., 1977.
10. *Горелов А. А.* Концепции современного естествознания: Курс лекций. М., 1997.
11. *Кун Т.* Структурные научные революции. М., 1982.
12. *Пойа Д.* Математика и правдоподобие рассуждений. М., 1957.
13. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 2

1. *Бернал Дж.* Наука в истории общества: Пер. с англ. М., 1956.
2. *Кун Т.* Структура научных революций: Пер. с англ. М., 1983.
3. *Азимов А.* Краткая история химии. М., 1983.
4. *Спасский Б. И.* История физики. М., 1977.
5. *Волькенштейн М. В.* Современная физика и биология // Вопросы философии. 1989. № 8.
6. *Князева Е. Н., Курдюмов С. П.* Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. 1992. № 12.

7. *Грин Н, Стаут У., Тейлор Д.* Биология: В 3 т. М., 1993.

8. *Петров М. К.* Социально-культурные основания развития современной науки. М., 1992.

9. *Вернадский В. И.* Труды по всеобщей истории науки. М., 1988.

10. Классическое естествознание и современная наука / Под ред. С. С. Митрофанова. Новосибирск, 1991.

11. *Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания: Учебник под ред. акад. РАН М. Ф. Жукова. Новосибирск, 1997.

12. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.

13. *Рузавин Г. И.* Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

14. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 3

1. *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. М., 1975.
2. *Климишин И. А.* Открытие Вселенной. М., 1987.
3. *Климишин И. А.* Астрономия наших дней. М., 1986.
4. *Фламарион К.* История неба. М., 1994.
5. *Шкловский И. С.* Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М., 1984.
6. Вселенная, астрономия, философия. М., 1988.
7. *Зельдович Я. Б., Хлопов М. Ю.* Драма идей в познании природы. М., 1988.
8. *Мухин Л. М.* Мир астрономии. М., 1987.
10. *Небел Г.* Наука об окружающей среде. Как устроен мир: В 2 т. М., 1993.
11. *Купер Л.* Физика для всех. М., 1973.
12. *Спасский Б. И.* Физика для философов. М., 1989.
13. *Капра Ф.* Дао физики. СПб., 1994.
14. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М., 1989.

15. *Силк Дж.* Большой взрыв. Рождение и эволюция Вселенной. М., 1979.
16. *Брошь Л.* Революция в физике. М., 1963.
17. *Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В.* Основы естествознания. Ч. 1. Екатеринбург, 1996.
18. *Карпенков С. Х.* Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.
19. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 4

1. *Дэвис П.* Пространство и время в современной картине Вселенной. М., 1979.
2. *Мэрион Дою. Б.* Физика и физический мир. М., 1975.
3. *Минковский Г.* Пространство и время. Принцип относительности. М., 1973.
4. *Жуков А. И.* Введение в теорию относительности. М., 1961.
5. *Купер Л.* Физика для всех: В 2 т. М., 1973-1974.
6. *Спасский Б. И.* Физика для философов. М., 1989.
7. *Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В.* Основы естествознания. Ч. 1. Екатеринбург, 1996.
8. *Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания: Учебник / Под ред. акад. РАН М. Ф. Жукова. Новосибирск, 1997.
9. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.
10. *Рузавин Г. И.* Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.
11. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 5

1. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М., 1989.
2. *Эрдеи-Груз Т.* Основы строения материи. М., 1976.

3. *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. М., 1975.
4. *Глестон С.* Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. М., 1961.
5. *Яворский Б. М., Пинский А. А.* Основы физики: В 2 т. М., 1981.
6. *Долгов А. Д., Зельдович В. Я.* Вещество и антивещество во Вселенной // Природа. 1982. № 8.
7. *Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания. Учебник / Под ред. акад. РАН М. Ф. Жукова. Новосибирск, 1997.
8. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики. М., 1989.
9. *Савельев И. В.* Курс общей физики: В 3 т. М., 1989.
10. *Суханов А. Д.* Лекции по курсу физики: В 4 т. М., 1988—1990.
11. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 6

1. *Купер Л.* Физика для всех: В 2 т. М., 1973-1974.
2. *Кемпбел Дж.* Современная общая химия: В 3 т. М., 1975.
3. *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. М., 1975.
4. *Карпенков С. Х.* Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.
5. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.
6. *Рузавин Г. И.* Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.
7. *Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М.* Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 7

1. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М., 1989.
2. *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. М., 1975.
3. *Вайсконф В.* Наука и удивительное (как человек понимает природу). М., 1965.

4. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.

5. Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

6. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 8

1. Броиль Л. Революция в физике. М., 1963.

2. Мэрион Дж. Б. Физика и физический мир. М., 1975.

3. Карапетянц М. Х., Дракин С. И. Строение вещества. М., 1970.

4. Фундаментальная структура материи / Под ред. Дж. Малви. М., 1982.

5. Глестон С. Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. М., 1961.

6. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории. М.; Л., 1932.

7. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: В 4 т. М., 1965—1967.

8. Планк М. Избранные труды. М., 1975.

9. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

10. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 9

1. Кикоин А. К., Кикоин И. К. Молекулярная физика. М., 1976.

2. Василевский А. С., Мултановский В. В. Статистическая физика и термодинамика. М., 1982.

3. Кричевский И. Р., Петрянов И. В. Термодинамика для многих. М., 1975.

4. Кайзер Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов. М., 1990.

5. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.

6. Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

7. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 10

1. Купер Л. Физика для всех: В 2 т. М., 1973-1974.

2. Рэмсен Э. Н. Начала современной химии. Л., 1989.

3. Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В. Основы естествознания. Ч. 2. Екатеринбург, 1996.

4. Мэрион Дж. Б. Физика и физический мир. М., 1975.

5. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. М., 1986.

6. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

7. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 11

1. Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В. Основы естествознания. Ч. 2. Екатеринбург, 1996.

2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 1986.

3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М., 1990.

4. Баблюяц А. Молекулы, динамика и жизнь. Введение в самоорганизацию материи. М., 1990.

5. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов / В. Н. Лаврененко, В. П. Ратников, В. Ф. Голубь и др.; Под ред. проф. В. Н. Лаврененко, проф. В. П. Ратникова. М., 1997.

6. Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. М., 1997.

7. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М., 1992.

8. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 12

1. Суворов А. В., Никольский А. Б. Общая химия. СПб., 1995.
2. Кемпбел Дж. Общая и неорганическая химия. М., 1988.
3. Американское химическое общество. Химия и общество. М., 1995.
4. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998
5. Масленникова И. С. Патенты Российской Федерации: № 2041877, № 2041880, № 2041881, № 2041882, № 2041883.

К разделу 13

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М., 1990.
2. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Синергетика как новое мировидение // Вопросы философии. 1992. № 12.
3. Биология и современное научное познание. М., 1980.
4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 1986.
5. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: В 3 т. М., 1993.
6. Баблюяц А. Молекулы, динамика и жизнь. Введение в самоорганизацию материи. М., 1990.
7. Вилли К., Детье В. Биология: Биологические процессы и законы. М., 1975.
8. Кемп П., Армс К. Введение в биологию. М., 1988.
9. Медавар П., Медавар Д. Наука о живом. М., 1983.
10. Медников Б. М. Аксиомы биологии. М., 1982.
11. Акимушкин И. И. Занимательная биология. М., 1972.
12. Слюсарев А. А., Жукова С. В. Биология: Учебник. Киев, 1987.
13. Небел Г. Наука об окружающей среде. Как устроен мир: В 2 т. М., 1993.
14. Грехем Л. Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М., 1991.

15. Диалектика в науках от природы и человеке. Единство и многообразие мира, дифференциация и интеграция научного знания. М., 1983.

16. Ичас М. Знакомимся с биологией. М., 1994.
17. Глебов Р. Н. Мозг, синапсы и передача информации. М., 1984.
18. Беллер Г. А. Экзамен разума. М., 1988.
19. Гримак Л. П. Резервы человеческой психики. М., 1989.
20. Еремеев В. Е. Чертеж антропокосмоса. М., 1993.
21. Моисеев Н. Н. Алгоритмы эволюции. М., 1987.
22. Югай Г. А. Общая теория жизни. М., 1987.
23. Симонов П. В. Созидающий мозг. М., 1993.
24. Селье Г. От мечты к открытию. М., 1987.
25. Кузнецов Г. А. Экология в будущем. М., 1988.
26. Моисеев Н. Н. Пути к сознанию. М., 1992.
27. Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М., 1994.
28. Карпенко М. Вселенная разумная. М.: 1992.
29. Изард К. Эмоции человека. М., 1980.
30. Горелов А. А. Концепции современного естествознания: Курс лекций. М., 1997.
31. Гуляев С. А., Жуковский В. М., Комов С. В. Основы естествознания. Ч. 3. Екатеринбург, 1996.
32. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 14

1. Хакен Г. Синергетика: Пер. с англ. М., 1980.
2. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. 1992. № 12.
3. Концепции самоорганизации: становление нового образа научного мышления. М., 1994.
4. Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Потанов А. Б. Синергетика-новые направления. М., 1989.

5. Масленникова И. С., Шапошникова Т. А., Дыбов А. М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. СПб., 1998.

К разделу 15

1. Концепции самоорганизации: становление нового образа научного мышления. М., 1994.
2. Самуэльсон П. Экономика: В 2 т. М., 1994.

Таблица открытий¹

1900 г. - немецкий физик Макс Планк ввел понятие кванта энергии и квантовую постоянную. Планк - основатель квантовой механики.

1903 г. - И. П. Павлов на основе экспериментальных физиологических исследований разработал понятие условного рефлекса. Павлов доказал взаимообусловленность и единство психических и физиологических процессов в организме.

1905 г. - Альберт Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности и на основе квантовой гипотезы Планка ввел понятие кванта света (впоследствии названного фотоном).

1908 г. - Герман Минковский дал математическую формулировку теории относительности, введя понятие четырехмерного пространства-времени («четырёхмерного мира»).

1909 г. - открыта «поверхность Мохоровича» - граница раздела между земной корой и мантией Земли.

1911 г. - создание Чарльзом Вильсоном «камеры Вильсона», позволившей наблюдать различные виды излучений, следы которых в газовой среде в комбинации с электрическими и магнитными полями становятся видимыми. При анализе этих «треков» удалось определить заряд и энергию составляющих их частиц.

1911 г. - Эрнест Резерфорд пропустил α -частицы через тонкую металлическую фольгу и наблюдал их рассеяние. Только предположив существование атомных ядер, занимающих в атоме всего лишь 1/1000 часть его диаметра, Резерфорд смог объяснить рассеяние ос-частиц в веществе. Открытие Резерфорда подтвердило гипотезу Дж. Томсона (1903) о существовании положительно заряженного ядра атома. Резерфорд создал планетарную модель атома, в дальнейшем количественно разработанную Нильсом Бором.

1912 г. - Томас Морган предложил теорию локализации генов в хромосомах. Его генная теория основывалась на ряде законов, дополняющих законы Менделя (гены в хромосомах сцеплены друг с другом, число возможных комбинаций между генами внутри хромосом зависит от их удаленности друг от друга, гены одной и той же

¹ Фолт Я., Нова Л. История естествознания в датах. М., 1982.

хромосомы образуют связанную группу, а число этих групп не превышает числа хромосомных пар).

1913 г. - Нильс Бор, используя квантовую гипотезу Планка, разработал количественную модель атома водорода, создав, таким образом, первую квантовую теорию атома.

1915 г. - Нобелевская премия в области физики присуждена английским физикам отцу и сыну Брэггам за исследование структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей. Они экспериментально доказали периодичность атомной структуры кристаллов и тем самым заложили основы современной кристаллографии.

1915 г. - немецкий геофизик Альберт Вегенер опубликовал книгу «Возникновение материков и океанов», в которой изложил свою тектоническую гипотезу дрейфа континентов и первоначального соединения Евразии, Африки и Америки.

1916 г. - А. Эйнштейн опубликовал книгу «Основы общей теории относительности».

1918 г. - норвежский физик и геофизик Вильгельм Бьеркнес объяснил возникновение циклонов из полярных фронтов и разработал методику составления метеорологических карт. Основоположник современной метеорологии.

1919 г. - Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, облучая азот α -частицами (ядрами гелия). Он получил изотоп кислорода.

1920-е гг. - экспериментально подтверждено существование ионизированного слоя в атмосфере (ионосферы). Высота до 20 тыс. км. Кроме нейтральных частиц, ионосфера содержит заряженные электроны и ионы, возникающие под действием солнечного излучения.

1922 г. - советский геофизик и математик А. А. Фридман предложил модель нестационарной расширяющейся Вселенной, основанную на релятивистской космологии. Опирающаяся на эту модель теория «Большого взрыва» объясняет происхождение Вселенной и форм ее материи внезапным скачком.

1923 г. - советский физиолог А. А. Ухтомский создал учение о доминанте, возникновение которой определяет характер рефлекторной реакции нервной системы.

1924 г. - Луи де Бройль в докторской диссертации «Исследования по теории квантов» выступил с идеей о волновых свойствах материи («волны де Бройля»). Он считал, что каждую движущуюся час-

тицу можно описать сопряженной с ней волной. По мнению де Бройля, корпускулярно-волновой дуализм присущ всем без исключения видам материи - электронам, протонам и т. п. Так возникло представление о волнах материи.

1924 г. - южноафриканский анатом Раймонд Дарт обнаружил в Южной Африке ископаемые останки приматов, которые были отнесены к австралопитекам. Их возраст 1 млн лет (в настоящее время возраст этих приматов определяется в 5 млн лет).

1925 г. - в Дейтоне (США) за преподавание теории Дарвина был осужден учитель Дж. Скопс (обезьяний процесс).

1926 г. - австрийский физик-теоретик Эрвин Шредингер разработал волновую механику, в основу которой положил частное дифференциальное уравнение - «уравнение Шредингера». Он показал эквивалентность своей волновой механики и квантовой механики в матричной форме, разработанной Вернером Гейзенбергом (в 1925 г.) квантовой теории.

1926 г. - в Ленинграде издан труд В. И. Вернадского «Биосфера», представляющий собой обобщение геологических, биологических, химических и географических данных о строении поверхности Земли.

1927 г. - Вернер Гейзенберг сформулировал «принцип неопределенности», согласно которому нельзя одновременно совершенно точно определить импульс и положение элементарной частицы (произведение неопределенностей координаты и импульса ограничено некоторой минимальной величиной, равной постоянной Планка).

1928 г. - Поль Дирак теоретически предположил существование античастиц. В 1932 г. первая античастица - позитрон - была открыта в космических лучах.

1929 г. - публичные выступления представителей Венского кружка - учеников австрийского философа и физика Морица Шлика - Рудольфа Карнапа и других, понимавших философию как логический анализ языка науки. Они выдвинули программу построения единой науки, основанной на физике (физикализм).

1929 г. - американский астроном Эдвин Хаббл установил, что смещение линий в галактических спектрах в направлении к «красному» краю (так называемое «красное смещение»), являющееся одним из проявлений «эффекта Доплера», возрастает пропорционально расстоянию, на которое удалены объекты («закон Хаббла») и связано с разбеганием галактических образований.

1929 г. - английский фармаколог и физиолог Генри Дейл установил, что возникновение электрического импульса на конце нерва или синапса, соединяющего два нейрона, сопровождается выделением адреналина или ацетилхолина. Эти вещества стимулируют нервную клетку, передающую возбуждение дальше.

1929 г. - в Китае Гейяр де Шарден обнаружил синантропа - представителя древнейших ископаемых людей, близких к открытому ранее на о. Ява питекантропу. Синантропы использовали огонь 300 тыс. лет назад.

Конец 1920-х гг. - советский физик и физикохимик Н. Н. Семёнов открыл новый вид химических реакций - разветвленные цепные реакции, в ходе которых образуются активные частицы - свободные радикалы, которые, взаимодействуя с исходным веществом, кроме продуктов реакции, вновь образуют радикалы.

1930-е гг. - австрийский зоолог Конрад Лоренц заложил основы новой области биологии - этологии (изучение инстинктивного поведения животных).

1930-40-е гг. - формирование синтетической теории эволюции, сочетающей идеи дарвинизма с современной генетикой.

1931 г. - логик и математик Курт Гедель доказал, что если теория непротиворечива и аксиомы формализованной математики суть теоремы этой теории, то такая теория не полна. Истинность (непротиворечивость) любой теории, содержащей формализованную математику, нельзя доказать с помощью конечных (финитных) процессов в рассуждениях. Таким образом, формализация имеет свои пределы.

1931 г. - канадский патолог Ганс Селье ввел понятие стресса.

1932 г. - гипотеза В. Гейзенберга, Д. Д. Иваненко и И. Е. Тамма о строении атомного ядра из протонов и нейтронов. Число нуклонов равно массовому числу. Сумма масс нуклонов и электронов дает массу атома.

1932 г. - английский физик Дж. Чэдвик открыл нейтрон.

1932 г. - австрийский биолог-теоретик Людвиг Берталанфи разработал теорию биологических объектов как открытых систем, находящихся в состоянии динамического равновесия (так называемая «общая теория систем»).

1932 г. - Чарльз Шерингтон ввел термин «синапс» и показал значение торможения в рефлекторной деятельности спинного мозга. Школа Шерингтона заложила основы современной нейрофизиологии.

1933 г. - немецкий физик Теодор Гейтинг открыл взаимную аннигиляцию частицы и античастицы.

1934 г. - французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность, облучая алюминиевую фольгу α -частицами. Энрико Ферми установил, что при бомбардировке урана нейтронами возникают новые радиоактивные элементы.

1935 г. - японский физик Хидэки Юкава теоретически обосновал наличие в ядрах нестабильных элементов тесно взаимодействующих частиц (мезонов) с очень коротким периодом существования.

1935 г. - началось промышленное производство синтетической ткани - «целлюлозной шерсти».

1935 г. - немецкому биологу Хансу Шпеману присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины за открытие так называемых «организационных эффектов (центров) эмбриона». Установив взаимозависимость развития одной части зародыша от другой, Шпеман сформулировал теорию «организаторов», действующих на развитие частей эмбриона.

1936 г. - английский математик Алан Тьюринг и американский математик и логик Эмиль Пост независимо друг от друга разработали концепцию «абстрактной вычислительной машины». Тьюринг описал также гипотетический универсальный преобразователь дискретной информации, получившей название «машины Тьюринга».

1936 г. - в Англии сконструирована первая система радиолокационной аппаратуры - радаров.

1939 г. - советский математик и экономист Л. В. Канторович выпустил в Ленинграде книгу «Математические методы организации и планирования производства», заложившую основы новой дисциплины - линейного программирования.

1939 г. - Ф. Жолио-Кюри и независимо от него Э. Ферми установили, что расщепление урана-235 сопровождается высвобождением новых (вторичных) нейтронов. Так была открыта цепная ядерная реакция. Чуть позже ими предложен проект первого ядерного реактора.

1941 г. - Норберт Винер опубликовал свой первый труд о сходстве между работой математической машины и нервной системой живого организма.

1942 г. - утвержден проект «Манхеттен», связанный с разработкой атомной бомбы (руководитель - Роберт Оппенгеймер).

1942 г. - осуществлена первая управляемая цепная реакция в ядерном реакторе, созданном в Чикагском университете под руководством Э. Ферми.

1943 г. - О. Ю. Шмидт выдвинул гипотезу метеоритного происхождения Солнечной системы. В 1944 г. опубликовано его исследование «Метеоритная теория происхождения Земли и планет».

1945 г. - США произведен первый экспериментальный взрыв атомной бомбы. 6 августа - атомная бомба сброшена на Хиросиму, погибло 140 тыс. человек, 9 августа - на Нагасаки, погибло 75 тыс. человек.

1946 г. - И. И. Шмальгаузен разработал теорию новой интегрированной формы естественного отбора - стабилизирующего отбора.

1947 г. - В. Амбарцумян открыл новый тип звездных систем - звездные ассоциации (динамически неустойчивые группы молодых звезд) и доказал, что процесс звездообразования во Вселенной продолжается.

1948 г. - Норберт Винер выпустил книгу «Кибернетика, или Управление и связь у животных и машин». Американский математик и инженер Клод Шеннон выпустил книгу «Математическая теория передачи информации».

1948 г. - американские физики Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли создали транзистор, а венгерский физик Деннис Габор сформулировал принцип голографии.

1948 г. - Нобелевская премия присуждена швейцарскому химику Паулю Мюллеру за синтез ДДТ.

1951 г. - осуществлен первый термоядерный взрыв по проекту американского физика Эдварда Теллера. Начало работ над осуществлением управляемой термоядерной реакцией с использованием устройства камеры-ловушки для плазмы «Токамак» (руководитель - И. Е. Тамм).

1953 г. - американский химик и биолог Стенли Миллер показал возможность искусственного синтеза аминокислот из аммиака, метана, водяных паров в условиях, сходных с теми, которые могли быть на земной поверхности вскоре после образования Земли. Синтез мог начаться под воздействием электрических разрядов и ультрафиолетовых лучей.

1953 г. - американский биохимик Джеймс Уотсон и английский физик Френсис Крик открыли структуру ДНК.

1954 г. - введена в действие первая атомная электростанция в Обнинске.

1954 г. - американский палеонтолог Патрик Харлей обнаружил в кремнеземе вблизи Верхнего Озера (Канада) зеленые водоросли, возраст которых, по его предположению, 2 млрд лет, и 8 аминокислот органического происхождения.

1955 г. - шведский физиолог Рагнар Гранит выпустил книгу «Рецепторы и сенсорное восприятие», в которой сообщил о своих экспериментах, доказавших, что импульс от отдельных клеток - рецепторов передается нервным волокном в мозг электрохимическим путем.

1956 г. - американский астроном Вернер Баум, наблюдая скопления галактик на рекордном удалении в 550 Мпс, подтвердил, что Вселенная расширяется, причем увеличение скорости расширения, согласно его данным, составляет 55 км/сек на 1 Мпс.

1957 г. - в г. Дубне вступил в действие крупнейший в мире ускоритель заряженных частиц - синхрофазотрон. С космодрома Байконур поднялся первый искусственный спутник Земли и спущено на воду первое в мире гражданское атомное судно - ледокол «Ленин».

1958 г. - по инициативе американского ученого Лайнуса Полинга более 10 тыс. ученых мира подписали обращение с призывом о прекращении опытов с ядерным оружием.

1958 г. - американские физики Чарльз Таунс и Артур Шавлов теоретически обосновали конструкцию и принцип работы лазера (сокращенно с английского: усиление света при помощи вынужденного излучения) - прибора для получения чрезвычайно интенсивных и узконаправленных пучков монохроматического светового излучения.

1960 г. - неудачная попытка американского астронома Френка Дрейка принять радиосигналы предполагаемых разумных цивилизаций от звезды «тау» экваториального созвездия Кита.

1961 г. - первый полет человека в космос, продолжавшийся 1 час 48 минут.

1963 г. - американский астроном Мартен Шмидт открыл квазары (источники радиоизлучения, близкие к звездному).

1963 г. - английские геологи Ф. Вайн и Д. Метьюз опубликовали статью, заложившую основы тектоники литосферных плит.

1964 г. - английский антрополог и археолог Ричард Лики в ущелье Олдувай на севере Танзании обнаружил остатки стойбища и кости четырех обезьяноподобных людей, близких к австралопитеку и названных «человек умелый».

1965 г. - открыто космическое реликтовое радиоизлучение. Предполагается, что это излучение является следствием взрыва первоначальной очень компактной и раскаленной Метагалактики и доказывает, таким образом, справедливость «горячей модели Вселенной».

1966 г. - Нобелевская премия присуждена французским биологам Франсуа Жакобу, Андре Львову и Жаку Моно за открытие так называемых «структурных генов», отвечающих за синтез ферментов.

1967 г. - американский физик Джеральд Фейнберг и независимо от него индийский физик Эннакал Сударшан выдвинули гипотезу о существовании тахионов - частиц со скоростью большей скорости света.

1967 г. - Нобелевская премия присуждена немецкому физико-химику Манфреду Эйгену и английским химикам Джоржу Портеру и Рональду Норришу за исследование сверхбыстрых химических и биохимических реакций со средней скоростью 10^{-9} с.

1967 г. - южноафриканский хирург Кристиан Барнард в Кейптауне впервые осуществил операцию по пересадке сердца человеку.

1967 г. - английский астроном Энтони Хьюиш и работавшая под его руководством студентка Дж. Белл открыли в остатках сверхновых звезд пульсары (в данном случае речь шла о быстро вращающихся звездах).

1969 г. - первый человек вступил на поверхность Луны.

1974 г. - на Первой международной конференции по этическим проблемам молекулярной биологии и генетической инженерии провозглашен временный мораторий на все опыты с рекомбинацией генетического материала.

1975 г. - Нобелевская премия присуждена за сфероидальную модель атомного ядра.

1978 г. - Нобелевская премия присуждена российскому ученому П. Л. Капице за теоретические и экспериментальные разработки в области физики низких температур. На основе этих исследований созданы установки для сжижения газов и кислородного дутья, которые произвели переворот в химической и металлургической промышленности.

1978 г. - американские физики Арно Пензиас и Роберт Вильсон открыли «реликтовое» излучение, подтверждающее гипотезу Большого взрыва.

1979 г. - Нобелевская премия присуждена Шелдону Глэшоу (США), Абдусу Саламу (Пакистан) и Стивену Вайнбергу (США) за разработку теории электрослабого взаимодействия, обосновавшей существование четырех частиц - переносчиков фундаментальных взаимодействий в природе.

1980 г. - Уолтером Гилбертом (США) и Фредериком Сенгером (Великобритания) установлена последовательность в молекулах нуклеиновых кислот, что позволило технически реализовать производство человеческих гормонов с помощью бактерий.

1981 г. - Нобелевская премия присуждена Николасу Бломбергену (Нидерланды), Артуру Шавлову (США) и Каю Сигбану (Швеция) за теоретические основы лазерной спектроскопии, позволившей получить принципиально новые сведения о строении атомов и молекул.

1986 г. - Нобелевская премия присуждена Герду Биннигу (Германия), Гейнриху Рореру (Швейцария) и Эрнсту Руске (Германия) за создание электронного микроскопа и сканирующего туннельного микроскопа. Эти приборы применяются в физике поверхности и необходимы для исследований в микроэлектронике, биологии и других науках.

1987 г. - Йоханнес Беднорц (Германия) и Карл Мюллер (Швейцария) получили Нобелевскую премию за открытие новых сверхпроводящих керамических материалов.

1989 г. - Нобелевская премия присуждена Сидни Олтмену (США) и Томасу Чеку (США) за открытие ферментативной активности рибонуклеиновых кислот.

1990 г. - Нобелевская премия присуждена американским физикам Джерому Фридману, Генри Кендаллу и Ричарду Тейлору за результаты исследований в области физики элементарных частиц и теории поля, имеющих важное значение для развития кварковой модели строения материи.

1993 г. - американским биохимиком Кэрри Муллисом открыт метод получения неограниченного числа копий ДНК с помощью фермента ДНК-полимеразы, получивший широкое распространение в молекулярной биологии и медицине.

1993 г. - канадским химиком Майклом Смитом разработан метод направленного мутагенеза который сделал возможным получение молекул белков с нужной последовательностью аминокислот (белковая инженерия).

1996 г. - Нобелевская премия присуждена Роберту Керлу (США), Ричарду Смолли (США) и Харалду Крото (Великобритания) за открытие новой формы углерода - фуллеренов.

1997 г. - Нобелевская премия по физике присуждена Стивену Чу (США), Клоду Коэну-Тануджи (Франция) и Уильяму Филипсу (США) за развитие методов охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света. Лазерный свет, действуя, как вязкая жидкость («оптическая патока»), замедляет движение атомов, что позволяет более детально изучать процессы взаимодействия излучения и вещества.

1998 г. - Нобелевская премия по физике присуждена Роберту Лафлину (США), Хорсту Штёрмеру (Германия) и Даниелу Цуи (США) за открытие нового вида квантовой жидкости. В сильном магнитном поле электроны, конденсируясь, образуют новые псевдо-частицы с дробными по отношению к электрону зарядами. В такой системе наблюдаются эффекты, изучение которых может дать более глубокое понимание внутренней структуры и динамики материи (например, сверхтекучесть).

1999 г. - Нобелевская премия по физике присуждена голландским ученым Герардусу Хофту и Мартинусу Велтману за выяснение квантовой структуры электрослабых взаимодействий. Теория элементарных частиц поставлена на более прочный математический фундамент, что обеспечило, в частности, более точное вычисление физических величин, характеризующих поведение этих частиц.

2000 г. - в Ливерморской лаборатории (США) получены свидетельства того, что дейтерий (тяжелый водород) переходит в металлическую форму при давлении 50 ГПа и температуре 8000 К. Примерно такие условия, как полагают, существуют в недрах планеты Юпитер.

2000 г. - Нобелевская премия присуждена российскому ученому Ж. И. Алферову - выдающемуся физика, директору Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург.

Научная проблематика Ж. И. Алферова - исследование полупроводниковых гетеропереходов с целью создать границу раздела фаз, лишенную дефектов, и тем самым повысить эффективность работы лазеров, светоизлучающих диодов и транзисторов, а также солнечных элементов, где используются такие гетероструктуры. Эти исследования нашли широкое применение в технике, в частности, созданные Ж. И. Алферовым и его сотрудниками преобразователи сол-

немного излучения на продолжении многих лет работали и продолжают работать в солнечных батареях космической станции «Мир». Научные разработки Ж. И. Алферова заложили основы принципиально новой микро- и нанoeлектроники, известной сегодня как «зонная инженерия» и претендующей стать фундаментом информационных технологий третьего тысячелетия.

2001 г. - в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) совместно с учеными из Франции и Японии обнаружены ядра сверхтяжелого водорода ${}^5\text{H}$, состоящего из одного протона и четырех нейтронов.

2001 г. - учеными Гарвардского университета (США) получены положительные результаты с остановкой светового луча. Групповая скорость светового импульса в газе из атомов рубидия уменьшилась до нуля. В течение некоторого интервала времени импульс существовал в форме спиновых волн, а затем световой луч полностью восстановился. По мнению ученых, эти результаты могут найти применение, например, при создании «квантового компьютера».

2002 г. - Нобелевская премия по химии присуждена ученым: Джону Фенни (США), Коити Танаки (Япония), Курту Вютриху (Швейцария) за «разработку методов масс-спектрометрического анализа биологических макромолекул», а также «за разработку ядерно-магнитно-резонансной спектроскопии для определения трехмерной структуры биологических макромолекул».

2002 г. - Нобелевская премия по физике присуждена ученым: Масатоси Косибе (Япония), Реймонду Девису-младшему (США), Риккардо Джаккони (США) за открытие двух новых научных направлений научных исследований - нейтринную и рентгеновскую астрономию.

Словарь терминов

Абиогенез - 1) возникновение живого из неживого в процессе эволюции, в настоящее время такого рода абиогенез невозможен из-за отсутствия физико-химических его предпосылок и неминуемого уничтожения возникающих форм преджизни современными живыми организмами; 2) образование органических соединений, характерных для живой природы, вне организмов и без участия ферментов в результате химических реакций между неорганическими веществами.

Абиотический - неживой, неодушевленный.

Автокатализ - ускорение химической реакции одним из ее продуктов, оказавшимся катализатором данной реакции; химический вариант положительной *обратной связи*. В широком значении слова - самоусиливающиеся процессы.

Автоколебания - колебания в физических системах, для которых не требуется периодических внешних воздействий. Условием возникновения автоколебаний является поток внешней энергии и регулирующая поведенческая системы отрицательная обратная связь в ее структуре. Пример: колебания часового маятника.

Адаптация - комплекс физиологических реакций, обеспечивающих приспособление организма или отдельных органов к изменению внешних условий для сохранения в норме важных показателей жизнедеятельности.

Акреция - падение вещества на космические тела из окружающего пространства.

Алгоритм - набор простых правил, приводящих к решению серии однотипных задач.

Альbedo - количество излучения (света), отраженного и рассеянного поверхностью физического тела по отношению к количеству достигшего поверхности излучения. Светлые, особенно белые, поверхности обладают большим альbedo, темные, особенно черные, - малым.

Альтернатива - каждая из исключаящих друг друга возможностей.

Античастица - элементарная частица, имеющая заряд, противоположный заряду основной частицы.

Антиэнтропийное развитие - процессы, в ходе которых *энтропия* физических тел уменьшается, возрастает содержание свободной энергии и (или) информации, увеличивается упорядоченность структуры. Возможность роста количества свободной энергии постулируется лишь для открытых систем, имеющих возможность получать энергию извне. До недавнего времени самопроизвольное антиэнтропийное развитие считалось исключительным свойством живых организмов. В работах ряда исследователей, более всего И. Пригожина, было показано, что при определенном сочетании условий антиэнтропийное развитие *абиотических*, живых и социальных систем так же закономерно, как и развитие энтропийное.

Ароморфоз, по А. Н. Северцову, - относительно быстро протекающий этап биологической эволюции, в процессе которого происходят существенные изменения в строении и функциях организмов, формируются *таксоны* высокого порядка. В результате организмы получают новые возможности для освоения ресурсов внешней среды. Ароморфозы чередуются с более длительными периодами *идиоадаптации*, когда эти возможности реализуются.

Ассимиляция - усвоение живыми клетками питательных веществ посредством фотосинтеза, всасывающей деятельности корней и др.

Баланс - соотношение прихода и расхода денег, энергии, какого-либо вещества, например воды, в технических и природных системах. Баланс вещества и энергии, близкий к нулю (нейтральный), свидетельствует о стабильном состоянии системы. Нарушение баланса может привести к трудноисправимым изменениям в природных комплексах.

Барическое поле атмосферы - распределение величин атмосферного давления у поверхности Земли или на некоторой заданной высоте в определенный момент времени или в среднем за сутки, месяц и т. п.

Белая дыра - результат антиколлапсионного взрыва «черной дыры», когда вследствие сверхсжатия начинаются ядерные реакции в ее недрах.

Белок - высокомолекулярное органическое соединение, построенное из остатков 20 аминокислот и играющее первостепенную роль в процессах жизнедеятельности всех организмов. Молекулярная масса белков - от 5000 до многих миллионов. Белки чрезвычайно

разнообразны, что обусловлено различной последовательностью аминокислотных оснований.

Биогенез - 1) процесс возникновения живого только из живого в органической эволюции Земли; 2) образование органических соединений живыми организмами.

Биологическая продуктивность - способность природных сообществ или составляющих его популяций (одновидовых групп) растений и животных воспроизводить себя с определенной скоростью путем размножения и роста. Измеряется в единицах продукции, массы живого вещества, создаваемого за единицу времени, большей частью - за год.

Биотрон - устройство, предназначенное для создания контролируемой и управляемой внешней среды помещенных в него растений или животных. Биотрон по желанию экспериментатора позволяет изменять температуру, влажность почвы и воздуха, набор питательных веществ и другие характеристики, важные для жизни и развития организмов.

Биоценоз - сообщество адаптированных друг к другу и к конкретной абиотической среде животных, растений, грибов, микроорганизмов, населяющих один и тот же участок суши или водоема.

Бифуркация точки - особые моменты в развитии живых и неживых систем, когда устойчивое развитие, способность гасить случайные отклонения от основного направления, сменяются неустойчивостью. Устойчивыми становятся два или несколько (вместо одного) новых состояний. Выбор между ними определяется случаем, в явлениях общественной жизни - волевым решением. После осуществления выбора механизмы саморегулирования поддерживают систему в одном состоянии (на одной траектории), переход на другую траекторию становится затруднительным. Примеры точек бифуркации: замерзание переохлажденной воды, изменение политического устройства государства посредством революции.

Большой взрыв - энергетический толчок, с которого началось, согласно современным астрофизическим представлениям, дальнейшее развитие Вселенной. Все вещество Мира до Большого взрыва было сосредоточено в минимальном исходном объеме. После начального толчка возникло центробежное расширение пространства, занятого веществом, сопровождающееся его качественными преобразованиями. Расширение продолжается с замедлением и сейчас.

Вакуум - низшее энергетическое состояние поля, при котором число квантов равно нулю.

Виртуальная частица - элементарная частица в промежуточных (ненаблюдаемых) состояниях, существованием которой в квантовой механике объясняют взаимодействия и превращения частиц.

Витализм - идеалистическое направление в биологии, объясняющее особенности живой материи наличием нематериальной «жизненной силы». Виталистические представления содержатся в трудах античных философов Платона и Аристотеля. Нередко жизненная сила отождествляется с душой, управляющей жизнью организмов. В наши дни учение о жизненной силе возрождается в трудах неовиталистов.

Возобновимые ресурсы - природные ресурсы, количество которых пополняется без участия человека: запасы древесины, ресурсы пресной воды и др. См. также *невозобновимые ресурсы*.

Галактики - скопления большого количества (до сотен миллиардов) звезд, имеющие эллиптическую, спиральную или неправильную форму. В одну из галактик - Млечный Путь - входит наша Солнечная система.

Гаплоид - клетка или особь с одинарным (гаплоидным) набором непарных хромосом. Гаплоидны половые клетки, некоторые грибы, водоросли.

Ген - материальный носитель наследственности, единица наследственной (генетической) информации, ответственная за формирование какого-либо элементарного признака. У высших организмов входит в состав хромосом. Совокупность всех генов организма составляет его генетическую конструкцию - генотип. Дискретные наследственные задатки были открыты в 1865 г. Г. Менделем; в 1909 г. В. Иогансен назвал их генами. Развитие молекулярной генетики привело к раскрытию химической природы генетического материала и представлению о генах как об участках молекулы ДНК (у некоторых вирусах РНК) со специфическим набором нуклеотидов, в линейной последовательности которых закодирована генетическая информация.

Генетика - наука, изучающая законы наследственности и изменчивости организмов, а также методы управления наследственностью. Возникновение генетики связано с именами Г. Менделя и Т. Х. Моргана.

Генетические заболевания - болезни человека и других живых организмов, связанные с нарушением аппарата хранения наследственной информации, с биохимическими изменениями в хромосомах. В отличие от других видов болезней генетические заболевания передаются по наследству и со временем могут накапливаться (приобретать генетический груз), ухудшая генотип потомства. В условиях полноценного естественного отбора наследственные линии, пораженные болезнями этого типа, уничтожаются. В человеческом обществе этот механизм оздоровления ослаблен, в связи с чем опасность генетических нарушений резко возросла.

Геном - совокупность генов, содержащихся в одинарном (гаплоидном) наборе хромосом данной животной или растительной клетки.

Генофонд - совокупность генов, которые имеются у особей, составляющих данную популяцию. Подчеркивая необходимость сохранить все ныне живущие виды, говорят также о генофонде Земли (биосферы).

Геосфера - здесь синоним географической оболочки - специфическая оболочка Земли, в пределах которой взаимодействуют и взаимно проникают друг в друга атмосфера, *литосфера*, гидросфера и живое вещество. В другом понимании - одна из частных земных оболочек: *магнитосфера*, атмосфера, гидросфера, литосфера, *мантия* и ядро.

Гомеостаз - относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма. Понятие гомеостаза применяют к биоценозам, в генетике и кибернетике.

Гомеостат - аналоговое электромеханическое устройство, моделирующее свойство живых организмов поддерживать некоторые свои характеристики (например, температуру тела, содержание кислорода в крови) в допустимых пределах.

Гравитационный коллапс - катастрофическое сжатие массивной звезды под действием сил тяготения после исчерпания в ее недрах источников ядерной энергии. Ведет к образованию пульсара, или «черной дыры».

Гравитон - гипотетическая частица гравитационного поля, движущаяся со скоростью света и не имеющая массы покоя (введена для объяснения гравитационного взаимодействия).

Движущий отбор - разновидность естественного отбора, при котором среда обитания организмов благоприятствует изменениям лишь в одном направлении. При этом не происходит отщепления от основного вида дочерних форм, вид (популяция) изменяется как целое.

Дедукция - метод мышления, при котором частные суждения выводятся из общих. Противоположный метод - индукция, посредством которого на основе частных суждений, наблюдавшихся фактов делается заключение о свойствах целого класса предметов или явлений.

Декодирование - расшифровка содержания сообщения, которое для удобства передачи было закодировано, т. е. преобразовано в иную форму. Так, для передачи телеграммы ее содержание кодируется в последовательность электрических импульсов, проходящих по проводам, а в пункте приема они декодируются в буквы и слова.

Демографический взрыв - резкое ускорение роста численности населения во многих странах Азии, Африки и Латинской Америки в 50-60-х гг. XX в. Причина «взрыва» - снижение смертности, особенно детской, в связи с успехами медицины при сохранении прежнего уровня рождаемости. Специалистами прогнозируется постепенное снижение катастрофического роста населения по мере повышения материального и образовательного уровня населения развивающихся стран.

Дисбаланс - нарушение равновесия.

Диссимиляция - комплекс ферментативных реакций расщепления сложных органических веществ, протекающих в живых организмах. Процессы диссимиляции обеспечивают организм запасом свободной энергии и «строительным материалом» для формирования органов и тканей.

Диссипативные структуры - структуры, самопроизвольно возникающие в неустойчивой, нелинейной, насыщенной энергией среде благодаря обратным связям, выводящим систему из состояния равновесия. Возникнув из малых флуктуаций, диссипативные структуры проявляют способность к саморазвитию и размножению, что оплачивается затратами поступающей извне или накопленной ранее энергии. Примеры диссипативных структур: лесной пожар, город с растущей численностью населения.

Диффузия - движение частиц газообразной, жидкой и твердой среды, приводящее к переносу вещества в направлении от большей его концентрации к меньшей. При отсутствии конвекции и других

макроскопических движений среды диффузия осуществляется хаотическим тепловым движением молекул и приводит к выравниванию состава среды.

Длина волны - расстояние от гребня одной волны до гребня следующей. Волны разной длины соответствуют различным цветам. Длина волны красного цвета 0,00008 см, фиолетового - 0,00004 см. Длина волны мала для световых волн и велика для электромагнитных волн.

ДНК, дезоксирибонуклеиновая кислота, - природное химическое соединение, выполняющее в живых организмах функцию носителя генетической информации. Молекула ДНК имеет вид двойной спирали, отдельные участки которой соответствуют генам, определяя морфологические черты организма, его функции и процессы развития. Важнейшее свойство молекул ДНК - способность расщепляться на две взаимодополняющие половинки, каждая из которых «достраивает» недостающую часть, создавая таким образом копии первоначальной структуры. Это свойство обеспечивает передачу наследственных признаков от организмов родителей к их потомкам.

Доктрина - учение, научная или философская теория, политическая система, руководящий теоретический или политический принцип.

Домен - небольшая область в веществе, отличающаяся физическими свойствами от смежных областей, например, домен ферромагнитный - общим направлением магнитных моментов всех атомов.

Доплера эффект - изменение частоты колебаний или длины волн, воспринимаемой наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга.

Духовный - относящийся к деятельности души, к созданию, мышлению, психическим способностям, эмоциям человека.

Естествознание - естественные науки, совокупность наук о явлениях и закономерностях природы.

Жизненный цикл - совокупность фаз развития, пройдя которые, организм достигает зрелости и становится способным дать начало следующему поколению. У животных различают простой цикл и сложный - с метаморфозой (майский жук: яйцо - личинка - куколка - имаго). У высших растений различают однолетний, двухлетний и многолетний жизненные циклы.

Зеленая революция - процесс внедрения во многих странах высокоурожайных сортов зерновых культур, главным образом риса и

пшеницы, происходивший в 60-х гг. XX в. Сопровождался орошением значительных площадей земли, химизацией и ускоренной механизацией сельского хозяйства.

Земная кора - верхняя оболочка «твердой» Земли, отделяемая от последующих слоев поверхностью Мохоровича. Толщина коры под океанами 5-10 км, под материками 35-40 км, до 70 км в горных областях. Подстиляется *мантией*.

Импульс - в физике: произведение массы на скорость; в физиологии: быстро распространяющаяся по нервному волокну волна возбуждения, возникающая при раздражении окончания чувствительного нервного волокна, тела нервной клетки или самого нервного волокна (сопровождается быстрым изменением возбудимости, проводимости, обмена веществ и физических свойств нервного волокна).

Инерциальная система - каждая система, движущаяся прямолинейно и равномерно относительно первоначальной и в которой выполняются законы классической механики.

Интуиция - понимание сути предмета, явления благодаря непосредственному постижению, духовному видению, откровению, без помощи наблюдения и размышления.

Инь-ян - одно из фундаментальных положений древнекитайских и древнеиндийских (в другой терминологии) представлений о строении мира. Предполагается, что весь реальный мир возник в результате соединения двух взаимно дополняющих друг друга начал: мужского, *ян*, и женского, *инь*, и эволюция Вселенной отражает в себе их постоянное взаимодействие. *Ян* и *инь* проявляют свои свойства как в высоком духовном плане, так и в материальном мире. К характерным чертам женского начала *инь* относят такие свойства, как устойчивость, материальность, равновесие, консерватизм, холод, тогда как мужскому началу *ян* свойственны активность, духовность, нарушение равновесия, склонность к риску, тепло и др. В том или ином виде концепция инь-ян нашла отражение во всех мировых религиях и крупнейших философских системах.

Ионосфера - верхние слои атмосферы, выше 50-80 км, отличающиеся повышенным содержанием атмосферных ионов и электронов. Ионизация воздуха происходит под действием ультрафиолетового и рентгеновского солнечного, а также космического излучений.

Квазар - квазизвездный источник энергии, предположительно являющийся протоядром новых галактик. Возможно, представляет собой особую точку Вселенной, в которой сохранилось сверхплотное вещество.

Квант - неделимая порция какой-либо величины (энергии и т. п.).

Кварк - «кирпичики», из которых, по современным физическим представлениям, сложен мир. Их шесть типов, с дробным электрическим зарядом. Последний, шестой из теоретически предсказанных, был открыт в 1994 г.

Комплементарность - взаимное соответствие в химическом строении двух макромолекул, обеспечивающее их взаимодействие - спаривание двух нитей ДНК, соединение фермента с субстратом и т. д. Комплементарные структуры подходят друг к другу, как ключ к замку.

Конвекция - обмен теплом или веществом с помощью потоков.

Континуум - 1) непрерывность, неразрывность явлений, процессов; 2) сплошная материальная среда, свойства которой изменяются в пространстве непрерывно; такие среды рассматриваются в механике, электродинамике и других разделах физики.

Концепция - определенный способ понимания, трактовки какого-либо явления, основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; ведущий замысел, конструктивный принцип различных видов деятельности.

Корпускула - очень малая частица вещества в классической (неквантовой) физике.

Корреляция - соотношение, соответствие, взаимосвязь, нежесткая причинная зависимость между предметами, явлениями или понятиями. Степень взаимосвязанности измеряется в математике коэффициентом корреляции. При прямой корреляции с увеличением одного показателя увеличивается другой, коэффициент имеет положительный знак. При обратной корреляции увеличению одной из переменных отвечает уменьшение другой, коэффициент - отрицательный.

КПД, коэффициент полезного действия, - отношение энергии, полученной в итоге преобразования вида энергии в двигателе или производства какого-либо продукта, к энергии, поданной на вход двигателя или вложенной в производство. Характеризует эффективность производства.

Кризис - поворотный момент, резкий переход к новому течению процесса, переходное состояние. Термин применяется к течению болезни, к развитию экономики, к политическому состоянию в стране, сообществе стран, к психологии, экологии, к развитию явлений культуры и др. Кризис системы характеризуется, как правило, потерей устойчивости или ее снижением, неопределенностью дальнейшего развития, сменой старых структур и *алгоритмов* в широком смысле слова новыми. Во многих случаях кризис можно отождествить с прохождением сложной системой точки *бифуркации*. Участниками процесса кризис, по большей части, воспринимается болезненно, как нарушение установившегося «порядка», но теория систем склонна считать кризисы закономерным этапом эволюции материального мира. Кризис биосферы захватывает как природные, так и социальные составные части географической оболочки.

Лептонные поля - физические поля, образованные легкими элементарными частицами (электронами, позитронами и др.). Реальность этих полей с точки зрения теории не вызывает сомнений, но приписываемые им свойства воздействия на процессы, протекающие в *абиотических* телах и живых организмах, остаются на уровне гипотез.

Ле Шателье принцип - термодинамическая закономерность, согласно которой внешнее воздействие, уводящее систему от равновесия, вызывает в ней процессы, противодействующие этому отклонению. Принцип обобщен на широкий класс систем, в том числе на комплексные природные системы, регулируемые отрицательной *обратной связью*.

Лимитирующий фактор - согласно принципу Либиха и правилу Шелфорда, одно из условий существования растений и животных (температура, вода, пища, места для гнездования и др.), которое в наибольшей степени ограничивает развитие организмов данного вида. Обилие вида в данном местообитании лимитируется в основном одним, реже двумя-тремя факторами.

Литосфера - внешняя оболочка «твердой» Земли, включающая в себя земную кору и часть верхней мантии.

Магнитосфера - область околоземного (околопланетного) пространства, в пределах которой важные физические процессы определяются свойствами собственного магнитного поля Земли и его взаимодействием с потоками космических частиц. На стороне, обращенной к Солнцу, толщина магнитосферы равна 8-14 земным радиусам, на противоположной - нескольким сотням радиусов.

Мантия - оболочка «твердой» Земли, залегающая ниже *коры* до глубины около 2900 км, где начинается ядро Земли. С процессами, идущими в мантии, связаны тектонические движения земной коры, магматизм, вулканизм, дрейф материков и др.

Материализм - философское воззрение, которое видит основу всей действительности, как материальной, так и духовной, в материи.

Материальный - относящийся к материи в философском значении слова, независимый от сознания.

Матрица - углубленная форма, употребляемая в полиграфии для отливки наборных литер, для изготовления набора в наборных машинах. Подобно полиграфическим матрицам матричная *рибонуклеиновая кислота* (РНК) формирует как бы негативный отпечаток структуры *дезоксирибонуклеиновой кислоты* (ДНК), позволяя таким образом копировать и размножить генетическую информацию.

Метагалактика - часть Вселенной, доступная наблюдению современными астрономическими методами. Включает в себя несколько миллиардов *галактик*. По некоторым представлениям является лишь незначительной частью Вселенной.

Модуляция - изменение во времени по какому-либо закону параметров, характеризующих стационарный физический процесс, например частоты, фазы, амплитуды колебания физических полей. Земная атмосфера и гидросфера модулируют по своим законам интенсивность солнечного излучения.

Мутант - организм с явно выраженными признаками *мутации*.

Мутация - изменения наследуемых свойств организма в результате нарушений в структуре генетического материала, в хромосомах. Мутации могут возникать естественно под воздействием постоянно присутствующих в окружающей среде веществ-мутагенов или жесткого излучения. Они могут вызываться также искусственно вследствие загрязнения окружающей среды, соприкосновения с радиоактивными материалами.

Наука - сфера человеческой деятельности, в которой вырабатываются и теоретически систематизируются знания о действительности, допускающие доказательство или эмпирическую проверку.

Негэнтропия - величина энтропии с обратным знаком. Психологически удобно, поскольку наш ум привык негативно воспринимать потерю чего-либо, пользоваться величиной, равной энтропии, но с обратным знаком, которую предложил ввести Шредингер. Один

из творцов теории информации французский физик Леон Бриллюэн (1889-1969) назвал ее негэнтропией: $N = -S$. Негэнтропия представляет качество энергии, которое определяется способностью энергии превращаться в другие виды. Поэтому получается, что «ранг» энергии определяет негэнтропия. Информация эквивалентна отрицательной энтропии. Любая дополнительная информация увеличивает негэнтропию системы.

Невосполнимые ресурсы - согласно классификации Д. Л. Арманды, к ним относятся природные ресурсы, запас которых в геосфере ограничен и не возобновляется идущими в естественных условиях процессами: запасы каменного угля и нефти, металлов, неметаллических ископаемых. Им противостоят ресурсы неисчерпаемые (практически неисчерпаемые), такие как солнечная энергия, и ресурсы возобновимые: древесина, промысловые животные, пресная вода.

Нейтрино - легкая, по некоторым предположениям, совершенно лишенная массы элементарная частица, электрически нейтральная, участвующая лишь в слабом взаимодействии. Обладает уникальной проникающей способностью. Одна из наиболее распространенных частиц, образующихся в ряде процессов ядерных превращений.

НЛО, неопознанные летающие объекты, - периодически появляющиеся в поле зрения людей предметы правильной формы (подобные чечевице, торпедо и др.), самопроизвольно передвигающиеся в атмосфере. Способны останавливать движение, опускаться на землю. Резкие изменения направления и скорости движения, которые иногда демонстрируют НЛО, недоступны для технических устройств, созданных руками человека. По утверждению очевидцев, из НЛО иногда выходят существа, похожие на людей, и совершают разумные, с нашей точки зрения, действия. Официальная наука делает попытки объяснить наблюдения свидетелей атмосферными явлениями, испытаниями секретного оружия, иллюзиями, некоторые ученые близки к признанию их посланцами неземных цивилизаций. Крупнейшие страны - США, Россия организовали у себя службы систематического сбора сведений об НЛО. Есть письменные свидетельства о наблюдениях НЛО в прошлом веке и даже еще раньше.

Нейтронные звезды - небесные тела, возникающие в результате того, что оголенные ядра поглощают электроны, превращая свои протоны в нейтроны, которые могут компактно упаковываться, так как нейтральны.

Транскрипция - биосинтез молекул РНК на матрице (соответствующих участках) ДНК, осуществляющийся в клетках организмов - первый этап реализации генетической информации, в ходе которого последовательность нуклеотидов ДНК «переписывается» в нуклеотидную последовательность РНК. При этом происходит «считывание» генетического кода.

Нуклеотиды - органические вещества, состоящие из пуринового или пиримидинового основания, углевода и фосфорной кислоты; составная часть нуклеиновых кислот.

Обратная связь - такой тип связи между элементами системы, когда не только явление-причина влияет на явление-следствие, но и следствие, в свою очередь, влияет на причину по схеме $A \rightleftharpoons B$. Обратная связь - важный элемент кибернетических устройств и многих природных систем, определяющий такие важные их свойства, как устойчивость, способность к *саморегулированию*, способность к *самоорганизации* и др.

Озоносфера - слой атмосферы от 10 до 50 км с повышенным содержанием трехатомной модификации кислорода O_3 . Максимальная концентрация озона - на высоте 20-25 км. Этот газ образуется из обычного кислорода O_2 под действием ультрафиолетового излучения Солнца и играет роль защитного экрана против губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей. В последние годы наблюдается снижение концентраций озона в приполярных областях, возможно, в результате разрушительного влияния некоторых химических соединений (фреонов и др.), выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями.

Органические вещества - главный субстрат живых тел, без которого жизнь была бы невозможна.

Органоиды - клеточные органы, структуры, выполняющие специфические функции в клетке: хранение и передачу генетической информации, транспорт веществ и превращение энергии и др. Органоиды эукариот включают в себя хромосомы, клеточную мембрану, митохондрии и т. п.

Панспермия - гипотеза о возникновении жизни на Земле посредством переноса с других небесных тел зародышей жизни: спор, семян, клеток. Гипотеза косвенно подтверждается наличием органических соединений в падающих на Землю метеоритах.

Парадигма - 1) строго научная теория, воплощенная в системе понятий, выражающих существенные черты действительности; 2) исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе.

Параметр - величина, характеризующая какое-либо свойство вещества, процесса, устройства, организма.

Парниковый эффект - свойство земной атмосферы избирательно пропускать излучения коротковолнового и видимого диапазона, задерживая длинноволновые тепловые лучи. Этим свойством атмосфера обязана содержащимся в ней газам: двуокиси углерода, метану, парам воды. Часть солнечной радиации, достигшей поверхности Земли, преобразуется в инфракрасное излучение, и оно, задержанное атмосферой, не уходит обратно в космическое пространство, а расходуется, благодаря парниковому эффекту, на нагревание воздуха. С повышением выброса в атмосферу парниковых газов промышленностью и сельским хозяйством существует опасность перегрева приземных слоев воздуха со многими экологическими последствиями.

Пестициды - химические препараты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве для уничтожения сорняков, насекомых и других вредителей, для борьбы с болезнями, уничтожения листьев на деревьях, регулирования роста растений. При систематическом применении стойких высокотоксичных пестицидов происходит загрязнение окружающей среды, отравление полезных насекомых, птиц, рыб, зверей и человека.

Пи-мезоны - элементарные частицы, с помощью которых осуществляется взаимодействие между частицами, входящими в состав ядер атомов.

Популяция - совокупность особей одного вида, обитающая на одной территории. Однородность популяции поддерживается постоянным обменом генетическим материалом между особями в отличие от более редких, эпизодических обменов между разными популяциями. Популяция рассматривается биологами как основная действующая единица эволюционного процесса.

Примат - первенство, преобладающее значение.

Прокариоты - группа простейших организмов, бактерий, отличающаяся от остальных организмов, эукариотов, отсутствием ог-

раниченного мембраной клеточного ядра, а также ряда других клеточных органов. В настоящее время прокариоты рассматриваются как наиболее ранние формы в эволюционном ряду живых существ.

Промышленный потенциал - максимально возможное количество общей продукции всех промышленных предприятий страны при условии наиболее полного и рационального использования всех экономических ресурсов.

Протеин(ы) - простые белки. Состоят только из остатков аминокислот. К протеинам относят многие ферменты. Термин «протеин» употребляется и как синоним слова «белок».

Протопланетное облако - согласно теории О. Ю. Шмидта и его последователей, облако межзвездного газа и пыли, образовавшееся, скорее всего, в результате взрыва сверхновой звезды, которое является исходным материалом для последующего сгущения под действием сил гравитации в планетные тела.

Пульсар - космический объект, за доли секунды меняющий свое излучение.

Радиационный баланс - сумма прихода и расхода потоков излучения, поглощенных и потерянных поверхностью Земли, земной атмосферой, океаном. Приходная часть состоит из поглощенной прямой и рассеянной солнечной радиацией и поглощенной части излучения атмосферы, расходная часть образована собственным излучением поверхности. Нулевой, нейтральный баланс реализуется при равенстве его приходной и расходной частей.

Радиационный фон - сумма ионизирующих излучений природного происхождения, образованных космическими лучами, радиоактивными веществами, содержащимися в горных породах, в почве, в растительных и животных организмах. Противопоставляется искусственным и природным очагам аномального ионизирующего излучения. Земные организмы в ходе эволюции адаптировались к фоновому излучению. В разных частях биосферы естественный фон различается в три-четыре раза.

Радионуклиды - атомы с радиоактивным ядром. Среди них могут быть природные вещества, обладающие радиоактивностью, и изотопы, полученные в ядерных реакторах. Те и другие при определенных концентрациях представляют опасность для живых организмов как мутагены, провоцирующие увеличение скорости *мутаций*, и как источник многих болезней, в том числе рака.

Регенерация - восстановление; здесь - восстановление свойств окружающей среды до состояния, близкого к первоначальному, существовавшему до начала антропогенного воздействия.

Резонанс - способность систем, которым свойственны колебания с некоторой определенной (собственной) частотой, реагировать на колебания соседних систем, если частота последних не сильно отличается от их собственной. При этом может значительно увеличиться амплитуда колебаний, несколько измениться частота. Атмосфера Земли и Солнца, водная оболочка Земли могут проявлять резонансные свойства.

Репликация [ДНК - ре(ду)пликация] - самоудвоение молекулы ДНК. При этом двойная спираль молекулы ДНК сначала разделяется на две отдельные цепи. Затем на каждой из образовавшихся цепей в соответствии с правилом комплементарности из свободных нуклеотидов достраиваются дополнительные дочерние цепи. Каждая вновь образующаяся молекула ДНК, таким образом, состоит из одной «материнской» полинуклеотидной нити и комплементарной ей «дочерней» нити.

РНК, рибонуклеиновая кислота, - высокомолекулярное органическое химическое соединение, участвующее в копировании и переносе генетической информации в процессе размножения организмов.

Сальтации - внезапные скачкообразные преобразования комплекса наследуемых признаков организмов, способные приводить к возникновению новых крупных *таксонов*, синоним макромутации. Существенность эволюционной роли сальтаций и само их существование остаются предметом дискуссии среди биологов-эволюционистов.

Самоорганизация - самопроизвольное возникновение упорядоченных структур из хаотических или более просто организованных состояний вещества. Условиями возникновения систем, ранее не существовавших, является избыток свободной энергии (удаление от термодинамического равновесия) и нелинейный характер связей в системе, усиливающий начальное отклонение от исходного состояния, положительная обратная связь. Новые сочетания связей, т. е. новые структуры, возникают в точках *бифуркации* и затем подвергаются отбору по показателю устойчивости к внешним и внутренним возмущениям. Примером самоорганизации является возникновение новых видов организмов в биологической эволюции.

Саморегулируемые процессы - физико-химические, биологические и социальные процессы, ход, программа которых задается не только изменениями внешних условий - солнечного излучения, конкуренцией соседних структур, управляющими воздействиями сверху, но и внутренним строением, структурой, памятью самой системы, преобразуемой данным процессом. Исключительно важную роль в саморегулировании играют *обратные связи*. Примеры саморегулируемых процессов: возникновение тропических циклонов, возникновение войн.

Симметрия (греч. соразмерность) - правильность формы или неизменность законов.

Синергетика - научная дисциплина, исследующая процессы вынужденного и самопроизвольного возникновения порядка из хаоса, а также обратного процесса - хаотизация организованных структур. Основной объект синергетики - самоорганизующие *диссипативные структуры* в химии, в гидро- и аэродинамике, космологии, экологии, экономике, социологии и др.

Синтетический - обобщенный, объединенный, полученный путем сочетания отдельных элементов.

Системность (целостность) - внутренняя организация Вселенной, обладающая саморазвитием и эмерджентными свойствами и функционирующая по принципу обратных связей.

Скрытая теплота испарения - количество тепловой энергии, которое надо сообщить жидкому веществу в состоянии термодинамического равновесия для перевода его в газообразное состояние. Частный случай теплоты *фазового перехода*.

Спонтанный - самопроизвольный, вызванный внутренними причинами.

Стабилизирующий отбор (по И. И. Шмальгаузену) - один из видов естественного отбора, когда в условиях стабильной среды обитания наиболее жизнеспособными оказываются потомки организма, в наименьшей степени отклоняющиеся по своим свойствам от предка. Стабилизирующий отбор свидетельствует о максимальной адаптированности вида к условиям среды обитания. Видообразование при этом сильно замедляется.

Стационарное состояние - состояние системы, при котором его характеристики в среднем сохраняются неизменными. Происходят лишь кратковременные обратимые *флуктуации* характеристик, не меняющие существенных свойств системы.

Стохастический процесс - случайный, вероятностный процесс, в ходе которого состояния системы изменяются по закону случайных величин и предсказание состояний возможно лишь в терминах теории вероятностей.

Субстрат - химическое вещество, подвергающееся превращению под действием фермента. Концентрация субстрата в клетке оказывает регулирующее влияние на активность фермента.

Сциетизм - абсолютизация роли науки в системе культуры, в идейной жизни общества; в качестве образца берутся естественные науки, математика.

Таксон биологический - единица классификации, объединяющая группу родственных организмов. Система таксонов имеет иерархическое строение. Начиная от подвида к виду, роду, семейству и т. д., степень родства становится все более отдаленной.

Тектоника - отрасль геологии, изучающая развитие структуры *земной коры*; в переносном смысле - комплекс преобразующих кору процессов. Причиной образования разломов и складок горных пород, извержений вулканов и другого являются процессы преобразования Земли как планеты, перемещения и трансформации вещества в ее более глубоких слоях.

Теллурические причины изменений - внутриземные причины.

Теория «холодной» Земли - система представлений, согласно которым наша планета образовалась не из расплавленного вещества Солнца, а самостоятельно, из холодных частиц газопылевого космического облака.

Термическое поле атмосферы - распределение температур атмосферы у поверхности Земли или на некоторой высоте над уровнем моря в конкретный момент времени или усредненное за некоторый период.

Трансляция - биосинтез полипептидных цепей белков, идущий в клетке путем «считывания» генетической информации, «записанной» в последовательность нуклеотидов в матричных РНК. При этом осуществляется процесс «сбора» аминокислот в соответствующие генетическому коду последовательности.

Тренд - тенденция, направленность развития событий в определенную сторону.

Трофическая пирамида, трофическая цепь - ряд организмов, связанных между собой отношением «пища - потребитель». Основ-

ные ярусы трофической пирамиды состоят: а) из зеленых растений, первичных продуцентов, б) растительноядных животных, консументов первого порядка, в) плотоядных животных, консументов второго порядка, г) плотоядных следующего яруса, консументов третьего порядка, д) плотоядных, консументов четвертого порядка. Трофическая пирамида редко включает в себя более пяти ярусов. Человек нарушает стройность этой структуры, потребляя в пищу представителей всех этажей трофической пирамиды.

Утилитарный - прикладной, узкопрактический, направленный на получение материальной выгоды.

Фазовый переход вещества - переход вещества от одного термодинамически устойчивого состояния (фазы) к другому, сопровождающийся появлением новых свойств. Фазовый переход завершается резко, скачком, при постепенном изменении температуры, давления, напряженности магнитного поля и т. п. Фазовые переходы в одну сторону сопровождаются поглощением значительных количеств энергии, в другую сторону - выделением эквивалентных количеств скрытой энергии. Примеры фазовых переходов: ионизация газов, превращение газа в жидкость, жидкости в твердое тело.

Фенотип - комплекс свойств и признаков взрослого организма. Формируется в ходе индивидуального развития отдельного животного или растения при взаимодействии наследственных свойств организма и условий окружающей среды.

Фермент - специфические протеины, играющие роль катализаторов в реакциях, протекающих в живых системах.

Филогенез - развитие вида.

Финализм - представление о строго запрограммированном характере биологической эволюции, ведущей организмы к заранее заданной цели. Финализм входит составной частью во многие эволюционные концепции, например ламаркизм, номогенез Л. С. Берга и др.

Фитогенная среда - физические условия существования организмов в растительном сообществе, включающие в себя температуру, влажность, освещенность, газовый состав атмосферы и другие параметры, которые зависят не только от состояния почвы, атмосферы вокруг сообщества, но и от видового состава растений, их густоты, фазы развития и т. п.

Флуктуация - случайное отклонение величины, характеризующей систему из большого числа частиц, от ее среднего значения.

Примеры: флуктуации плотности молекул в объеме газа, завихрения на поверхности текущей воды.

Фотон - элементарный квант света.

Фотосфера - нижний слой солнечной атмосферы толщиной 200-300 км. Фотосфера имеет температуру от 8 до 4500 К и является источником большей части исходящих от Солнца электромагнитных излучений. Интенсивность излучений варьирует во времени.

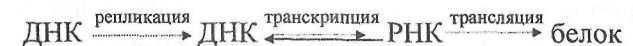
Характерное время - характеристики скорости, темпа различных процессов. Скорость колебательных процессов может измеряться длительностью одного цикла, скорость *асимптотических* процессов - временем полураспада (например, ядер радиоактивных веществ); для описания ускоряющихся процессов используется время удвоения (например, численности населения Земли) и т. п.

Хиральность - сохранение в процессах, связанных с жизнью, только одной из двух возможных пространственных структур (левой или правой), а соответствующим образом отобранные молекулы называются хиральными. Левая и правая конфигурации молекул живых веществ определяются по их реакции на проходящий свет и способности поворачивать при этом плоскость поляризации влево или вправо. В неживом веществе того же химического состава реализуется смесь с равновероятным содержанием молекул обеих возможных конфигураций, поэтому поворота света, проходящего через молекулы, не происходит.

Хаотическая смесь органических молекул обеих пространственных конфигураций называют рацематом, а процесс образования такой смеси - рацемизацией. Рацемат, возникающий при абиогенном синтезе органических молекул, - это пример равновесного, симметричного состояния конечного продукта синтеза.

Переход в процессе зарождения жизни от рацемата к хиральности не мог произойти в ходе эволюционного, плавного развития, здесь имел место скачок со всеми характерными чертами самоорганизации вещества.

Центральная догма молекулярной биологии (правило потока генетической информации) - генетическая информация передается от нуклеиновых кислот к белку и никогда не передается в обратном порядке от белка к нуклеиновым кислотам:



Циклоида - кривая, которую вычерчивает точка катящегося колеса, а также точка на спице, длина которой больше радиуса колеса (нестрогое определение).

Частотный спектр излучений - видимые и невидимые излучения, приходящие к Земле от Солнца и из Космоса, представляют собой сложный набор электромагнитных колебаний разной частоты (длины волны) - Распределение пучка волн по частотам носит название его частотного спектра.

Шум (в теории информации) - помехи, искажающие смысл сообщения, передаваемого от источника приемнику информации.

Эвтектика - расплав смеси компонентов (минералов), которые способны кристаллизоваться из расплава при температуре более низкой, чем температура плавления отдельных компонентов (синергический эффект). Кристаллизация сопровождается выделением скрытой теплоты, что может переводить в жидкое состояние новые порции горных пород.

Экологическая ниша - часть воображаемого многомерного пространства, в котором обитают организм или вид организма. Многомерное пространство составляется из реального физического пространства, местообитания, из функциональных связей организма с соседями, например положения в системе *трофических* взаимодействий (кто кого поедает), и из показателей внешней среды: температуры, влажности, освещения и т. п. В сумме эти показатели составляют экологическое пространство. В нем организм или вид занимает определенный объем - экологическую нишу.

Экосистема - природный или измененный человеком комплекс живых организмов и компонентов неживой природы, связанный обменом веществ, энергии и информации. Термин применяется к системам разного размера, от биосферы в целом до лужи с населяющими ее живыми существами.

Экспоненциальное развитие - развитие, проходящее с ускорением, подчиняющееся закону степенной функции $y = a^x$, в более узком смысле слова - экспоненциальной функции $y = e^x$, где e - основание натуральных логарифмов, а x больше единицы. График функции представляет собой ветвь параболы, отходящей с течением времени все дальше от оси абсцисс.

Энтропия - понятие, введенное Р. Клаузиусом для определения степени необратимого рассеяния энергии в термодинамических про-

цессах. В дальнейшем понятие энтропии стало применяться в статистической физике, в теории информации и других и дисциплинах как мера неопределенности опыта, как вероятностная мера хаотичности, неупорядоченности процессов и структур.

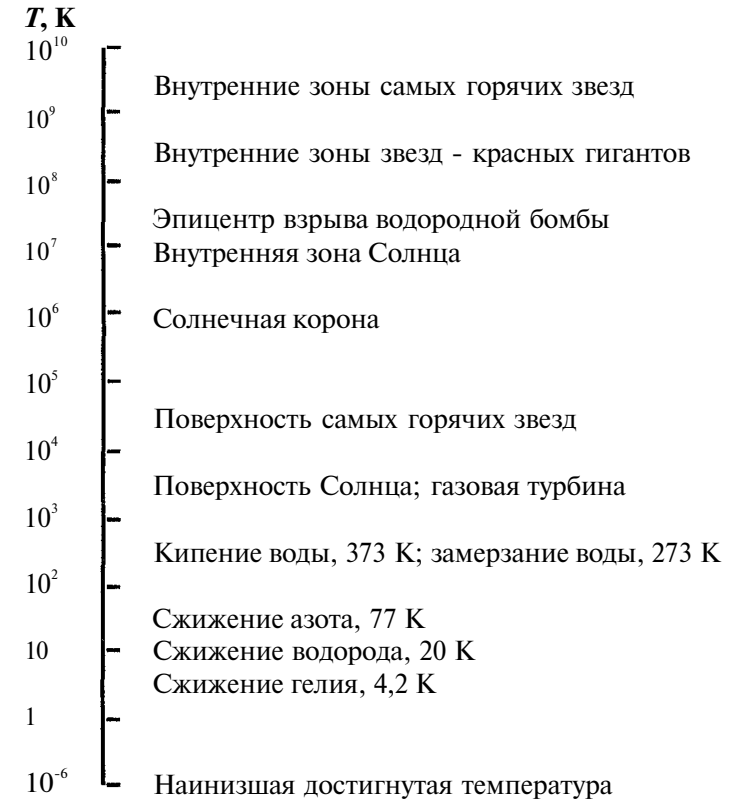
Этногенез - процесс возникновения и развития этносов, этнических отношений, исторически возникших устойчивых групп людей, относящих себя к одному народу. Сознание единства возникает на основе общности исторического пути, традиций, структуры взаимоотношений, культуры. Этнические объединения людей могут иметь разный ранг: этнос, субэтнос, суперэтнос.

Ядерная зима - обобщенное название серии моделей, разработанных в СССР и США, с помощью которых сделаны прогнозы последствий ядерной войны между великими державами. Основной результат исследования моделей сводится к тому, что в первые минуты войны возникнет пожар такой интенсивности, что в очагах сгорят все вещества, способные вступать в соединение с кислородом, включая металлы. Продукты сгорания в виде копти распространятся над поверхностью Земли, образуя непроницаемый для солнечных лучей черный экран. В течение последующих месяцев охлаждение поверхности на несколько десятков градусов до $-50\text{--}60^\circ\text{C}$ сделает невозможным существование на Земле практически любой жизни.

Физические постоянные

Наименование	Обозначение	Значение
Гравитационная постоянная	G	$6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1} =$ $= 1,25663706144 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	$\hbar = h/2\pi$	$1,0545887 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Атомная единица массы, 1 а.е.м. = = $1/12 m(^{12}\text{C})$	$m_{\text{а.е.м}}$	$1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	M_e	$9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $5,4858026 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,007276470 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,008665012 \text{ а.е.м.}$
Заряд электрона (абсолютное значение)	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Фарадея	F	$96484,56 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31441 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях ($t = 0^\circ\text{C}$, $p = 101,325 \text{ кПа}$)	V_0	$2,241 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{моль}$
Нормальное атмосферное давление	$p_{\text{атм.н}}$	$101\,325 \text{ Па}$
Ускорение свободного падения (нормальное)	g_n	$9,80665 \text{ м/с}^2$
Энергия покоя электрона	$m_e c^2$	$0,5110034 \text{ МэВ}$
Энергия покоя протона	$m_p c^2$	$938,2796 \text{ МэВ}$
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2$	$939,5731 \text{ МэВ}$
Масса атома водорода ^1H		$1,07825036 \text{ а.е.м.}$
Масса атома дейтерия ^2H		$2,014101795 \text{ а.е.м.}$
Масса атома гелия-4 ^4He		$4,002603267 \text{ а.е.м.}$
Радиус первой боровской орбиты	a_0	$5,2917706 \cdot 10^{-11} \text{ м}$

Области температур во Вселенной



**Характеристики волн видимой области спектра
и прилегающих к ней участков**

Наименование	Длина волны, м	Частота, 10^{14} Гц
Ближнее инфракрасное излучение	$1,0 \cdot 10^{-6}$	3,0
Красный свет максимальной длины волны в видимой области	$7,6 \cdot 10^{-7}$	3,9
Оранжевый свет	$6,1 \cdot 10^{-7}$	4,9
Желтый свет	$5,9 \cdot 10^{-7}$	5,1
Зеленый свет	$5,4 \cdot 10^{-7}$	5,6
Голубой свет	$4,6 \cdot 10^{-7}$	6,5
Синий свет минимальной длины волны в видимой области	$4,0 \cdot 10^{-7}$	7,5
Ближнее ультрафиолетовое излучение	$3,0 \cdot 10^{-7}$	10
Длинноволновое рентгеновское излучение	$3,0 \cdot 10^{-9}$	1000

Приставки СИ для образования десятичных и дольных единиц

Наименование	Обозначение приставки		Множитель
	Русское	Международное	
экса	Э	E	10^{18}
пета	П	P	10^{15}
тера	Т	T	10^{12}
гига	Г	G	10^9
мега	М	M	10^6
кило	к	K	10^3
гекто	г	H	10^2
дека	да	Da	10^1
деци	д	d	10^{-1}
санти	с	s	10^{-2}
милли	м	m	10^{-3}
микро	мк	μ	10^{-6}
нано	н	n	10^{-9}
пико	п	p	10^{-12}
фемто	ф	F	10^{-15}
атто	а	A	10^{-18}

Значения теплоты образования некоторых веществ при 25°С

Вещество	Q _{обр} ккал/моль	Вещество	Q _{обр} ккал/моль
O _{2г}	0	CO _г	26,41
O _{3г}	-34,0	CO _{2г}	94,05
H ₂ O _г	57,8	Fe ₂ O _{3г,тв}	196,50
H ₂ O _ж	68,32	Fe ₃ O _{4г,тв}	267,0
HF _г	64,20	Al ₂ O _{3г,тв}	399,09
HCl _г	22,06	CaO _{тв}	151,9
HBr _г	8,66	CaCO _{3г,тв}	288,45
HI _г	-6,20	CH _{4г}	17,89
S _{ромб}	0	C ₂ H _{6г}	20,24
S _{монокл}	-0,07	NaF _{тв}	136,0
SO _{2г}	70,96	NaCl _{тв}	98,23
SO _{3г}	94,45	KF _{тв}	134,46
H ₂ S _г	4,81	KCl _{тв}	104,17
H ₂ SO _{4ж}	193,91	C _{графит}	0
NO _г	-21,50	C _{алмаз}	-0,45
NO _{2г}	-8,09	F _{2г}	0
NH _{3г}	11,04	Cl _{2г}	0
HNO _{3ж}	41,40	Br _{2ж}	0
H ₂ O _{2г}	32,30	Br _{2г}	-7,34
H ₂ O _{2ж}	44,70	I _{2тв}	0
PH _{3г}	-4,10	I _{2г}	-14,88

Данные взяты из книги: *Зайцев О. С.* Химическая термодинамика к курсу общей химии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973.

Вопросы к зачету и экзамену

1. Сущность и содержание предмета «Концепции современного естествознания». Зачем нужны гуманитариям знания по основам естествознания?
2. Естественнонаучная и гуманитарная культура.
3. Сущность научного метода.
4. Общий ход развития и история естествознания. Периоды в развитии естествознания.
5. Классификация проблем естествознания.
6. Особенности эволюционно-синергетической парадигмы науки,
7. Понятие материи. Свойства материи.
8. Структурные уровни организации материи. Микро-, макро- и мегамиры.
9. Сущность революции в физике на рубеже XIX и XX вв.
10. Основные представления о микромире. Строение атома, его свойства. Строение ядра атома.
11. Элементарные частицы. Аннигиляция. Ядерные реакции.
12. Развитие представлений о макромире. Строение и состав солнечной системы, законы И. Кеплера. Возмущения в движении планет, открытие Нептуна. Закономерности в многообразии звезд. Суть спектрального анализа. Галактики. *Расширяющаяся Вселенная.*
13. Концепция относительности пространства-времени.
 - 13.1. Особенности специальной теории относительности.
 - 13.2. Преобразования Г. Галилея и их крушение.
 - 13.3. Постулаты А. Эйнштейна. Преобразования Г. Лоренца, постоянство скорости света.
 - 13.4. Релятивистская динамика (величина скорости, импульса, энергии, массы). Лоренцево сокращение длины, замедление течения времени. Зависимость массы тела от скорости.
 - 13.5. Соотношение между массой и энергией.
 - 13.6. Принципы общей теории относительности. Единство и различие между специальной и общей теориями относительности. Следствия и выводы ОТО.
14. Фундаментальные взаимодействия в природе.

- 14.1. Гравитация.
- 14.2. Электромагнетизм.
- 14.3. Слабое взаимодействие.
- 14.4. Сильное взаимодействие.
- 14.5. Концепции дальнего действия и ближнего действия.
15. Понятие поля. Корпускулярная и континуальная концепция описания природы. Интенсивность взаимодействия, константы связи.
16. Законы сохранения в природе (классическая физика).
 - 16.1. Закон сохранения массы и энергии.
 - 16.2. Закон сохранения электрического заряда.
 - 16.3. Законы сохранения импульса и момента импульса.
17. Симметрия пространства и времени, ее проявление в законах сохранения.
18. Основные положения квантовой (волновой) теории.
 - 18.1. Квантовая гипотеза М. Планка, крушение классической теории излучения.
 - 18.2. Фотоэлектрический эффект.
 - 18.3. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны Луи де Бройля. Принцип соответствия.
 - 18.4. Распределение вероятностей, описывающих взаимодействие электронов или фотонов с веществом. Волновая функция.
 - 18.5. Принцип неопределенности В. Гейзенберга и принцип дополнительности Н. Бора.
 - 18.6. Принцип суперпозиции.
 - 18.7. Принцип неопределенности и детерминизм. Значение квантовой механики.
19. Динамические и статистические закономерности в природе. Вероятность как атрибут сложных систем.
20. Законы сохранения энергии в макроскопических процессах.
 - 20.1. Первое и второе начала термодинамики. «Вечный» двигатель первого и второго рода.
 - 20.2. Статистический смысл второго начала термодинамики.
 - 20.3. Энтропия. Принцип возрастания энтропии. Гипотеза о «тепловой смерти» Вселенной.
 - 20.4. Необратимость - неустранимое свойство реальности. Стрела времени.
21. Порядок и беспорядок в природе.
22. Идеи И. Пригожина о развитии необратимых процессов. Порядок из хаоса. Диссипативные структуры.
23. Энергетика химических реакций.
 - 23.1. Химическая система.
 - 23.2. Тепловой эффект химической реакции. Закон Г. И. Гесса.
 - 23.3. Реакционная способность вещества. Равновесие в химических реакциях.
 - 23.4. Влияние концентрации, давления и температуры на сдвиге химического равновесия. Принцип Ле Шателье.
24. Особенности биологического уровня организации материи.
 - 24.1. Основные отличия живого от неживого.
 - 24.2. Принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем.
 - 24.3. Основные факторы организации и устойчивости биосферы.
 - 24.4. Происхождение жизни и появление человека на Земле.
 - 24.5. Основные закономерности (принципы) эволюции.
 - 24.6. Законы генетики и молекулярной биологии.
 - 24.7. Физиология, здоровье, творчество, работоспособность человека. Функциональная асимметрия мозга человека.
 - 24.8. Стратегия выживания человечества и экологическое мировоззрение.
 - 24.9. Экология и здоровье.
 - 24.10. Понятие ноосферы. Космические и биологические циклы.
25. Понятие «синергетика». Самоорганизация в живой и неживой природе. Необратимость времени и эволюции.
26. Принцип универсального эволюционизма. Путь к единой культуре.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Естественнаучная и гуманитарная культуры.....	6
1.1. Проблемы двух культур.....	6
1.2. Научный метод.....	8
2. История естествознания до начала XX в. Панорама современного развития естествознания. Рождение новой эволюционно-синергетической парадигмы науки.....	10
2.1. Предмет и цели естествознания.....	10
2.2. Общий ход развития естествознания.....	11
2.3. Классификация проблем естествознания.....	15
2.4. Особенности эволюционно-синергетической парадигмы науки.....	16
3. Структурные уровни организации материи. Микро-, макро- и мегамиры.....	21
4. Теория относительности - теория пространственно-временных закономерностей физических процессов.....	36
4.1. Система Мира Ньютона.....	36
4.2. Картина Мира Эйнштейна.....	39
5. Фундаментальные взаимодействия в природе.....	59
5.1. Гравитационное взаимодействие.....	62
5.2. Электромагнитное взаимодействие.....	67
5.3. Ядерные (сильные) взаимодействия.....	70
5.4. Слабые взаимодействия.....	71
5.5. Понятие поля.....	73
6. Законы сохранения в природе.....	77
6.1. Закон сохранения массы и энергии (закон сохранения и превращения энергии).....	77
6.2. Закон сохранения электрического заряда.....	82
6.3. Закон сохранения импульса и момента импульса.....	83
6.3.1. Закон сохранения импульса.....	83
6.3.2. Закон сохранения момента импульса.....	85
7. Симметрия пространства и времени, ее проявление в законах сохранения.....	87
7.1. Некоторые проявления симметрии в природе.....	87
7.2. Симметрии и классические законы сохранения.....	92
8. Элементы квантовой теории.....	99
8.1. Крушение классической теории излучения. Квантовая гипотеза М. Планка.....	100
8.2. Фотоэлектрический эффект.....	102
8.3. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны Луи де Бройля. Принцип соответствия.....	104
8.4. Распределение вероятностей, описывающих взаимодействие электронов или фотонов с веществом. Волновая функция.....	108
8.5. Принцип неопределенности В. Гейзенберга и принцип дополнительности Н. Бора.....	111
8.6. Принцип суперпозиции.....	113
8.7. Принцип неопределенности и детерминизма. Значение квантовой механики.....	113
9. Динамические и статистические закономерности. Вероятность как атрибут сложных систем.....	117
10. Законы (начала) термодинамики.....	120
10.1. Термодинамический метод рассмотрения систем и процессов.....	120
10.2. Первое начало термодинамики.....	123
10.3. Второе начало термодинамики.....	126
10.4. Энтропия. Принцип возрастания энтропии.....	129
10.5. Статистический смысл второго начала термодинамики.....	133
10.6. Гипотеза о «тепловой смерти» Вселенной. Стрела времени. Энтропия и информация.....	135
11. Порядок и беспорядок в природе. Идеи И. Пригожина о развитии необратимых процессов. Порядок из хаоса, диссипативные структуры.....	141
11.1. Порядок из хаоса, диссипативные структуры.....	141
11.2. Бифуркация, нарушение симметрии, новая информация.....	148
11.3. Идеи И. Пригожина о развитии необратимых процессов.....	154
12. Основы химических процессов.....	157
12.1. Химические системы.....	157
12.2. Химическая кинетика.....	163
12.3. Энергетика химических процессов.....	165
13. Особенности биологического уровня организации материи.....	169
13.1. Основные отличия живого от неживого.....	169

13.2. Разум и жизнь.....	175
13.3. Основные принципы биологии. Эволюция: изменчивость, наследственность и естественный отбор.....	177
13.4. Психофизиология человека. Здоровье, болезнь, творчество..	187
13.5. Космические и биологические циклы.....	189
13.5.1. Ритмы в природе.....	189
13.5.2. Ритмы и физические поля организма.....	193
14. Синергетика. Концепции самоорганизации. На пути к единой культуре.....	198
14.1. Общее представление о синергетике.....	198
14.2. Концепции самоорганизации.....	199
14.3. Самоорганизация в живой и неживой природе.....	203
14.4. Принцип универсального эволюционизма.....	207
14.5. Путь к единой культуре.....	210
15. Самоорганизация и эволюция в социально-экономических процессах.....	212
15.1. Системная характеристика сложных (диссипативных) процессов.....	212
15.2. Экономика как пример «диссипативной» системы.....	215
15.3. Проблема инфляции.....	220
15.4. Колебания делового цикла.....	223
15.5. Закон Парето.....	226
15.6. История вопроса.....	228
Библиографический список.....	230
<i>Приложение 1. Таблица открытий.....</i>	<i>239</i>
<i>Приложение 2. Словарь терминов.....</i>	<i>250</i>
<i>Приложение 3. Физические постоянные.....</i>	<i>272</i>
<i>Приложение 4. Области температур во Вселенной.....</i>	<i>273</i>
<i>Приложение 5. Характеристики волн видимой области спектра и прилегающих к ней участков.....</i>	<i>274</i>
<i>Приложение 6. Приставки СИ для образования десятичных и дольных единиц.....</i>	<i>275</i>
<i>Приложение 7. Значения теплоты образования некоторых веществ при 25°C.....</i>	<i>276</i>
<i>Приложение 8. Вопросы к зачету и экзамену.....</i>	<i>277</i>

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Масленникова Ирина Сергеевна
Дыбов Анатолий Михайлович
Шапошникова Татьяна Андреевна

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебник

Редактор *А. Г. Сахно*
Корректор *Т. О. Гольмдорф*
Компьютерная верстка *О. Д. Мамоновой*

ИД № 00918 от 02.02.2000 г.

Подписано в печать 05.12.02. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типогр. № 1.
Печать цифровая. Усл.-печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 16,3. Изд. № 67. Тираж 500 экз. Заказ 467.

СПбГИЭУ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Марата, 27.
ИзПК СПбГИЭУ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Марата, 31.