

Федеральное агентство по образованию
Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева

В. П. Жереб, А. А. Снежко, С. С. Ивасев

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

*Утверждено редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия
для студентов финансово-экономического и
гуманитарного факультетов всех форм обучения*

Красноярск 2009

УДК 531+543+669 (075.8)

ББК 2 я7

Ж59

Рецензенты:

кандидат химических наук, доцент М. Н. ВАСИЛЬЕВА
(Сибирский федеральный университет);

кандидат философских наук, доцент Е. А. ЖИРНОВА
(Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева)

Жереб, В. П.

Ж59 Концепции современного естествознания : учеб. пособие для студентов факультета экономики и финансов, гуманитарного факультета всех форм обучения / В. П. Жереб, А. А. Снежко, С. С. Ивасев ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 132 с.

На основе теоретических концепций, сложившихся в различных областях естествознания, дается представление о рациональных моделях реальности, их логическом фундаменте, абстрактных объектах и формах количественного описания.

Для студентов экономических и гуманитарных специальностей.

УДК 531+543+669 (075.8)

ББК 2 я7

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2009

© Жереб В. П., Снежко А. А., Ивасев С. С., 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	9
1. Освоение реальности и устойчивость человечества	13
1.1. Образная и рациональная формы освоения реальности. Религия и наука	13
1.2. Общие представления об устойчивости. Устойчивость и стабильность: общность и различия. Устойчивость реальности и проблема устойчивого развития человечества.....	19
Контрольные вопросы и задания.....	24
2. Наука как форма рационального освоения реальности человечеством	25
2.1. Методологические научные принципы.....	25
2.2. Научные теории, гипотезы и рациональные модели реальности.....	27
2.3. Аксиомы, постулаты, фундаментальные законы и фундаментальные принципы	29
Контрольные вопросы и задания.....	31
3. Фундаментальные научные принципы	31
3.1. Фундаментальный принцип сохранения	31
3.2. Фундаментальный принцип диссипации	32
3.3. Фундаментальный антропный принцип	33
3.4. Классификация рациональных моделей реальности.....	34
Контрольные вопросы и задания.....	35
4. Основные положения консервативной модели реальности	35
4.1. Абстрактный объект консервативной модели и характеристики его состояний.....	36
4.2. Законы сохранения в классической механике.....	39
4.3. Механическое равновесие и его устойчивость.....	41
4.4. Проблема противоречивости движения (апории Зенона Элейского) и ее разрешение И. Ньютоном.....	44
Контрольные вопросы и задания.....	45
5. Реальное пространство и пространство в консервативной модели реальности	45
5.1. Три пространственных масштаба и основные свойства пространства реальности.....	46

5.2. Основные свойства пространства в консервативной модели	50
5.3. Природа относительности в консервативной модели. Принцип относительности Галилея.....	52
Контрольные вопросы и задания.....	53
6. Реальное время и время в консервативной модели реальности.....	53
6.1. Проблема непостижимости реального времени и три аспекта его рационального представления.....	53
6.2. Инвариантность законов классической механики относительно инверсии времени	54
6.3. Третий закон И. Ньютона. Механическое равновесие. Концепции дальнего действия и ближнего действия.....	55
6.4. Закон Кулона. Завершение консервативной модели реальности в электродинамике	60
Контрольные вопросы и задания.....	64
7. Понятие фазового пространства. Представление устойчивости объекта в фазовом пространстве	64
7.1. Способы описания объектов	65
7.2. Фазовые портреты маятников и проблема математического моделирования реальности.....	66
7.3. Состояние объекта в фазовом пространстве и предопределенность	69
Контрольные вопросы и задания.....	70
8. Возможности и ограничения консервативной модели реальности	70
8.1. Теория относительности	70
8.2. Квантовая механика	73
8.3. Классическая физика и наблюдаемый облик цивилизации. Мировоззренческое значение представления о консервативности реальности	76
Контрольные вопросы и задания.....	77
9. Становление диссипативной модели реальности	78
9.1. Теория теплоты Ж-Б. Ж. Фурье. Особенности причинно-следственной связи в законе распространения теплоты.....	78
9.2. Теорема С. Карно и невозможность создания вечного двигателя второго рода.....	82
Контрольные вопросы и задания.....	83

10. Основные положения диссипативной модели реальности	
на примере термодинамики	84
10.1. Принцип возрастания энтропии и гипотеза «тепловой смерти» Вселенной. Становление фундаментального принципа диссипации	84
10.2. Статистический смысл энтропии. Формула Л. Больцмана. Понятие об информации.....	88
10.3. Термодинамическая система и характеристики ее состояния. Локализованные и распределенные системы	90
10.4. Энергетический профиль термодинамической системы. Состояния стабильного и метастабильного равновесий. Лабильное состояние системы	98
Контрольные вопросы и задания.....	101
11. Устойчивость состояния равновесия системы	
в диссипативной модели реальности	101
11.1. Устойчивость реальности и ее представление в диссипативной модели. Устойчивость состояния равновесия. Принцип Ле Шателье	101
11.2. Правило фаз Гиббса. Критерий максимального разнообразия и устойчивость сложных систем	103
11.3. Третий закон термодинамики (принцип недостижимости температуры абсолютного нуля)	105
Контрольные вопросы и задания.....	107
12. Фазовое пространство диссипативной модели. Фазовые	
диаграммы состояния равновесия	
физико-химических систем	107
12.1. Основы физико-химического анализа	107
12.2. Фазовые диаграммы состояния равновесия физико-химических систем	109
Контрольные вопросы и задания.....	111
13. Термодинамика неравновесных процессов	112
13.1. Термодинамическая система в неравновесных условиях. Информационный смысл внешнего воздействия	112
13.2. Состояния «вблизи» и «вдали» от равновесия. Линейная и нелинейная термодинамика неравновесных процессов	114
Контрольные вопросы и задания	115

14. Явление самоорганизации в неравновесных системах «вдали» от равновесия. Природа диссипативных структур	116
14.1. Пространственные диссипативные структуры. Гидродинамический эффект Бенара и макроскопическая упорядоченность	116
14.2. Пространственно-временные диссипативные структуры. Реакция Белоусова. Брюсселятор	118
14.3. Бифуркация и нарушение симметрии	119
Контрольные вопросы и задания	121
15. Глобальные проблемы человечества	121
15.1. Моделирование реальности	122
15.2. Становление антропной модели реальности и перспективы развития научной рациональности. Теория этногенеза Л. Н. Гумилева	125
Контрольные вопросы и задания	127
Заключение	128
Библиографический список	129

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Концепции современного естествознания» появилась в учебных планах экономических и гуманитарных специальностей вузов сравнительно недавно на волне реформ российской высшей школы. Эта дисциплина входит в цикл общематематических и естественно-научных дисциплин Государственного образовательного стандарта профессионального высшего образования РФ и призвана решать основную задачу – «научить будущего специалиста систематизации и структуризации знаний с целью выделения в огромном потоке информации фундаментальных закономерностей и универсальных принципов»*. Ее изучение закладывает основы общенаучной фундаментальной подготовки будущего специалиста и должно способствовать «формированию представлений о современной естественно-научной картине мира, воспитанию основных приемов познавательной деятельности, без которых не может обойтись ни один специалист, в какой бы области он ни работал»**.

Предлагаемое учебное пособие написано в соответствии с требованиями, предъявляемыми учебной программой и Государственным образовательным стандартом. Очерчен круг вопросов, относящихся к естествознанию, с целью стимулировать проникновение методов естествознания в другие науки – в частности, гуманитарные и экономические.

В ходе изучения материала студенты ознакомятся с понятием реальности и формами ее существования (пространством и временем), фундаментальными и методологическими принципами, получат представление о научных картинах мира, основанных на разных концепциях, в том числе концепциях самоорганизации, системного подхода и др.

Дидактический материал в форме вопросов и заданий, помещенных в конце каждой главы, даст студенту возможность самостоятельно проконтролировать усвоение информации.

* Примерная программа дисциплины «Концепции современного естествознания». Издание официальное / Государственный комитет РФ по высшему образованию. М., 1996.

** Примерная программа дисциплины «Концепции современного естествознания» для специальности 060800 «Экономика и управление на предприятии» (по отраслям) / Минобразования РФ. М., 2000.

В силу ограниченности объема книги некоторые проблемы в данном пособии были лишь обозначены. Заинтересованный читатель может обратиться к литературе обширного библиографического списка.

Специфический круг проблем, рассматриваемых в дисциплине «Концепции современного естествознания», не позволяет обойтись без использования некоторых философских и науковедческих понятий. Поскольку учебное пособие предназначено для студентов первого курса, не изучавших еще философии, при рассмотрении этих понятий неизбежны упрощения, опирающиеся на школьные представления из курса обществоведения.

Учебное пособие отдельным изданием публикуется впервые. Большую помощь в его подготовке оказали многие студенты, за что авторы выражают им искреннюю благодарность. Недостатки же авторы относят только на свой счет и будут благодарны всем, кто на них укажет (vpzhereb@rambler.ru).

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени в фундаментальных науках вообще и в науковедении в частности отсутствуют концепции теоретического характера, которые могли бы стать основой общенаучного фундамента представлений о реальности. Имеющиеся представления о науке [26] не позволяют непротиворечивым образом описать феномен науки: ни его структуру и границы научного знания, его возможности и ограничения, ни перспективы рационального освоения реальности.

В силу вышеизложенных причин в преподавании дисциплины «Концепции современного естествознания» в вузах проявились и со временем закрепляются две взаимоисключающие тенденции. Первая характеризуется популярным и крайне упрощенным представлением сведений из естественных наук, вторая – попыткой философского анализа современного состояния науки, обычно не выходящего за рамки концепции Т. С. Куна, его последователей и оппонентов [20]. Часто при изложении и первых, и вторых представлений делается попытка рассматривать их как междисциплинарные, или даже трансдисциплинарные. Не подвергая сомнению полезность каждой из указанных тенденций для расширения кругозора будущего специалиста, заметим, что существенно большей результативности в создании общенаучного фундамента представлений о реальности можно достичь, если придать дисциплине «Концепции современного естествознания» общенаучный, или точнее, *наддисциплинарный* характер, основанный на представлениях о формировании в науке особого типа теоретических обобщений – *рациональных моделей реальности*.

Выделение рациональных моделей реальности позволяет изучаемой дисциплине занять самостоятельное и особое место в системе научного знания. Несмотря на то что в этом представлении используются теоретические концепции, сложившиеся в различных областях естествознания, прежде всего в физике, дисциплина «Концепции современного естествознания» не может быть сведена ни к физике, ни к химии, ни к биологии, ни к какой-либо другой отдельной области естествознания. Широкое использование положений фундаментальных физических теорий в курсе «Концепции современного естествознания» неизбежно и вполне оправдано тем, что физика во все времена имела особый, фундаментальный статус в науке. Отличие же места, которое занимает эта дисциплина в системе научного знания, от дру-

гих областей естествознания, определяется ее наддисциплинарностью, тем, что *предметом* дисциплины «Концепции современного естествознания» являются сложившиеся в науке *рациональные модели реальности*, их логический фундамент, логическая структура, *абстрактные объекты* этих моделей и формы количественного описания их состояния. В круг проблем, которые рассматриваются в этой дисциплине, также входит проблема пределов применимости этих рациональных моделей, т. е. определение той сферы, того масштаба реальности, состояние которых может удовлетворительно прогнозироваться с использованием таких моделей.

Рациональной моделью реальности мы будем называть такую общенаучную теоретическую конструкцию, которая имеет особый, *наддисциплинарный статус* в науке и обеспечивает удовлетворительный прогноз состояний всей реальности как целого на необходимую перспективу. Как и любая научная теория, рациональная модель реальности имеет дедуктивную природу и представляет собой логически обоснованную, внутренне непротиворечивую и эмпирически проверенную форму закономерностей причинно-следственных отношений, т. е. отвечает всем требованиям, предъявляемым к научной теории. Однако в отличие от дисциплинарной научной теории, позволяющей прогнозировать состояние объекта в рамках какой-либо области научного знания (физики, химии, астрономии, экономики и др.), рациональные модели реальности претендуют на описание всей реальности как самостоятельного объекта науки. Такое *наддисциплинарное положение* в науке рациональных моделей реальности обеспечивается их логическим фундаментом, образованным *фундаментальными научными принципами*, в отличие от обычных научных теорий, логическую основу которых составляют либо *аксиомы или постулаты*, либо *фундаментальные законы – частные проявления в конкретной области знания наиболее общих фундаментальных принципов*.

На первый взгляд может сложиться впечатление, что дисциплина «Концепции современного естествознания» претендует на то положение, которое обычно принято отводить философии науки. Но если философия создает *картину реальности*, используя как образные, так и рациональные представления, то дисциплина «Концепции современного естествознания» занимается строго теоретическим исследованием общенаучных представлений, существующих в форме наддисциплинарных рациональных моделей реальности.

Общенаучный уровень представлений наддисциплинарного характера открывает широкие возможности для применения строгих теоретических подходов в тех областях человеческой деятельности, которые традиционно относились к гуманитарным и где, казалось бы, это невозможно. Дисциплина «Концепции современного естествознания» позволяет понять, при каких условиях можно применять рассматриваемые в ней модели для рационального описания и эффективного прогнозирования состояния различных явлений нефизической природы, например экономических, этнических, экологических и других подобных им процессов. Во второй половине XX века, в связи с обострением глобальных проблем человечества, стало ясно, что для поиска путей их разрешения только качественного, а часто просто умозрительного, опирающегося на здравый смысл, анализа этих проблем явно недостаточно.

Далее будет показано, что те проблемы, с которыми некогда сталкивалось человечество в прошлом, находили свое разрешение исключительно в результате создания такой научной, как правило – физической, теории, логическим основанием которой становились новые, ранее неизвестные закономерности причинно-следственных отношений реальности, которые, с одной стороны, были очевидны или являлись обобщением всего предшествующего опыта человечества, а с другой – имели такой уровень обобщения, который обеспечивал им как минимум дисциплинарную фундаментальность, т. е. уровень фундаментальной закономерности. Такими закономерностями в механике стали законы сохранения полной энергии, импульса и момента импульса, в термодинамике – принцип возрастания энтропии в изолированной системе. Каждая такая новая закономерность причинно-следственных отношений реальности имела более глубокий, сущностный характер и позволяла, при более широких обобщениях, выделить новую сущность реальности и связанный с ней фундаментальный научный принцип, в полном соответствии с известным методологическим научным принципом, сформулированным У. Оккамом.

Такие физические теории впоследствии становились прообразом новой модели реальности. Так было с классической механикой, которая стала не только теоретической основой проектирования машин, повысивших в десятки и сотни раз производительность труда человека, но и послужила технической и интеллектуальной основой формирования индустриальной цивилизации, характеризующейся отличным от средневекового обликом городов (благодаря возникновению новых

возможностей у архитектуры), созданием современных средств коммуникации, транспорта и т. п.

Аналогичная ситуация, но несопоставимо более значительная по масштабу последствий для современной цивилизации, сложилась после возникновения термодинамики, которая не только стала теоретической основой создания тепловых машин и современной энергетики, но и положила начало целой эпохи в науке – системному подходу и системным представлениям об устойчивости, без которых невозможно было бы осознание современных глобальных проблем человечества.

Одной из основных идей современного естествознания является утверждение о том, что *устойчивость* служит атрибутом реальности. Поэтому любая часть реальности обладает устойчивостью, необходимо только в процессе освоения реальности выявить условия, от которых эта устойчивость зависит и обеспечить наиболее эффективное управление ею. Это относится и к человечеству как природному явлению, и к государству, и к семье, и к любому объекту реальности. Актуальность такого подхода очевидна, особенно в свете глобальных проблем человечества. Любое прогнозирование, сопоставление альтернативных вариантов развития, или, как теперь принято говорить – сценариев будущего, требует формулирования строгих, т. е. качественно и количественно определенных, критериев устойчивости и сравнения их значений для различных сценариев. Обращение к понятию «рациональная модель реальности», как нам представляется, дает возможность выделить основные черты таких строгих научных подходов, существенно упростить их освоение студентами в специальных дисциплинах.

Все теоретические науки, основанные на разуме,
содержат априорные синтетические суждения
как принципы.
И. Кант

Всё сущее не делится на разум без остатка.
И. В. Гёте

1. ОСВОЕНИЕ РЕАЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Прежде чем приступить к изучению материала, дадим определение понятия *реальность* (впредь мы будем стремиться к тому, чтобы каждое важное понятие было определено, как это принято в естествознании); итак, реальностью будем называть все воспринимаемое нами непосредственно или с помощью принятых в науке технических средств. Иными словами, реальностью для нас будет все, что мы можем наблюдать.

У понятия *реальность* есть несколько синонимов – действительность, видимость и т. п. Мы же для строгости изложения будем пользоваться только термином *реальность*.

1.1. ОБРАЗНАЯ И РАЦИОНАЛЬНАЯ ФОРМЫ ОСВОЕНИЯ РЕАЛЬНОСТИ. РЕЛИГИЯ И НАУКА

Долгое время единственным воплощением реальности для человечества был так называемый микромир, т. е. то, что наблюдается непосредственно. С появлением микроскопа и, затем, телескопа произошли важнейшие изменения в человеческом восприятии окружающего мира – радикально расширились масштабы реальности и в сфере реальности были включены микро- и мегамир. Здесь сама собой напрашивается аналогия с ребенком: до некоторого времени весь мир для младенца заключается в той комнате, где стоит его кроватка, – детской – это и есть для него непосредственно воспринимаемая реальность. И какое радикальное изменение представлений вплоть до потрясения вызывает у ребенка знакомство с другими помещениями квартиры, с улицей, с другим городом и миром вообще.

Определяя реальность через ее наблюдаемость, мы следовали традиции, заложенной Исааком Ньютоном, который еще в XVII веке ограничил реальность только наблюдаемыми явлениями, избавив науку от разного рода «ненаблюдаемых» качеств объектов реальности.

Наблюдаемость как свойство реальности неразрывно связано с другим ее важным качеством – устойчивостью, т. е. наблюдаться могут только те явления, которые обладают способностью проявлять себя, выделяться хотя бы на некоторое краткое время. Вот почему, как будет ниже показано (см. п. 1.2), время может рассматриваться как количественная характеристика устойчивости.

Далее было бы удобно разделить всю реальность, все наблюдаемые явления, на *природные* и те, что представляют собой *продукты цивилизации* – все, что создано человечеством.

Человек и человечество – природные явления, которые должны жить и существовать в изменяющейся окружающей реальности, т. е. они должны адаптироваться – это главное условие устойчивости. Успешная адаптация человечества обеспечивается *освоением реальности* – превращением связанной с ним части реальности в свою часть. У отдельного человека это проявляется как расширение сферы интересов. В начале жизни, в младенческом возрасте – это естественное стремление освоиться в этом мире и научиться управлять своим телом (например, брать игрушку рукой, ходить, говорить и др.), т. е. реализовать заложенные в нас природные способности.

Аналогичные процессы происходят и при освоении реальности, существующей вне нашего организма. Однако наша устойчивость в этом случае определяется нашей способностью предугадывать изменения непосредственно связанной с нами реальности, прогнозировать ее состояния. Эта потребность хорошо выражена в русской поговорке: «Знал бы, где упаду – соломки бы подстелил». Поэтому осваивая реальность, существующую как внутри, так и вне нас, мы хотим иметь возможность прогнозировать происходящие в ней изменения для того, чтобы и самим изменяться, и, если это возможно, воздействовать на окружающую среду, изменяя ее в прогнозируемом, но безопасном для нас направлении. Эта же цель заложена в самой сущности человечества – оно может существовать, только осваивая реальность.

Освоение реальности – это превращение лежащей в сфере наших интересов части реальности в «свою часть», т. е. создание условий, при которых мы владеем ею, как частью собственного тела – рукой, языком и т. п., т. е. имеем возможность ею управлять для дости-

жения вполне определенных целей. Таким образом, чтобы жить, и человеку, и человечеству необходимо осваивать реальность.

На первый взгляд может показаться, что для человека и для человечества эти процессы полностью аналогичны. *Аналогией* в науке принято называть процесс переноса знаний с одного объекта на другой, подобный первому [34]. При этом предполагается, что объект, который используется для получения знаний – *аналог* – более доступен для исследования, например, он проще устроен, легче наблюдаем и более устойчив и т. п. Но самое главное требование к аналогу – он должен быть *подобен* изучаемому объекту. С условиями или критериями подобия мы знакомимся еще в школьной геометрии – в разделе «Планиметрия» при изучении подобных треугольников. Тогда же становятся понятными преимущества метода аналогий – ведь геометрия возникла как наука об измерении земли – основного источника благосостояния в Древнем мире. Но вместо трудоемкой работы по измерению площадей земельных участков ученики в геометрии осваивают закономерности сопоставления геометрических фигур, которые подобны по форме реальным участкам земли. Разработанные в геометрии научные методы и полученные в ней закономерности не только заложили основы научного знания, но и убедительно продемонстрировали гуманистический потенциал строгой дедуктивной теории в разрешении одного из главных конфликтов в жизни человечества – конфликтов из-за земли. Такие же продуктивные аналогии имеют место и в других науках, но только при условии соблюдения требования подобия между реальным объектом и его аналогом.

Но вернемся к проблеме аналогии между человеком и человечеством. Очевидно, что человек – часть человечества. В однородных объектах многие свойства *целого* сохраняются в его *части*. Так, основные свойства морской воды сохраняются в каждой ее капле. Нет необходимости съедать всю кастрюлю супа, чтобы определить его вкус – достаточно попробовать ложку супа. И капля моря, и ложка супа являются аналогами свойств соответствующего *целого*, или, как говорят в аналитической химии – являются *представительной выборкой*. Однако жизненный опыт подсказывает, что в сложных явлениях *часть* не всегда является удачной аналогией *целого*, а проблема выделения представительной выборки требует специального анализа в каждом конкретном случае.

Вот и в нашем случае следует выделить существенные различия между такими природными явлениями, как *человек* и *человечество*. Позже (в гл. 10 и 15) мы вновь рассмотрим эти различия, а сейчас следует отметить, что человек – *пространственно определенное* (ча-

ще используют термин «локализованное») явление, т. е. у него имеются хорошо определяемые и связанные с самой природой человеческого организма пространственные ограничения (например, поверхность тела), позволяющие отделить человека от окружающей среды. Иными словами, человека, как и любой другой организм, мы можем легко наблюдать и представлять, пространственно выделяя из окружающей среды, а человечество – это пространственно неопределенный (чаще используемое название «распределенный») объект, не имеющий связанных с его природой пространственных ограничений, т. е. каких-либо четко определяемых в пространстве границ. По этому признаку распределенности аналогом человечества является семья, в которой распределение ее членов по пространству (например, отъезд детей на учебу в другой город), не означает распада семьи. Таким образом, и человечество, и семья, и ряд других природных явлений в силу их распределенности не всегда наблюдаются как выделенные в пространстве, но относительно четко воспринимаются как устойчивые во времени явления.

Уже только этих замечаний достаточно, чтобы быть осторожными при проведении аналогий между локализованным и распределенным объектами вообще, и человеком и человечеством в частности. Поэтому формы освоения реальности и механизмы обеспечения устойчивости у человека и человечества, в силу этих существенных отличий, имеют различное воплощение.

Процесс освоения реальности человеком целостен и физически неразделим. Однако современный уровень развития психологии познания позволяет разделить этот процесс в зависимости от того, что играет определяющую в нем роль – чувства или разум, на две взаимосвязанные формы – образную и рациональную. Поэтому впредь будем исходить из того, что освоение реальности осуществляется в двух формах: в образной и рациональной.

Образное представление предшествует любому другому представлению реальности. Главная роль при этом отводится чувственному восприятию, которое предшествует рациональному. *Образная форма освоения реальности* характерна как для человека, так и для человечества.

Ребенок, начиная осваивать реальность, создаёт своё собственное представление о ней и о том, как удобно и безопасно в ней находиться. Его представление о реальности основывается только на особом – духовном – постижении конкретных явлений, выражаемых, как правило, в чувствах и эмоциях. У зрелых людей это духовное начало позже проявляется как неизживаемая потребность и стремление

к творчеству в любом виде деятельности, а редкие, художественно одаренные люди способны выражать это духовное начало в художественной форме. Этот этап освоения реальности совершенно необходим – без него не было бы устойчивости, так как духовное начало лежит в основе стереотипа устойчивого поведения человека.

С определенного возраста у ребёнка возникает потребность в рациональном освоении реальности – формировании жизненного опыта, т. е. в установлении сначала очевидных, для узкой сферы реальности, а потом и более глубоких причинно-следственных связей. Обычно в детстве эта потребность находит свое наиболее полное удовлетворение в процессе систематического обучения ребенка в школе. В этот период, начиная с шести-семилетнего возраста, в хорошо организованном процессе обучения ребенок осваивает первые абстрактные представления, имеющие отношение к реальности, так как только начиная с этого возраста человек способен формировать в своем сознании рациональную картину реальности, основанную на причинно-следственных отношениях. На определенном этапе развития человека рациональная форма освоения реальности становится ведущей. Она обеспечивает дальнейшее расширение и обобщение жизненного опыта, возможность продуктивной творческой деятельности. В повседневной жизни зрелого человека разум, рациональные представления уже играют определяющую роль.

И если процесс освоения реальности человеком целостен и практически неразделим, то у человечества он протекает в разных цивилизационных формах и представлен разными социальными институтами – наукой и религией.

Так же, как и отдельный человек, всё человечество сначала строит свои представления о реальности на чувствах. *Образное освоение реальности человечеством завершается в религии.* Религия основывается только на вере, опирается на религиозный опыт и формирует у человечества целостное представление о единстве наблюдаемой части вселенной – реальности, и о том, что ее формирует и определяет. Поэтому рациональная непостижимость веры очевидна. «Верую, потому что абсурдно» – эту фразу приписывают Тертуллиану.

Следует отметить, что христиане отличаются развитой духовной жизнью, глубоким эмоциональным отношением к реальности и ее изменениям, обладают развитой интуицией. Жизнь православного христианина определяется максимально широкой сферой интересов, поскольку полностью ориентирована на постоянную творческую деятельность – на постижение сущности – замысла Творца.

Христианство вот уже две тысячи лет обеспечивает устойчивость человечества, поэтому христиане практически не подвержены стрессу. Как только полноценная христианская вера утрачивает свою определяющую роль в обществе (что проявляется в распространении ересей, атеизма), спустя некоторое время, обычно через три поколения, общество утрачивает свою устойчивость. Христианская мораль аналогична иммунитету здорового человеческого организма.

Рациональное освоение реальности человеком становится возможным после достижения определенного уровня духовного развития – образного освоения реальности, когда человек способен усваивать, а затем и формировать абстрактные образы, т. е. когда сложились определенные чувства, когда человек владеет собой. Единство мира чувствуется нормальным человеком. Однако люди наделены также способностью анализировать, т. е. расчленяя целое, стремиться разумом хотя бы схематично, в форме первично-вторичных, или причинно-следственных отношений, понять его природу. Чувственное восприятие первично и более глубоко. Рациональное представление позволяет в абстрактной форме «увидеть» только определенную модель. Процедура рационального освоения реальности может рассматриваться как процесс постижения закономерностей причинно-следственных связей в процессе последовательного абстрагирования – отказа от частных конкретных образов в пользу более общих закономерностей. Формулирование общих закономерностей обеспечивает необходимый уровень *прогнозирования состояния* реальности, тот уровень устойчивости объекта – либо человека, либо человечества – без которого невозможно их существование.

Отмеченную двойственность процесса освоения реальности человечеством в формах религии и науки можно рассматривать как следствие «незрелости» человечества и, прежде всего, его рациональной формы – науки, что не может не заботить широко мыслящих ее деятелей. В воспоминаниях выдающегося физика, одного из создателей современной квантовой теории, лауреата Нобелевской премии Вернера Гейзенберга приводится его беседа с другим выдающимся физиком XX века, тоже нобелевским лауреатом Вольфгангом Паули, о роли религии и науки. Обсуждая отношение Макса Планка к религии и науке, В. Гейзенберг заключает: «Таким образом, обе сферы, объективная и субъективная стороны мира, у него четко разъединены – но мне такое разделение немного не по душе. Я сомневаюсь, что человеческие общества могут долгое время жить с таким резким отграничением знания и веры» [6].

1.2. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ. УСТОЙЧИВОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ: ОБЩНОСТЬ И РАЗЛИЧИЯ. УСТОЙЧИВОСТЬ РЕАЛЬНОСТИ И ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Стабильность. Несмотря на кажущуюся очевидность понятий *устойчивость* и *стабильность*, дать им точное и однозначное определение не так уж просто. Ещё сравнительно недавно эти понятия рассматривались как синонимы. Так, И. Пригожин [34] отмечает, что в «стабильности» присутствует оттенок статичности, неизменности. Однако как указывается в [33], если в русском языке еще можно различить смысловые оттенки терминов «устойчивость» и «стабильность», то в английском оба термина сливаются в один. Поэтому мы в последующем изложении *стабильностью* будем называть *способность объекта или явления сохранять свою полную неизменность во времени*.

Если рассматривать одну из главных задач науки – поиск закономерностей связи между причиной и следствием в форме зависимости $y = f(x)$, где x – аргумент, выступает как причина, а y – как следствие, связанное с причиной функциональной зависимостью $f(x)$, – то в нашем случае, относящемся к понятию *стабильность*, эта функциональная связь будет представлять собой *темпоральную* (от латинского *tempo* – время), т. е. связанную со временем, зависимость $y = f(\tau)$, где τ – время. Очевидно, что графически эта связь для стабильности будет представляться (рис. 1.1) прямой, параллельной оси абсцисс и описываться зависимостью

$$y = \text{const.} \quad (1.1)$$

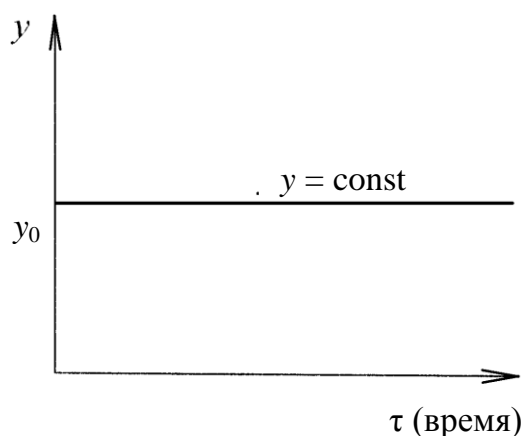


Рис. 1.1. Графическое представление стабильности в координатах $y = f(\tau)$

Из этого выражения следует, что стабильность является не только независимым от времени, но и не связанным со временем явлением. Иными словами, для стабильности такая переменная, как время τ , отсутствует, т. е. *стабильность является вневременным понятием*. Последнее заявление позволяет сделать далеко идущие выводы.

Во-первых, ещё в Древней Греции [22] было известно, что реальность характеризуется существованием в пространстве и во времени, т. е. вневременные понятия не относятся к реальности, или, иначе говоря, *стабильность не характерна для реальности!* Стабильность нельзя связывать с какими-либо свойствами или характеристиками реальности. Ни одно из свойств реальности не может быть стабильным!

Но, представляя законы сохранения, например закон сохранения полной энергии механического объекта, законы сохранения импульса и момента импульса в механике, мы прибегали к использованию аналитических выражений $E_{\text{полн}} = \text{const}$; $L = \text{const}$; $P = \text{const}$ соответственно.

В этом примере проявляется важнейшая особенность любой формы рационального описания реальности – её *ограниченность*. В данном случае, мы, очевидно, сталкиваемся с ограниченностью *по времени*. Эту темпоральную ограниченность удобно продемонстрировать на следующем примере (рис. 1.2).

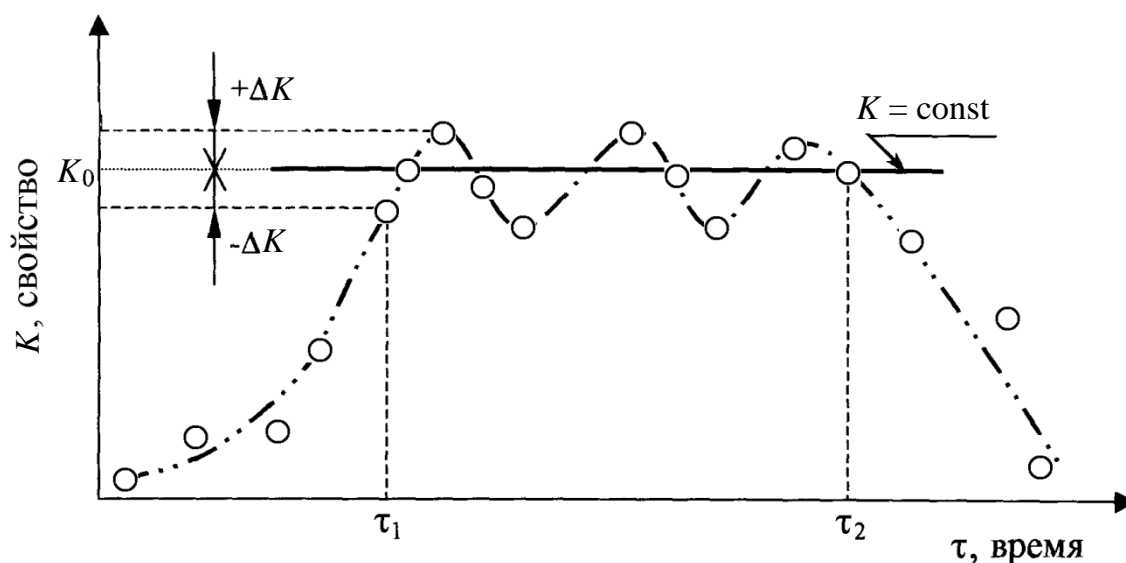


Рис. 1.2. Гипотетическая зависимость *свойства K* реального объекта от времени (---) и её аппроксимация (—) зависимостью $K = \text{const}$ в интервале $\tau_1 - \tau_2$

Допустим, что на рис. 1.2 точками представлена некая неизвестная ранее экспериментальная зависимость какого-либо свойства K реального объекта от времени τ .

Соединив экспериментально полученные значения свойства K для разных значений времени штрихпунктирной линией, мы получили сложную зависимость изменения этого свойства со временем. Однако достаточно внимательно посмотреть на полученную кривую, чтобы выявить участок в интервале времени от τ_1 до τ_2 , где наблюдается отличное от других временных интервалов распределение экспериментальных значений свойства. Для описания этого свойства в указанном интервале периодической (гармонической функцией, такой как $\sin x$ или $\cos x$) зависимостью у нас не хватает экспериментальных данных. Так, каждый минимум и максимум на штрихпунктирной кривой не обеспечен достаточным количеством экспериментальных точек, поэтому имеющееся их распределение можно связать с «разбросом» результатов из-за погрешностей эксперимента ($\pm\Delta K$). Таким образом, в интервале времени $\tau_1 \dots \tau_2$ полученная зависимость $K = f(\tau)$ может с удовлетворительной точностью описываться как независимая от времени величина $K = \text{const}$. Это выражение является *формой описания* экспериментальных (или полученных с помощью наблюдения) данных, ограниченных как интервалом наблюдения, так и условиями наблюдения. Если удастся повысить точность и чувствительность экспериментальных данных или радикально изменив условия, получить ранее неизвестные характеристики объекта, то, возможно, потребуется пересмотр сделанных экспериментальных выводов и созданных на их основе теорий и количественных моделей.

Мы рассмотрели временные (темпоральные) ограничения для представлений, использующих законы сохранения, однако для этих законов существуют и ограничения *по пространству*. На это указывает, например, формулировка закона сохранения полной энергии механического объекта: «Полная энергия изолированного механического объекта или совокупности изолированных механических тел не изменяется при любых изменениях их состояния». Уже сам факт изоляции механической системы является, очевидно, ограничением по пространству.

Из приведенных примеров следует, что *стабильность*, несмотря на отсутствие этого свойства у реальности, широко *используется как удобная абстракция* для рационального её описания. Но такое описание, как и любое другое, связанное с наукой представление, является по своей природе ограниченным по пространству и по времени.

Устойчивость. Буквальный смысл понятия *устойчивость* отражает способность устоять под каким-либо разрушающим влиянием. Поэтому достаточно полное определение устойчивости мы будем связывать со *способностью объекта сохранять свое состояние (свою качественную* определенность) под влиянием внешних воздействий или внутренних изменений.*

В этом определении неясным понятием является «качественная определенность».

Проиллюстрируем это несколькими примерами. Для одного стола его качество – стол, вид мебели; количество – один. Так вот, способность стола оставаться мебелью определяется его прочностью, возможностью не развалиться под влиянием какой-то достаточно большой внешней нагрузки, и оставаться столом – например, не рассыпаться при протекании внутренних процессов.

В некоторых менее общих случаях устойчивость можно определить как способность явления или процесса сохранять своё состояние более или менее неизменным под влиянием внешнего воздействия или внутренних возмущений.

При этом, как следует из первого (более общего) и второго определений устойчивости, неизменными (в большей или меньшей степени) являются качественные характеристики и характеристики состояния объекта или процесса, а другие, количественные, могут изменяться. Как правило, сама возможность сохранения *качественной определенности* какого-либо объекта может быть реализована за счет вполне определенных *количественных изменений.* Это можно определить как *способность к адаптации.* В старинной русской пословице «Кряхти да гнись: упрешься – переломишься...» ярко выражена *суцность устойчивости как направленных количественных изменений, обеспечивающих сохранение качества объекта или явления.*

Примерами функциональной связи количества и качества может служить:

– наличие у современного автомобиля амортизаторов и эластичных шин, обеспечивающее его устойчивость во время движения;

– способность к размножению – количественному изменению, обеспечивающая возможность выживания биологического вида (т. е. сохранения качества) под влиянием неблагоприятных внешних воздействий и внутренних возмущений, например эпидемий и т. д.

Примеры можно продолжить, но уже приведенных достаточно, чтобы заключить, что устойчивость, в отличие от стабильности, явля-

*Качественная, т. е. противоположная количественной.

ется характерной чертой реальности: очевидно, что если бы реальность не обладала устойчивостью, она бы сразу перестала существовать. Качества, которые являются характерными, неотъемлемыми качествами явления, принято называть *атрибутами*. *Устойчивость является атрибутом реальности*.

Это означает, что все природные объекты и реальность в целом обладают общим качеством, которое называется *устойчивостью*. Если под *устойчивостью* следует понимать *способность объекта сохранять свое состояние (свою качественную определенность) под влиянием внешних воздействий и внутренних изменений*, то очевидно, что количественной мерой устойчивости является *время*, в течение которого сохраняется, т. е. может наблюдаться данное состояние. Сама возможность наблюдения объекта указывает на некоторый уровень его устойчивости во времени.

Любой природный объект обладает устойчивостью, но в объектах разной природы она проявляется по-разному.

В биологии уже к началу XX века сложилась теория иммунитета, которую создали выдающийся российский физиолог Илья Ильич Мечников и выдающийся немецкий физиолог Пауль Эрлих. За разработку этой теории они были удостоены в 1908 году Нобелевской премии. Эта теория впервые на основе глубокого экспериментального исследования раскрыла механизм иммунитета – активной формы проявления устойчивости живых организмов. Эта устойчивость поддерживается благодаря особой реакции организма, который с помощью антител ограждает себя от антигенов – губительных факторов окружающей среды (микробов, инородных веществ). То, что представляет опасность для организма, отторгается, уничтожается или изолируется (например, осколок от мины может находиться в теле человека очень долго и совершенно не беспокоить его, так как иммунитет изолировал его от всего организма плотной белковой тканью). Но иммунитет может и не отторгать инородные объекты, если они химически и биологически инертны и не представляют опасности для организма – на этом основан выбор материала для имплантатов, заменяющих утраченные фрагменты организма (например, имплантаты могут изготавливаться из наиболее инертного материала – монокристалла Al_2O_3 – сапфира или другого вещества – неорганической основы костной ткани – гидроксилapatита).

Позже было установлено, что иммунитет зависит от состояния организма. Одним из факторов, понижающих уровень иммунитета, является *стресс* (от англ. *stress* – напряжение). Канадский биолог

Ганс Селье, первым открывший и разработавший основные положения синдрома стресса, рассматривал его как часть общего адаптационного синдрома и определял как *особое состояние организма, характеризующееся неспецифической (т. е. нехарактерной, неправильной) реакцией на внешние воздействия*. Дважды Нобелевский лауреат, выдающийся американский химик и общественный деятель Лайнус Полинг показал, что уровень иммунитета человека пропорционален уровню витамина С в организме. Установлено, что в состоянии стресса содержание этого витамина в организме снижается в 30 тыс. раз. При пониженном иммунитете падает способность организма к адаптации, он становится доступен всем бактериям и вирусам.

Подобная утрата устойчивости состояния свойственна всем природным объектам, социальным и политическим системам. Так, может оказаться на грани распада семья, произойти перестройка в обществе, разрушиться государство, утратить целостность этнос; случиться авария у профессионального водителя и т. п.

Устойчивость человеческого общества имеет более сложную природу, чем устойчивость организма, но аналогом иммунной системы в нем является *мораль*. Иммунитет в живом организме и нравственные нормы в обществе обеспечивают устойчивость этих объектов по отношению к внутренним флуктуациям и внешним неблагоприятным факторам.

В завершение главы еще раз выделим важное заключение, относящееся к реальности.

Реальность в целом, как и все природные объекты, обладает общим качеством, которое называется *устойчивостью*. Если под *устойчивостью* будем понимать *способность объекта сохранять свое состояние (свою качественную определенность) под влиянием внешних воздействий и внутренних изменений*, то очевидно, что количественной мерой устойчивости является *время*, в течение которого сохраняется, т. е. может наблюдаться данное состояние. Сама возможность наблюдения объекта указывает на некоторый уровень его устойчивости во времени.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем состоит сущность процесса освоения реальности?
2. Чем отличаются образная и рациональная форма освоения реальности у человека и человечества?
3. Дайте определение понятий стабильности и устойчивости.

2. НАУКА КАК ФОРМА РАЦИОНАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ РЕАЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВОМ

Методология науки как система представлений о способах и процедуре рационального освоения реальности строится в соответствии с методологическими принципами (от лат. *principium* – начало, основа), которые начали складываться еще в Древней Греции, в значительной степени определив современное положение науки. Именно поэтому древнегреческую культуру считают колыбелью цивилизации и «детством человечества».

Ниже мы рассмотрим только *основные методологические принципы*: принципы рационализма и причинности, принцип У. Оккама и принцип дополнительности, без знания которых невозможно будет понять особенности рационального освоения реальности и усвоить основные представления о способах научного описания реальности и формах научного знания.

В науке принято разделять методологические и фундаментальные принципы. Содержательная составляющая научного знания представлена фундаментальными принципами – принципом сохранения, принципом рассеяния и антропным принципом.

2.1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В крайней форме идея рационального освоения реальности выражается в методологическом **принципе рационализма**, который *признает разум единственной основой познания*, нередко связывая этот процесс с постижением истины.

Христианские философы утверждают, что истина никогда не может быть окончательно постигнута разумом. Для большинства ученых заявление о том, что наука занимается поиском истины, а критерием истины является эксперимент, звучит, по меньшей мере, самонадеянно. Еще со времен Г. Галилея в науке утвердилось представление о погрешностях эксперимента. Наблюдения или эксперименты могут служить лишь проверкой следствий теории, а не ее «доказательством», поскольку для любой теории может быть проведен такой эксперимент, который не будет совпадать с ее следствиями, т. е. покажет границы применимости теории. Использование в этом случае понятия относительной истины и других ее суррогатов только усугубляет нелепости.

В связи со сказанным выше заметим, что если понятие *истина* относится к откровению и связывается с религией, то наука может претендовать только на некоторый уровень постижения *сущности* реальности. Иными словами, целью научного знания является постижение не истины, а сущности реальности.

Первые представления о сущностях реальности возникли в Древней Греции в V веке до Р.Х., но форму основной научной категории *сущность* приобрела в трудах Аристотеля [2]. С того времени одним из основных стало определение сущности как *первопричины* бытия, как такой категории, постижение которой позволит установить самую общую закономерность причинно-следственных отношений в реальности.

Таким образом, вторым важнейшим методологическим принципом в науке можно считать **принцип причинности**, утверждающий, *что у всех процессов, наблюдаемых в реальности, имеется причина, и, следовательно, рациональное освоение реальности должно быть направлено на выделение этой причины на наиболее общем, сущностном уровне, и установление в явной форме закономерностей причинно-следственных отношений реальности.*

Наука во все времена занималась решением актуальных проблем, используя более или менее общие теории. Поэтому одним из *следствий принципа рационализма и принципа причинности является утверждение о том, что научное знание – это теоретическое знание.*

Методология науки, как указывалось выше, начала формироваться в Древней Греции, но определенно оформилась как важнейшая составляющая науки в XIII–XV веках под влиянием идей Уильяма Оккама (1283–1349), английского философа, логика и церковного деятеля. Им был сформулирован важнейший методологический принцип научного исследования, который получил название **принцип Оккама (бритва Оккама)**. Ассоциация с бритвой здесь вполне оправдана – этот принцип, до сих пор действуя в науке, отсекает в ней все лишнее. Принцип очень прост: в науке *не следует умножать сущности без необходимости*. Он не только препятствует появлению в науке «псевдоновых» непродуктивных понятий или бесполезных, не связанных с новым знанием, теорий, но, прежде всего, утверждает существование в наблюдаемой, «видимой» реальности лежащих в ее основе *сущностей*, относящихся ко всей реальности в целом. В позитивной форме принцип Оккама утверждает, что только *невозможность разрешения возникших проблем в рамках сложившихся представлений и необходимость в новой модели реальности может слу-*

жить оправданием для поиска и введения в науку новых сущностей. Формирование классической науки и современных научных представлений происходило под сильным влиянием *оккамизма*.

Но теории в той или иной области знания – лишь абстрактное подобие ограниченной области реальности, ориентированное на установление для этой области науки причинно-следственных отношений количественного характера с приемлемым уровнем точности. Развитие представлений об *ограниченности*, т. е. наличии границ применимости любых теорий является методологический **принцип дополнителности**, сформулированный в первой половине XX века выдающимся датским физиком, создателем квантовой теории атома, лауреатом Нобелевской премии Нильсом Бором. Согласно Н. Бору, при экспериментальном исследовании микрообъекта могут быть получены точные данные либо о его энергиях и импульсах, либо о поведении в пространстве и времени. Эти две взаимоисключающие картины – энергетически-импульсная и пространственно-временная, получаемые при взаимодействии микрообъекта с соответствующими измерительными приборами, дополняют друг друга.

Даже краткое знакомство с методологическими принципами науки позволяет понять смысл методологии как системы закономерностей, относящихся к самой процедуре процесса познания, к его организации и формам. Эти закономерности превращают процесс познания в науку, но они не связаны с содержательной стороной научного знания.

2.2. НАУЧНЫЕ ТЕОРИИ, ГИПОТЕЗЫ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

Основной составляющей научного знания является *теория*, т. е. научное знание – это прежде всего *теоретическое знание*. Полноценная наука в любой области возникает только после создания теории. Именно в теории устанавливаются обобщенные закономерности рациональных причинно-следственных отношений, обеспечивающие прогноз состояния объекта. В абстрактной количественной форме это можно выразить уравнением вида

$$y = f(x_1, \dots, x_n), \quad (2.1)$$

где x_1, \dots, x_n – известные из школьного курса алгебры *аргументы*, которые в данном случае играют роль *причин*; y – функция, в обобщенной форме характеризующая *следствие* – состояние объекта.

Эта формула в каждом отдельном случае устанавливает определенную количественную связь причины и следствия, например

$$\vec{a} = \frac{F}{m},$$

где \vec{a} – ускорение; F – сила; m – масса, при этом a является следствием, а F – причиной.

Таким образом, теория обеспечивает надежный прогноз состояния реальности, позволяя по данному набору причин оценивать с необходимой точностью грядущие следствия.

Любая научная теория является по своей природе дедуктивной логической конструкцией, поэтому должна иметь три обязательных составляющих: логическое освоение, логические средства, эмпирическую проверку. Рассмотрим их подробнее.

1. Теория должна иметь *безупречное логическое основание*, т. е. опираться на ограниченное число фундаментальных закономерностей – аксиом, постулатов, фундаментальных законов или фундаментальных принципов. Особенностью логического основания любой общности является его очевидность, не требующая доказательств. Это означает, что все научные теории по своей природе *аксиоматичны*.

2. Теория должна иметь логические средства (особый «язык», чаще всего математической формы), с помощью которых из закономерностей высокого уровня общности (логического фундамента) можно получить любой набор частных следствий.

Обычный язык человеческого общения не всегда удовлетворяет требованию логической непротиворечивости. Обеспечить логически непротиворечивое получение частных следствий из некоторого ограниченного числа фундаментальных положений с помощью обычного литературного языка бывает затруднительно, например, из-за его метафоричности и большого числа синонимов, нередко порождающих некоторую неопределенность или многозначность понятий. Поэтому в науке утвердился особый способ перехода от общего к частному посредством математических доказательств. Только адекватный математический аппарат может в полной мере обеспечить научной теории *внутреннюю логическую непротиворечивость*: логическое единство между фундаментом и любым положением теории, а также всеми следствиями из него. Вот почему часто математику рассматривают как особый язык науки, исключаящий внутреннюю противоречивость теории. Выявление логического несоответствия или противоречия ставит под сомнение всю теорию и требует либо скорейшего

его устранения (если это возможно), либо вообще отказа от теории. Иллюстрацией этого положения является проблема противоречивости движения, рассмотренная в п. 4.5.

3. Любые следствия теории должны *получить эмпирическую проверку*: во всех случаях соответствовать, в пределах погрешности наблюдения, экспериментальным результатам или результатам наблюдений.

Следовательно, *теорией* называется такая *дедуктивная* конструкция, которая выявляет фундаментально обоснованные, логически безупречные и эмпирически выверенные закономерности причинно-следственных отношений в любой области знания.

Если третье условие – требование эмпирической проверки следствий, в силу каких-то объективных причин не может быть (пока) выполнено, но первое и второе выполняются, то такая логическая конструкция является *гипотезой*. После выполнения эмпирической проверки следствий гипотеза, в зависимости от результатов наблюдений и (или) экспериментов, переходит в статус теории, либо отбрасывается как несостоятельная.

Теория в науке – это основной инструмент прогнозирования, содержание которого в рабочем состоянии является залогом успешной научной деятельности. Поэтому не будет преувеличением сказать, что все научные работники занимаются обслуживанием теории. Экспериментаторы осуществляют ее эмпирическую проверку и определяют границы ее применимости, теоретики совершенствуют формы существующих теорий, расширяют сферы их применения и формируют на этой основе модели реальности, или создают новые теории после определения границ применимости уже существующих.

2.3. АКСИОМЫ, ПОСТУЛАТЫ, ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Как было уже сказано, наука ставит своей целью установление причинно-следственных связей, которые можно представить в абстрактной аналитической форме как $y = f(x)$, где аргумент x выступает в качестве причины, а функция состояния системы y – в качестве следствия. Основой для построения таких логических обобщений являются закономерности причинно-следственных отношений, в зависимости от уровня общности представляющиеся в форме аксиом или постулатов, которые либо очевидны и не требуют доказательств, либо

являются обобщением всего жизненного опыта человечества, а также фундаментальных законов и фундаментальных принципов. Такой метод построения научной теории, когда в ее основу кладутся некоторые фундаментальные положения, из которых все остальные утверждения этой теории должны выводиться чисто логическим путем, посредством доказательств, называется *аксиоматическим методом*, а все научные теории являются по своей природе *аксиоматическими*.

Аксиома (от греч. αξίωμα – удостоенное, принятое положение) – исходное положение научной теории, представляющее собой утверждение, принимаемое без логического доказательства в силу непосредственной убедительности, очевидности. Например, очевидность аксиомы о непересечении двух параллельных прямых, с которой знакомятся ученики старших классов средней школы, когда начинают изучать геометрию, не вызывает сомнения потому, что вытекает из определения параллельности прямых.

Постулат (от лат. postulatum – требование) – иногда рассматривают как синоним аксиомы. Однако чаще всего постулатом называют такое исходное положение теории, которое является обобщением всего жизненного опыта человечества. Например, известный из курса физики средней школы первый постулат Н. Бора: «Электрон, находясь на стационарной орбите, не излучает и не поглощает энергию», констатирует наблюдаемую в реальности устойчивость стационарного состояния атома водорода.

Фундаментальный закон – форма обобщения закономерности причинно-следственных отношений в отдельной области знания или ее раздела, которая образует логическую основу теоретических представлений в ней. Например, закон сохранения полной механической энергии является одним из фундаментальных законов классической механики, а закон постоянства состава химического соединения является фундаментальным законом химии. Полный набор фундаментальных законов сохранения в классической механике будет рассмотрен нами в п. 4.2.

Фундаментальный принцип – самый общий, *сущностный уровень* обобщения закономерностей причинно-следственных отношений, распространяющийся на всю реальность и лежащий в основе всего познания. В науке фундаментальный принцип имеет наддисциплинарный характер (т. е. относится не только к физике, химии и другим областям знания, но и ко всей реальности в целом) и ложится в основу всего процесса познания. Фундаментальные принципы выражают самые общие – сущностные отношения реальности, т. е. выде-

ляют в реальности сущности, упомянутые в принципе Оккама, и характеризуют связанные с ними закономерности, что превращает их в логический фундамент моделей реальности.

Контрольные вопросы и задания

1. На каких методологических принципах строится наука? Раскройте их содержание.
2. Дайте определение понятия «теория». Какие обязательные составляющие должна иметь теория?
3. Дайте определение понятия «фундаментальный научный принцип».

3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В настоящее время в науке можно сформулировать три фундаментальных принципа: *принцип сохранения*, являющийся обобщением известных из физики законов сохранения вещества, энергии, импульса, момента импульса и т. п.; *принцип рассеяния* – распространение на всю реальность второго закона термодинамики в формулировке Р. Клаузиуса – принципа возрастания энтропии, а также активно обсуждаемый и претендующий на фундаментальный статус *антропный принцип*, появившийся в астрофизике во второй половине XX века в самой общей формулировке сверхантропного астрофизического принципа.

3.1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП СОХРАНЕНИЯ

Принцип сохранения был известен еще древним грекам (обычно его связывают с именем Эмпедокла) и в современной формулировке гласит, что *в реальности можно выделить такую перманентную* сущность, которая не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а переходит из одной формы в другую в эквивалентных количествах.*

Иными словами, перманентную сущность мы непосредственно наблюдать не можем, однако имеем возможность анализировать про-

* Перманентный (от лат. *permanentum*) – постоянный, сохраняющийся.

явление ее различных форм, в отношении которых могут быть сформулированы закономерности более частного по сравнению с фундаментальными принципами характера – фундаментальные законы сохранения.

Примером одной из форм перманентной сущности является **энергия**, которая, следуя древнегреческой традиции, определяется как *нечто, за счет чего совершается деятельность, работа*. Очевидно, что такое определение энергии позволяет находить её аналоги в явлениях любой природы. Так, аналогом энергии в экономических системах является *капитал*, а в этнических – *пассионарность*.

Вещество также является формой перманентной сущности, а закон сохранения вещества и закон постоянства состава – фундаментальными законами в химии. Кроме того, одной из форм перманентной сущности является ключевое в химии понятие химического элемента.

Из сказанного следует, что такая форма перманентной сущности, как энергия, связана с другой ее формой – веществом – взаимным эквивалентным переходом. Количественно этот переход выражается известной в настоящее время формулой А. Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2, \quad (3.1.)$$

где E – энергия; m – масса вещества; c – мировая константа – скорость света в вакууме. Эта формула составляет теоретическую основу современной ядерной энергетики, однако в начале XX века возможность взаимного превращения вещества и энергии вызывала большие сомнения и недоверие у современников.

Очевидно, что при формировании теоретических представлений в любой области знания, как естественно-научной, так и гуманитарной, могут быть выделены аналогичные формы перманентной сущности и соответствующие им законы сохранения.

Утверждение об эквивалентности взаимных переходов различных форм перманентной сущности объясняет широкое применение такой математической формы, как *уравнение* для количественной характеристики состояния.

3.2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ДИССИПАЦИИ

Принцип диссипации (рассеяния) утверждает, что *в реальности взаимные переходы одних форм перманентной сущности в другие эквивалентны, но осуществляются в одном преимущественном направлении – от концентрированных форм к рассеянным – в самопроиз-*

вольных процессах (т. е. в процессах, происходящих без какого-либо внешнего влияния, например без участия человека).

Это утверждение является обобщением **принципа возрастания энтропии**, который впервые был представлен научным кругам Р. Клаузиусом в 1865 году как наиболее общая формулировка второго начала термодинамики, распространенного на всю Вселенную. Недраматическая форма этого принципа утверждает, что *в изолированной системе энтропия S самопроизвольно возрастает до своего максимального значения. Максимальному значению энтропии соответствует состояние равновесия.*

Энтропия является количественной характеристикой, мерой новой, не входившей ранее в структуру научного знания сущности – *хаоса*, синонимами которого являются *неоднородность*, или *беспорядок* в системе. В отличие от энергии, *хаос* является *неперманентной* сущностью, т. е. он может возникать *из ничего* и исчезать *бесследно*. Поэтому не удивительно, что количественные изменения меры однородности, беспорядка или хаоса в системе – энтропии – описываются, в отличие от перманентных сущностей, не уравнением, а неравенством:

$$\Delta S \geq 0, \quad (3.2)$$

где символ Δ – разница между конечным S_2 и начальным S_1 значениями энтропии в самопроизвольном процессе, т. е. $\Delta S = S_2 - S_1$. В выражении (3.2) знак неравенства указывает на возрастание энтропии во всех состояниях кроме того, которое является состоянием равновесия и к которому относится знак равенства.

Следует отметить, что осознание сущностного характера хаоса и связанных с ним изменений, введение этой новой сущности в теорию произошло только во второй половине XIX века, спустя более чем два тысячелетия после включения в рациональное описание реальности древними греками представления о перманентной сущности.

3.3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП

Антропный принцип был сформулирован во второй половине XX века астрофизиками Г. М. Идлисом, Р. Дикке, Б. Картером. Он констатирует существование неслучайной связи между параметрами Вселенной – *мировыми константами* – и присутствием в ней человечества. Анализ возможного варьирования основных мировых констант показал, что даже незначительное их изменение несовместимо с

появлением во Вселенной жизни и, соответственно, разума, что приводит к заключению о невозможности существования нашей Метагалактики в наблюдаемом виде. В *слабой форме антропный принцип* утверждает, что наблюдаемый вид Вселенной не случаен, а является результатом ее тонкой подстройки. *Сильный антропный принцип* утверждает, что тонкая подстройка Вселенной осуществлялась для того, чтобы на некотором этапе ее эволюции во Вселенной появился *наблюдатель*. Под обобщенным понятием «наблюдатель» понимается человечество.

Очевидно, что если обе – слабая и сильная – формулировки антропного принципа верны, то **во Вселенной присутствует творческое начало**. Творческое начало можно рассматривать как *новую, ранее неизвестную в науке сущность реальности*, а утверждение о его присутствии во Вселенной – как новый фундаментальный принцип. Такую «сверхсильную» формулировку можно рассматривать как фундаментальный антропный принцип, с помощью которого впервые за всю историю развития науки рациональным и непротиворечивым образом в науку введена роль Творца.

3.4. КЛАССИФИКАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНОСТИ

Вслед за физиками, разделившими физические представления о реальности на два типа: консервативные и диссипативные, мы будем разделять два подхода в описании реальности, сложившиеся к настоящему времени в науке, на две ее рациональные модели, *консервативную* и *диссипативную*, отличающиеся друг от друга логическим фундаментом – набором фундаментальных принципов.

Консервативная (от лат. *conservatio* – сохранение) **модель реальности** основана только на фундаментальном принципе сохранения. Ученые, следующие этому принципу, знают, что в реальности можно выделить такую перманентную сущность, которая не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а только переходит из одной формы в другую в эквивалентных количествах.

Диссипативная (от лат. *dissipatio* – рассеивание) **модель реальности** логически опирается на два фундаментальных принципа – как на принцип сохранения, так и на принцип диссипации (рассеяния).

Если исходить из того, что *антропный принцип* в указанных выше, или в иной, более общей или абстрактной форме, является фундаментальным принципом, то можно с уверенностью говорить о

том, что в настоящее время становится очевидной потребность в новой рациональной модели реальности, которую можно назвать **антропной моделью реальности**. Более подробно содержание и особенности этой модели будут рассмотрены в гл. 15.

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте фундаментальный принцип сохранения.
2. Дайте определения понятия энтропии. Сформулируйте фундаментальный принцип диссипации.
3. Чем отличаются слабая, сильная и суперсильная форма антропного принципа?

4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

Консервативная модель реальности проявляется в любой частной области науки в форме консервативных теорий. В логической основе консервативных теорий лежат законы сохранения, которые следует рассматривать как следствия фундаментального принципа сохранения.

Консервативная модель реальности начала складываться в XVII веке после создания И. Ньютоном механики – первой в строгом смысле научной теории, получившей название классической механики, ставшей основой классической физики и прообразом теоретического построения, претендовавшего на описание всей, наблюдавшейся тогда реальности – ее консервативной модели. К настоящему времени консервативная модель – абстрактное, целостное, безусловно логическое, рациональное описание реальности. Эта модель представлена рядом физических, геологических и технических теорий, применяемых в артиллерии, небесной механике ближнего космоса, сопромате, теории машин и механизмов и т. п. Кроме того, такая экономическая дисциплина, как бухгалтерский учет является типичной консервативной теорией, так как основана только на законе сохранения стоимости.

На примере классической механики продемонстрируем типичную структуру и особенности консервативных теорий и консервативной модели реальности.

4.1. АБСТРАКТНЫЙ ОБЪЕКТ КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО СОСТОЯНИЙ

Требование логической непротиворечивости, предъявляемое к теориям любого уровня общности, в том числе и к рациональным моделям реальности, предопределяет как выбор абстрактного объекта теории, так и набор количественных характеристик его описания – параметров и функций состояния.

Рассмотрим основные особенности консервативной модели реальности на примере классической механики материальной точки.

Абстрактным объектом классической механики и, следовательно, выросшей из нее консервативной модели реальности, является *материальная точка*. Выбор материальной точки как объекта теории обусловлен, с одной стороны, требованием логической непротиворечивости теории, с другой – крайней ограниченностью ее логического фундамента. Принцип сохранения не позволяет ничего сказать о внутренней структуре объекта, поэтому в классической механике вынуждены прибегать к образу точки. Напомним, что *математическая точка* в геометрии определяется как *нечто, не имеющее размеров, но имеющее положение в пространстве*.

Следует отметить, что в классической механике используется в качестве абстрактного объекта *замкнутая система*, под которой понимают совокупность материальных точек, взаимодействующих друг с другом и не взаимодействующих с окружающими телами. В строгом смысле этот объект системой не является.

Как было сказано выше, устойчивость является атрибутом реальности. Напомним, что *устойчивость* – это способность объекта сохранять свое состояние под влиянием внешних воздействий и внутренних изменений. Абстрактный объект модели будет представлять для нас интерес при условии, что он непременно обладает этим атрибутивным качеством реальности. Любой абстрактный объект в любой теории или рациональной модели реальности должен обладать этим внутренним качеством – устойчивостью, и иметь возможность ее количественно определять, а иначе теория утратит какую-либо связь с реальностью. *Материальной* абстрактная точка становится в связи с необходимостью придать характерную для объектов реальности *устойчивость* всем достигаемым с ее помощью состояниям. Таким образом, в отличие от математической точки, материальная точка обладает устойчивостью состояний.

Очевидно, что в консервативной модели допускаются только внешние воздействия на материальную точку в виде силы \vec{F} , а внутренние изменения в связи со спецификой понятия *точка* не рассматриваются. Поэтому устойчивость материальной точки является ее внутренним качеством, ее собственной неизменной характеристикой, своего рода константой, не зависящей ни от параметров, ни от функций состояния. Из школьного курса физики известно, что это качество, проявляющееся как способность материальной точки сохранять состояние покоя и равномерного прямолинейного движения, называется *инерцией*.

Гениальный И. Ньютон такую форму проявления устойчивости объектов реальности в консервативной модели представил в форме **первого закона механики**, носящего его имя: «*Если на материальную точку не действуют никакие силы, или действие этих сил скомпенсировано, то материальная точка находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения*». Таким образом, причиной состояния покоя или равномерного прямолинейного движения является инерция – форма проявления всеобщего свойства реальности – устойчивости в механической интерпретации, т. е. в таком представлении, которое формируется консервативной моделью реальности.

Количественной мерой инерции является *масса* – m . Мы можем понять, что такое масса, если будем отдавать себе отчет в природе этого свойства, а она идентична природе пассивного сопротивления объекта изменению его состояния.

Таким образом, **материальная точка** – это *нечто*, не имеющее размеров, но имеющее положение в пространстве и обладающее собственной устойчивостью состояний, измеряемой массой. Отличие материальной точки от математической определяется наличием у нее собственного «внутреннего» качества – устойчивости, проявляющейся в форме инерции.

Огромной заслугой И. Ньютона является строгое определение понятия *состояния* материальной точки и тех характеристик, от которых оно зависит. Это определение состояния в настоящее время может быть отнесено к любому абстрактному объекту в науке. *Состояние объекта – конкретный набор значений характеристик объекта (параметров состояния и функций состояния), однозначно его определяющих*. Состояние материальной точки количественно выражается через величины ее характеристик – независимых *параметров*

состояния, играющих роль причин, и функций состояния, выступающих в роли следствий. В классической механике параметрами состояния материальной точки являются пространство и время, а функциями состояния – формы перманентной сущности – энергия, импульс и момент импульса, поэтому уравнение (2.1) приобретает вид уравнения состояния материальной точки:

$$\Phi = f(x, y, z, \tau), \quad (4.1)$$

где параметрами состояния являются x, y, z – пространственные координаты и τ – время, а Φ – функции состояния – величины энергии, импульса и момента импульса.

Пространство в механике используется для определения состояний материальной точки через координаты, заданные с помощью декартовой (x, y, z) или полярной (\vec{r}, φ) систем координат, характеризующих порядок пространственного расположения. Время, как независимая от пространства характеристика состояния материальной точки, в явной форме не используется, а заменяется темпоральными (от лат. *tempo* – время), т. е. связанными со временем характеристиками, например: скоростью $\vec{v} = d\vec{r}/d\tau$ – первой производной от пространственного параметра – радиуса-вектора \vec{r} по времени τ , или проекции радиуса вектора на ось декартовой системы координат – вектора перемещения \vec{s} по времени τ – $\vec{v} = d\vec{s}/d\tau$, а также ускорением $\vec{a} = d^2\vec{r}/d\tau^2$ – второй производной радиуса-вектора (вектора перемещения) по времени. Таким образом, время в механике выступает как характеристика порядка следования – последовательности смены состояний (рис. 4.1).

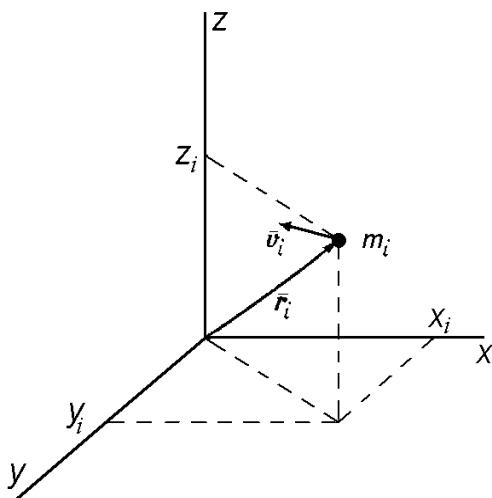


Рис. 4.1. Схема представления состояния материальной точки i – объекта консервативной модели реальности

Следует подчеркнуть, что даже в курсе школьной математики отмечается, что в уравнении (4.1) аргументы x , y , z , t в случае явного задания функции являются не зависимыми друг от друга параметрами. Иными словами, исчерпывающее описание состояния объекта консервативной модели возможно только до тех пор, пока пространство и время проявляют себя как не связанные друг с другом характеристики реальности. Однако уже одно только признание единства мира всем научным сообществом позволяет предполагать ограниченность такого пространственно-временного описания реальности. Обнаружение в конце XIX века в экспериментах А. Майкельсона и Г. Морли независимости скорости света от скорости источника (см. п. 8.1) было проявлением пространственно-временной связи. Осознание этой связи привело к возникновению теории относительности и вытекающем из нее представлении о пространственно-временном континууме [33].

В этой модели каждое состояние материальной точки отличается от любого другого только количественно – значениями пространственных и временных характеристик. Но так как масса при изменении состояния материальной точки не изменяется, то и устойчивость каждого из реализуемых состояний не изменяется. Все состояния материальной точки, которые могут быть реализованы, равноправны. Например, из первого закона Ньютона следует, что покой и равномерное прямолинейное движение одинаковы по своей природе; каждое из них обладает устойчивостью, т. е. инерцией. В первом случае – это инерция покоя, во втором – инерция равномерного прямолинейного движения. Покой – это некое предельное состояние материальной точки – то же самое равномерное прямолинейное движение, но с постоянной скоростью, равной нулю.

4.2. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

В зависимости от специфики моделируемой сферы реальности и традиций той области знания, в рамках которой происходит моделирование, изменяется и конкретная форма проявления перманентной сущности. Так, в классической механике такими формами перманентной сущности являются *полная энергия* и связанные с динамической устойчивостью полные величины *импульса* и *момента импульса*. Сохранение этих форм перманентной сущности было впервые экспериментально подтверждено Г. Галилеем (1565–1641), великим итальянским физиком, предшественником И. Ньютона. Следовательно, в

классической механике принцип сохранения проявляется в виде трех законов сохранения, констатирующих сохранение трех перечисленных выше форм перманентной сущности. В экономической теории К. Маркса такой формой перманентной сущности является *капитал* – категория, имеющая смысл полной энергии экономической системы, а принцип сохранения проявляется в виде *закона сохранения стоимости*. В теории этногенеза Л. Н. Гумилева перманентная сущность реальности проявляется в этносе через другую ее энергоподобную форму – *пассионарность* (см. п. 15.2).

Закон сохранения полной энергии. Полная энергия объекта как форма перманентной сущности не изменяется. Она не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а переходит из *потенциальной* в *кинетическую* и наоборот, в эквивалентных количествах:

$$E_{\Sigma} = E_{\Pi} + E_{\text{К}} = \text{const}, \quad (4.2)$$

где E_{Σ} – полная энергия объекта; E_{Π} – потенциальная энергия; $E_{\text{К}}$ – кинетическая энергия. Из выражения (4.2) следует, что сохранение величины полной энергии E_{Σ} обеспечивается её переходом из потенциальной E_{Π} в кинетическую $E_{\text{К}}$ и наоборот.

Кинетическая энергия всех n объектов массой m_i , движущихся со скоростью \vec{v}_i , определяется формулой, известной из школьного курса физики:

$$E_{\text{К}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot \vec{v}_i^2. \quad (4.3)$$

Потенциальную энергию определим через величину гравитационного потенциала:

$$E_{\Pi} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot g \cdot h_i, \quad (4.4)$$

где g – ускорение свободного падения; h_i – высота над «нулевым» уровнем.

Тогда полная энергия E_{Σ} будет иметь вид

$$E_{\Sigma} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot \vec{v}_i^2 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot g \cdot h_i = \text{const}. \quad (4.5)$$

Таким образом, взаимные эквивалентные переходы форм энергии в консервативной модели реальности являются следствием принципа сохранения.

Закон сохранения полного импульса (количества движения). Полным импульсом, или как ранее его называли – количеством движения – является векторная величина \vec{P}_Σ , определяемая произведением массы объекта на вектор его скорости:

$$\vec{P}_\Sigma = \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot \vec{v}_i = \text{const.} \quad (4.6)$$

Закон сохранения импульса проявляется в условиях поступательного движения материальной точки.

Закон сохранения полного момента импульса (момента количества движения). При вращательном движении материальной точки проявляется закон сохранения момента импульса \vec{L}_Σ :

$$\vec{L}_\Sigma = \sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot \vec{r}_i \times \vec{v}_i = \text{const}, \quad (4.7)$$

где \vec{r} – радиус-вектор векторно умножается (знак \times означает векторное произведение) на вектор скорости \vec{v} .

4.3. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

Столь простой формы аналитического представления, как формула (1.1), для стабильности нет. Это явление более сложного характера, поэтому имеет различную форму для различного уровня обобщений и зависит прежде всего от того, в рамках какой модели реальности это свойство рассматривается.

Устойчивость состояния материальной точки в механике, или в рамках консервативной модели реальности, рассмотрим на примере устойчивости состояния призмы (например, коробки спичек) (рис. 4.2).

Если под устойчивостью призмы понимать ее способность возвращаться в исходное состояние (т. е. сохранять его) после прекращения действия боковой силы \vec{F}_b , приложенной к верхней части коробки, то в условиях отсутствия скольжения основания призмы по опоре, ее устойчивость в состоянии A (т. е. способность возвращаться в первоначальное положение) будет сохраняться до тех пор, пока вектор силы тяжести \vec{F}_T не займёт крайнее положение, соответствующее его приложению к точке O' . В этом состоянии B площадь опоры призмы сократится до точки, через которую и проходит вектор силы тяжести

\vec{F}_T . В этом состоянии наблюдается наибольшая неустойчивость положения призмы: ничтожно малым воздействием её можно вернуть назад в состояние A или заставить двигаться в направлении действия боковой силы \vec{F}_B и упасть на другую сторону, заняв положение C с центром тяжести в точке O'' .

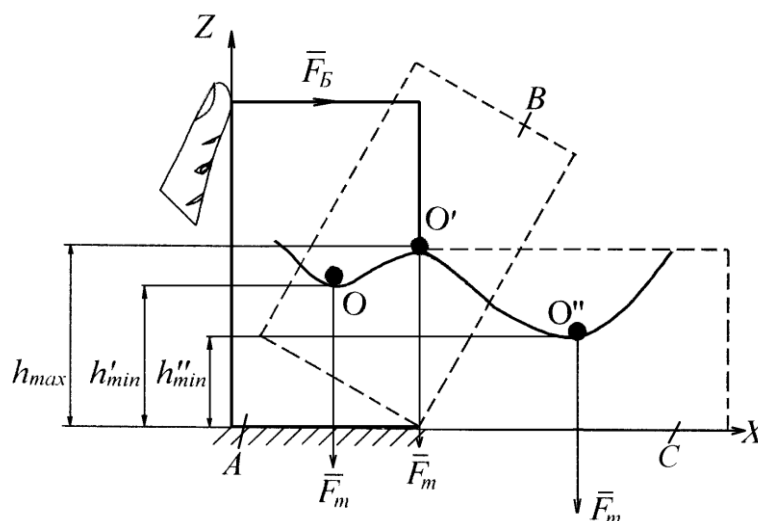


Рис. 4.2. Схема, демонстрирующая условия устойчивости призмы под действием боковой силы \vec{F}_B (двумерная модель – проекция этого тела на плоскость $X-Z$)

Имеющихся сведений уже достаточно, чтобы получить первое обобщение для следующей закономерности: *Любой неподвижный объект сохраняет свою механическую устойчивость (сохраняет своё исходное состояние) до тех пор, пока вектор силы тяжести пересекает площадь опоры.* По уровню обобщения эта закономерность может рассматриваться как правило¹. Несмотря на широкое его использование в технической механике, сфера его применения ограничена и, очевидно, могут возникнуть сложности применения, если будет трудно определить площадь опоры из-за ее сложной неправильной формы.

Для получения причинно-следственной связи более высокого уровня обобщения следует обратить внимание на нелинейный характер той линии, которая образуется в результате перемещения центра

¹ В науке по уровню обобщения принято выделять следующие закономерности: правило, закон, принцип. *Правило* имеет наименьший уровень обобщения, ограниченный условиями применения в рамках обычно раздела науки. *Закон* является обобщением причинно-следственных отношений в рамках какой-то определённой дисциплины (законы физики, химии, биологии). *Принцип* представляет собой закономерность более общего, наддисциплинарного характера.

тяжести при изменении положения призмы. Следует отметить, что эта линия имеет минимумы в устойчивых положениях и максимумы в неустойчивых. С положением центра тяжести любого механического объекта связана величина потенциальной энергии тела $E_{\Pi} = mgh$, поэтому для механики можно сформулировать обобщение на уровне закона механики: механическая система устойчива, когда ее потенциальная энергия минимальна, т. е.

$$E_{\Pi} = E_{\Pi}^{\min}. \quad (4.8)$$

Очевидно, что используя в качестве критерия устойчивости энергию, и, в частности, ее потенциальную составляющую, мы избавились от влияния на полученную закономерность многих частных факторов, например формы тела, его природы и т. п., получив причинно-следственную закономерность высокого уровня общности.

Если механическая система занимает положение, характеризующееся минимумом только в некотором интервале перемещений – т. е. локальным минимумом (как в случае с телом на рис. 4.2 в точке O), то можно говорить о том, что в этом положении тело локально устойчиво.

В механике возможны состояния с различной устойчивостью (рис. 4.3): устойчивые (рис. 4.3, *а*), безразличные (рис. 4.3, *б*), неустойчивые (рис. 4.3, *в*). Рассмотрим случай, когда реализовано состояние равновесия в поле силы тяжести $\vec{P} = m\vec{g}$ за счет компенсации равной ей, но противоположно направленной силой реакции опоры \vec{F} (см. рис. 4.3, *а*). Очевидно, что это положение соответствует состоянию объекта с наибольшей устойчивостью, а положение *в* – состоянию с наименьшей устойчивостью. Даже слабая вариация γ положения объекта в состоянии *в* приводит к изменению его положения в пространстве (см. рис. 4.3, *в*).

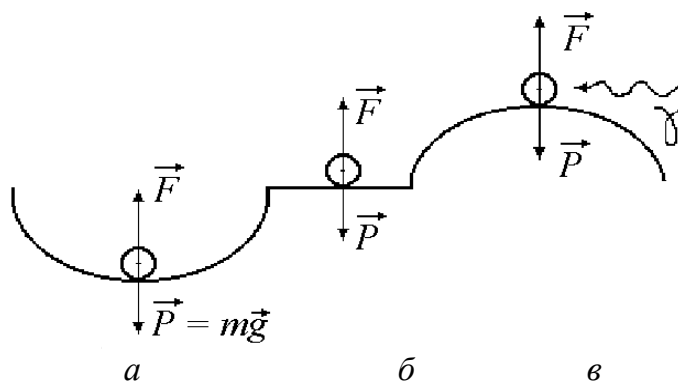


Рис. 4.3. Иллюстрация различной устойчивости механических состояний:
а – устойчивое; *б* – безразличное; *в* – неустойчивое

Однако и это ещё не предел. Если связать выражение (4.8.) с явлением, сделанным ранее, о том, что устойчивость является атрибутом реальности, то можно получить обобщение междисциплинарного характера, т. е. сформулировать принцип. Этот принцип относится к так называемым *вариационным** принципам механики.

4.4. ПРОБЛЕМА ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ (АПОРИИ ЗЕНОНА ЭЛЕЙСКОГО) И ЕЕ РАЗРЕШЕНИЕ И. НЬЮТОНОМ

Мы уже отмечали, что понятие *движения* является основным понятием механики. Еще в Древней Греции было замечено неразрывное единство двух противоположных моментов механического движения – изменчивости и устойчивости. Там впервые было дано определение движения как единства покоя и перемещения. Казалось, это определение удовлетворяет всем рациональным требованиям и позволяет из такого единства воспроизвести движение. В 1895 году французские инженеры братья Люмьер создали кинематограф, в котором сочетание покоящегося кадра с его перемещением позволяло создать движение на экране в полном соответствии с этим древнегреческим определением. Однако древнегреческим философом Зеноном Элейским (ок. 490 – ок. 430 гг. до Р. Х.) с помощью логических парадоксов – апорий – была продемонстрирована противоречивость такого определения. *Апорией называется логический парадокс, разрешение которого не может быть найдено в рамках выбранной логики.* В своих апориях «Дихотомия» (деление пополам), «Ахилл», «Стрела», «Стадий» Зенон показал эту противоречивость [23]. Так, в апории «Дихотомия» указано, что прежде чем пройти весь путь, движущееся тело должно пройти половину этого пути (такое деление допускается определением движения), а еще до этого – четверть и т. д. А поскольку процесс такого деления бесконечен, тело вообще не может начать движения [23]. Неразрешимость таких логических парадоксов – апорий, вытекающих из казалось бы безупречного, даже имеющего эмпирическое подтверждение в форме кинематографа, определения движения, указывало на отсутствие одного из важнейших условий научной теории – ее внутренней логической непротиворечивости, а, следовательно, и отсутствие возможности научного описания движения.

* Вариационный – связанный с изменениями.

В XVII веке, спустя более чем две тысячи лет, Ньютон разрешил поставленную Зеноном проблему противоречивости движения с помощью перехода к исчислению бесконечно малых величин (перехода к пределам). Потребность в точной характеристике движения привела И. Ньютона к необходимости отказа от использования средних значений скорости $V_{\text{ср}} = \Delta s / \Delta \tau$ и переходу к мгновенной скорости, определяемой через предел отношения бесконечно малых величин или *производную*:

$$V_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta \tau} = \frac{\partial s}{\partial \tau}. \quad (4.9)$$

Поскольку деление пополам «бесконечно малой» величины невозможно, логическое противоречие было снято [23]. Действительно, определению движения, данному древними греками, недоставало уточнения: покой и перемещение чередуются как бесконечно малые величины.

Контрольные вопросы и задания

1. Что является абстрактным объектом классической механики и почему?
2. Назовите законы сохранения, лежащие в основании классической механики.
3. Как И. Ньютон разрешил проблему противоречивости движения?

5. РЕАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО И ПРОСТРАНСТВО В КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ

Подавляющее большинство представлений о реальности имеет пространственный характер – более 90 % информации о реальности мы получаем через зрение, иными словами, в виде пространственных образов. Почти все мыслимые нами образы реальности имеют пространственный характер.

Опираясь на наш жизненный опыт, можно для удобства выделить три пространственных масштаба реальности: микро-, макро-, мегамасштаб. Между этими масштабами нет строгой границы, т. е. они выделены эмпирически и характеризуют разные части единого пространства как целого.

5.1. ТРИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБА И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА РЕАЛЬНОСТИ

Макромир, или макромасштаб реальности. Человек может, не прибегая к каким-либо оптическим приборам, успешно наблюдать и представлять себе любое расстояние, относящееся к этому масштабу потому, что оно легко сопоставляется с размерами самого человека или частей его тела. Единицей длины в этом масштабе является метр или кратные ему величины расстояния. Можно сказать, что человечество пребывает в макромасштабе реальности.

Микромир, или микромасштаб реальности. Это мир микрочастиц – молекул, атомов, элементарных частиц. Наше зрение не способно непосредственно наблюдать ни один из указанных микрообъектов без использования соответствующих приборов – микроскопов. Основной единицей длины для этого масштаба в системе СИ является нанометр (нм) – 10^{-9} м или внесистемная единица ангстрем (Å) – 10^{-10} м. Например, радиус атома водорода составляет около $0,5$ Å. В микромире все происходит иначе, чем в привычном нам макромире: все объекты с нашей, «макроскопической» точки зрения проявляют *дуализм*, т. е. двойственность своих свойств – ведут себя одновременно и как частица, и как волна.

Мегамир, или мегамасштаб реальности. Это пространство космоса, изучаемое в астрономии. Особенности пространства космического масштаба проявляются в несопоставимости расстояний, измеряемых, например, световыми годами (расстоянием, которое проходит свет за один год, при условии, что скорость света в вакууме – $300\,000$ км/с) с нашими привычными макроскопическими представлениями. Световой год (св. год) является внесистемной единицей длины и равен $9,460\,53 \cdot 10^{15}$ м. В системе СИ мерой расстояния в астрономии является парсек (пк), равный $3,085\,678 \cdot 10^{16}$ м. Это такое расстояние, на котором звезда имеет годичный параллакс (т. е. наблюдается под углом по отношению к Солнцу), равный $1''$ (рис. 5.1).

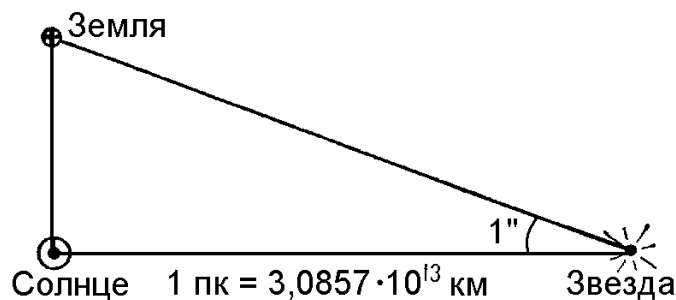


Рис. 5.1. Схема, поясняющая определение парсека

Несмотря на размерные различия, пространство всех масштабов реальности едино и имеет одинаковые свойства. Ниже приведены основные из них.

1. Реальное пространство *непрерывно*, в нем не может быть разрывов, дырок и других мест, где пространства не существует.

2. Реальное пространство *трехмерно*. Достаточно трех взаимно перпендикулярных измерений для однозначного определения объекта в пространстве.

3. Пространство *неоднородно*, в разных местах пространство имеет разную геометрию.

4. Пространство *неизотропно*, неодинаково в разных направлениях, т. е. имеет специфические, «избранные» направления с различной мерностью.

Непрерывность реального пространства ясна на интуитивном уровне. Однако в математике существует критерий непрерывности пространства: если между двумя точками можно расположить третью точку, то пространство непрерывно.

Трехмерность реального пространства означает, что для однозначного определения наблюдаемого положения объекта в пространстве достаточно знания трех взаимно перпендикулярных измерений – *длины, ширины (или глубины) и высоты*. Любые другие измерения будут либо совпадать с названными, либо их дублировать, что является явной избыточностью и противоречит принципу Оккама. Здравый смысл подсказывает, что четырех- и более мерное ненаблюдаемое нами пространство не может существовать, так как иначе бы не выполнялся принцип сохранения. А вот трехмерность пространства микромира при создании квантовой механики подвергалась сомнению. Однако в начале 30-х годов прошлого века Артур Эддингтон показал, что если бы пространство микромира имело более трех измерений, то невозможно было бы осуществить синтез ядер атомов из элементарных частиц. А поскольку атомы существуют, значит пространство микромира трехмерно и неотделимо от пространства реальности.

Неоднородность реального пространства была предсказана А. Эйнштейном в начале XX века в общей теории относительности. Проверка этого вывода во время солнечного затмения показала, что вблизи большой массы Солнца геометрия пространства изменяется, т. е. реальное пространство обладает неоднородностью, зависящей от расположения масс. Это возможно обнаружить только в мегамире.

Ниже приведена обширная цитата из работы Рудольфа Карнапа «Философские основания физики», где он вспоминает, как была выполнена первая эмпирическая проверка этого предсказания.

«Необходимость изменения оптических законов может быть легко понята из рассмотрения пути светового луча, идущего от постоянной звезды к Земле и проходящего вблизи от Солнца. На рис. 5.2 в центре изображен солнечный диск, налево – Земля. Когда Солнце находится в положении другом, чем это показано на рисунке, свет, идущий от звезды S (звезда находится вне пределов рисунка вправо), будет обычно достигать Земли по прямой линии L_1 . Но когда Солнце расположено так, как это показано на рисунке, то свет от звезды в точке C отклоняется так, что он пойдет по линии L_2 . Звезда S расположена так далеко, что линии L_1 и L_2 (часть, находящаяся вправо от C) могут рассматриваться как параллельные. Но если астроном измерит угол α_2 между звездой S и другой звездой S' , то он обнаружит, что этот угол будет немного меньше угла α_1 , с которым он встретится в другом сезоне, когда Солнце не появится вблизи звезды S . Следовательно, положение звезды S , как оно кажется с Земли, должно слегка измениться по отношению к звезде S' . Это, конечно, эмпирическое наблюдение, которое фактически является одним из основных эмпирических подтверждений теории Эйнштейна.

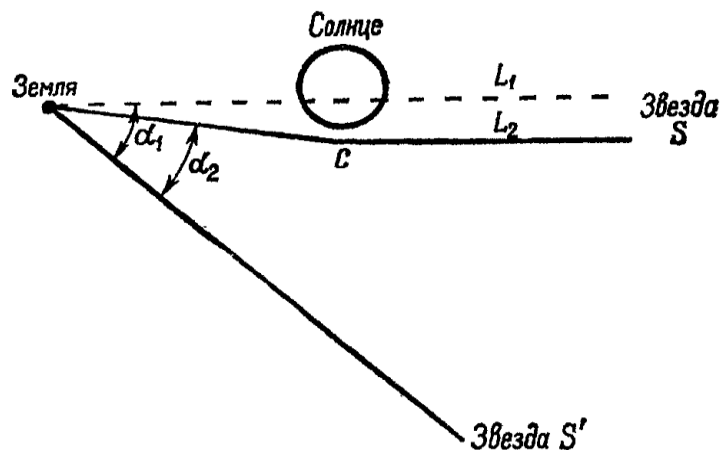


Рис. 5.2. Схема, иллюстрирующая искривление хода светового луча вблизи Солнца

Свет от Солнца так силен, что звезду, находящуюся недалеко от его края, можно видеть или сфотографировать только во время солнечного затмения. Часть такой фотографии напоминает нечто подобное тому, что изображено на рис. 5.3. Положение звезды S показано

точкой. Другие звезды, включая звезду S' , изображены с помощью других точек. Угол между световыми лучами, идущими от S и S' , определяется путем измерения расстояния между S и S' на фотопластинке. Затем его расстояние сравнивается с расстоянием между этими звездами, снятыми в другое время, когда Солнце находится в некотором другом положении. Исторически первая проверка такого рода была осуществлена в 1919 году и впоследствии много раз повторялась во время позднейших солнечных затмений, когда наблюдались очень небольшие изменения в положениях звезд, близких к солнечному диску. Эти перемещения подтвердили предсказание Эйнштейна о том, что световые лучи, проходящие близко от Солнца, будут „изгибаться“ мощным солнечным гравитационным полем.

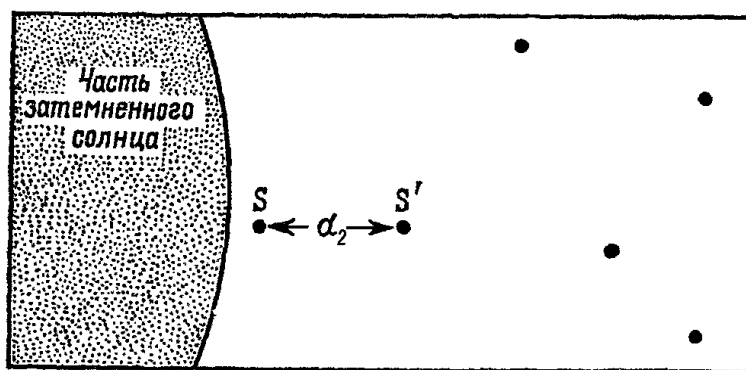


Рис. 5.3. Схема, иллюстрирующая изменения в наблюдаемом положении двух звезд S и S' при обычных условиях и во время солнечного затмения

Первые измерения этих перемещений были сделаны Финдлеем Фрейндлихом в эйнштейновской башне в Потсдаме, недалеко от Берлина. В то время я жил в Вене, и я вспоминаю свой визит к Гансу Рейхенбаху в Берлине. Мы оба пошли навестить Фрейндлиха в подвале башни, где он работал. Он потратил много дней, чтобы сделать тщательные измерения всех положений звезд на фотопластинке размером десять квадратных дюймов. С помощью микроскопа он мог делать повторные измерения координат каждой звезды, чтобы получить наиболее точную возможную оценку положения звезды. Фрейндлих не разрешал делать какие-либо измерения своим ассистентам и все делал сам, потому что сознавал огромное историческое значение этой проверки. Оказалось, что изменение, хотя и очень небольшое, может быть обнаружено, и проверка явилась драматическим подтверждением теории Эйнштейна» [17].

Аналогичная ситуация относится и к *неизотропности* реального пространства, которая проявляется при скоростях движения, близких к скорости света. Из теории относительности следует, что вдоль направления движения происходит сокращение линейных размеров тела. Подтверждением этого можно считать уже упоминавшийся опыт Майкельсона, указывающий на неизотропность реального пространства.

Вот как кратко характеризует этот факт известный американский ученый и популяризатор науки Карл Саган (1934–1996): «Удивительным прозрением Альберта Эйнштейна, ставшим основой общей теории относительности, была идея, что природу гравитации можно понять, если приравнять к нулю тензор Римана–Кристоффеля, записанный в сокращенной форме. Но это утверждение могло быть принято только потому, что удалось получить детальные математические следствия из полученного уравнения, выяснить, следуют ли из него выводы, отличные от тех, что дает теория тяготения Ньютона, а затем поставить опыты, в которых природа подаст свой голос в пользу той или иной теории. В трех замечательных экспериментах – отклонении света звезд при прохождении вблизи Солнца, изменении орбиты Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты, и красном смещении в сильном гравитационном поле – природа проголосовала за Эйнштейна. Но без этой экспериментальной проверки лишь немногие физики признали бы общую теорию относительности. В истории физики есть немало гипотез, почти сравнимых по остроумию и элегантности с теорией Эйнштейна, которые были, однако, отвергнуты, потому что не выдержали проверки опытом. На мой взгляд, наша жизнь была бы намного лучше, если бы такая проверка, а также готовность отвергнуть гипотезы, которые ее не выдержали, были бы обычными для социальной, политической, экономической, религиозной и культурной сторон нашего бытия» [36].

5.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА В КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ

Традиционно чувственно воспринимаемое реальное пространство человек рассматривает как «вместилище». Однако анализ такого представления пространства, выполненный Э. Махом и А. Эйнштейном, позволил убедительно показать его научную бесперспективность.

Поэтому, следуя греческой традиции, более строго в рамках консервативной модели пространство определяется как *нечто харак-*

теризующее состояние объекта в порядке расположения. Под *порядком расположения* понимается набор значений x , y , z , которые имеет пространственно определяемый объект, например, относительно системы отсчета. Хотя, конечно, в данном определении все понятия относятся к привычному нам непосредственно воспринимаемому *макромасштабу реальности* и, по-видимому, не требуют строгого определения, потому что интуитивно понятны. Иными словами, пространство в механике и всей консервативной модели реальности – это средство определения состояния материальной точки относительно выбранной нами системы отсчета, привычное и интуитивно понятное для макромасштаба реальности.

Опираясь на привычные для нас, хорошо наблюдаемые непосредственно и весьма широко и успешно используемые человечеством для определения расположения объекта очевидные макроскопические пространственные представления, в механике закрепилось понятие пространства как средства определения одного из двух параметров состояния материальной точки (другой параметр состояния – время).

В классической механике, как и в сложившейся при ее распространении на всю реальность консервативной модели, в результате абстрагирования остались те общие свойства пространства, которые характерны для непосредственно наблюдаемого нами макромасштаба реальности. Поэтому пространство консервативной модели *непрерывно* и *трехмерно*. Эти свойства не зависят от масштаба и характерны как для макро-, так и для микро- и мегамасштаба реальности. Неоднородность и неизотропность реального пространства в силу их исчезающей малости обнаруживается только в мегамасштабе, поэтому для макромасштаба эти свойства *ненаблюдаемы* и при становлении механики, классической физики и всей консервативной модели реальности не учитывались. Таким образом, в отличие от реального пространства, для пространства консервативной модели характерны *однородность* и *изотропность*. Количественные следствия такого упрощения для макромасштаба реальности являются величинами второго порядка малости и ими можно пренебречь.

Однако качественные изменения пространственных отношений в консервативной модели имеют радикальный характер. Однородность пространства консервативной модели лишает его «особенностей», каких-либо ориентиров.

5.3. ПРИРОДА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ

Отсутствие особенностей в пространстве консервативной модели не позволяет выбрать общее для всех наблюдателей, «абсолютное» положение для системы отсчета и, как следствие, порождает относительность пространственных, а, значит, и всех остальных отношений и измерений, поскольку положение системы отсчета в этом случае выбирается из соображений удобства. Относительность движения в консервативной модели проявляется в изменении количественных характеристик движения при изменении положения системы отсчета.

Наиболее общую форму эти представления приобрели в **принципе относительности Г. Галилея**, сформулированный им в 1636 году: *Во всех инерциальных системах отсчета законы механики одинаковы.*

Это означает, что в инерциальной системе отсчета – такой системе, которая движется без действия на нее каких-либо сил, т. е. по инерции, для определения, движется ли система или находится в состоянии покоя, невозможно использовать особенности протекания внутренних механических процессов, поскольку эти процессы не будут зависеть от того, движется или покоится система, они по своим закономерностям будут неразличимы. Например, в покоящемся относительно земли вагоне, и движущемся равномерно и прямолинейно, тела падают одинаково вертикально по отношению к стенкам с ускорением свободного падения g . Отсюда можно сделать следующее заключение: в консервативной модели реальности все системы отсчета, движущиеся равномерно и прямолинейно, эквивалентны в отношении законов механики и *никакими механическими опытами невозможно определить, движется ли система по инерции или находится в состоянии покоя.* Находясь в инерциальной системе, наблюдатель не может сказать, движется эта система, или находится в состоянии покоя потому, что в инерциальной системе отсутствуют абсолютные критерии движения.

Если бы пространство консервативной модели реальности было неоднородным, т. е. имело какие-то особенности, то они могли быть «абсолютным» ориентиром, с ними можно было бы связать положение начала отсчета «абсолютной» системы координат, а, значит, сделать объективные заключения об инерциальном движении или покое системы. Но в механике и в сложившейся по аналогии с ней консервативной модели реальности пространство принимается однородным,

что влечет за собой относительность всех пространственных изменений в них. Значит, причиной относительности всех количественных описаний движения в консервативной модели реальности является *однородность пространства* этой модели.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими свойствами обладает реальное пространство?
2. Дайте определение понятия пространства.
3. Сформулируйте принцип относительности Г. Галилея.

6. РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ И ВРЕМЯ В КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

Проблема рационального представления времени существует в науке давно и до сих пор нельзя сказать, что она нашла свое разрешение. Иными словами, на вопрос – что такое *время*, исчерпывающего ответа у науки нет. Как и в случае с пространством, можно, следуя греческой традиции, определить *время* как *нечто, характеризующее состояние объекта в порядке следования*.

6.1. ПРОБЛЕМА НЕПОСТИЖИМОСТИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ТРИ АСПЕКТА ЕГО РАЦИОНАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Как показал И. Пригожин [27; 33], при некотором размышлении можно выделить несколько относительно самостоятельных аспектов реального времени.

1. *Время как длительность*. Характеризует простую продолжительность процессов. Этот аспект времени нечувствителен к направлению времени и имеет одинаковую размерность для различных исторических эпох.

2. *Исторический аспект времени*. Он отмечает преимущественный переход состояний от прошлого к будущему и фиксирует необратимость этого процесса. В реальности естественное течение времени воспринимается нами по характерной направленности самопроизвольных изменений, происходящих вокруг нас, например, по старению окружающих нас предметов. Необратимый характер этих изменений наблюдается не только в неживой природе. Менее заметно и с меньшей относительной скоростью происходят изменения и в живых

организмах. Всем живым организмам, у которых наблюдается деление клеток, свойственна некоторая, в раннем возрасте почти полная, компенсация повреждений.

3. *Время как мера устойчивости.* В п. 1.2 мы определили устойчивость как способность объекта сохранять свое состояние. Там же было показано, что устойчивость является неотъемлемым качеством реальности, ее атрибутом, проявляющимся прежде всего в том, что мы можем наблюдать реальность. *Наблюдаемость* является важнейшим проявлением устойчивости. *Феноменологической* – т. е. не связанной с природой объекта, внешней количественной характеристикой устойчивости вполне определенного его состояния может служить *время, в течение которого оно сохраняется или наблюдается неизменным.* Время может являться феноменологическим критерием устойчивости. Можно показать, что продолжительность сохранения неизменным какого-либо состояния в механике определяется *инерцией*, мерой которой является *масса*. Эта характеристика материальной точки определяет в механике такое темпоральное свойство, как ускорение \vec{a} , и такие формы перманентной сущности, как полная энергия $E_{\text{полн}}$, полные импульс $\vec{P}_{\text{полн}}$ и момент импульса $\vec{L}_{\text{полн}}$.

Таким образом, в консервативной модели реальности из перечисленных выше аспектов времени реализуются только первый и третий аспекты, т. е. время проявляет себя только во всех закономерностях этой модели как *длительность* и, в неявной форме, как *мера устойчивости*. Следствием такой ограниченности только длительностью процессов всех темпоральных качеств в консервативной модели является нечувствительность закономерностей, описывающих эти процессы в рамках консервативного подхода, к изменению направления времени. Более строго формулируется эта особенность консервативной модели как *свойство инвариантности законов классической физики и всей консервативной модели реальности относительно инверсии времени.*

6.2. ИНВАРИАНТНОСТЬ ЗАКОНОВ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ИНВЕРСИИ ВРЕМЕНИ

В консервативной модели реальности наблюдается инвариантность законов относительно инверсии времени. *Инвариантностью* называется неизменность вида (латинская приставка *in-* означает отрицание, эквивалентное в русском языке приставке *не*; *вариантный* – от лат. *varians* – изменяющийся). *Инверсией* (от лат. *inversio* – пере-

ворачивание) для векторных величин называется изменение направленности, поворот в противоположном направлении. В классической механике и всей классической физике время нечувствительно к замене знака перед ним на противоположный, что эквивалентно повороту времени назад. Наиболее ярко инвариантность физических законов относительно инверсии времени можно продемонстрировать на примере второго закона И. Ньютона

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}. \quad (6.1)$$

Вид этого закона, а значит, и характер связи *причины* – вектора силы \vec{F} , со *следствием* – вектором ускорения \vec{a} , не изменяется, если время τ потечет в обратном направлении, т. е. изменит свой знак на противоположный, станет $(-\tau)$. Однако в формуле (6.1) время τ в явном виде отсутствует – его роль выполняют такие *темпоральные* характеристики состояния материальной точки как *скорость* \vec{v} и *ускорение* \vec{a} , поэтому для выявления связи силы \vec{F} и времени τ проведем следующие преобразования:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\vec{v}}{\tau} = m \cdot \frac{\vec{r}}{\tau^2} = m \cdot \frac{\vec{r}}{(-\tau)^2}. \quad (6.2)$$

Из полученного конечного выражения (6.2) становится очевидной природа инвариантности второго закона Ньютона относительно инверсии времени. Она проистекает из квадратичной связи силы \vec{F} со временем τ [27], т. е. время как параметр состояния объекта в консервативной модели квадратично связано с другими характеристиками состояния, и смена знака перед ним не изменяет вида этого основного закона, а, значит, и других законов в классической механике и консервативной модели реальности.

6.3. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ. КОНЦЕПЦИИ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ И БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ

Как уже было показано, ключевое для теории понятие *состояние* абстрактного объекта характеризуется конкретными значениями всего n – набора величин – характеристик его состояния. К ним относятся *параметры состояния* и *функции состояния*, обеспечивающие исчерпывающее описание этого объекта с помощью *уравнения состояния* – соотношения общего вида $f(x_1 \dots x_n) = 0$ или $y = f(x_1 \dots x_n)$, где

$x_1 \dots x_n$ – общее обозначение аргументов – параметров состояния как причины, а y – общее обозначение функции состояния объекта – формы перманентной сущности, например, энергии E – как следствия. В механике состояние материальной точки определяются параметрами состояния x_n двух видов – пространственными характеристиками – координатами объекта x, y, z и его временными, или *темпоральными* (от лат. *tempo* – время) параметрами – *скоростью* \vec{v} или *ускорением* \vec{a} , связанными с динамикой объекта и выражающими в неявной форме связь этих параметров состояния со временем

$$E_{\Sigma} = f(x, y, z, \tau), \quad (6.3)$$

где E_{Σ} – полная энергия материальной точки.

Принцип сохранения, лежащий в основании классической механики и всей консервативной модели реальности, а также принцип относительности Галилея не дают возможности выделить какое-либо одно особое состояние материальной точки по сравнению с другими. В этой модели все состояния равноценны и равноправны. Из-за отсутствия преимущественных состояний у материальной точки в консервативной модели, понятие ее *состояния равновесия*, играющее важную роль в механике, приобретает смысл простого баланса действующих на эту точку сил.

Например, состояние механического равновесия такого объекта, как рычаг или коромысло весов (рис. 6.1), достигается при равенстве произведений размеров плеча коромысла на величину силы, действующей на него:

$$\vec{F}_A \vec{F}_A \cdot OA = \vec{F}_B \cdot OB, \quad (6.4)$$

или при выполнении пропорции, известной, как *правило рычага*:

$$\vec{F}_A / \vec{F}_B = OB/OA. \quad (6.4, a)$$

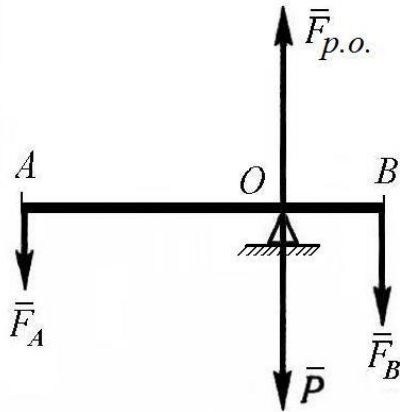


Рис. 6.1. Схема, иллюстрирующая правило рычага

Как и во всей механике, данное состояние равновесия не имеет никаких преимуществ по сравнению с другими состояниями, не отвечающими условиям (6.4). Например, это состояние неустойчивое; достаточно на ничтожную величину нарушить равенство (6.4, а) как положение коромысла (см. рис. 6.1) начнет изменяться. Единственным препятствием этому в реальной ситуации будет только сила трения в точке опоры.

Тем не менее, относительная неподвижность окружающих нас объектов реальности связана не только с наличием трения. Как показал И. Ньютон, неизменность положения точки O – точки приложения силы тяжести \vec{P} коромысла, опирающегося на опору (см. рис. 6.1), является результатом компенсации силы тяжести \vec{P} силой реакции опоры $\vec{F}_{p.o.}$.

В наиболее общей форме это выражено *третьим законом Ньютона*: *Действие всегда вызывает равное и противоположное противодействие* или, используя более строгую для механики терминологию, для более общего случая утверждается, что *действия двух материальных точек друг на друга всегда равны и направлены в противоположные стороны*:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (6.5)$$

Однако совершенно очевидно, что взаимодействия различных объектов реальности не сводятся только к непосредственному механическому контакту. Как И. Ньютону, так и некоторым его современникам (в частности, Р. Гуку) было ясно, что чувственно воспринимаемое единство всего наблюдаемого в мире можно объяснить существованием между всеми объектами реальности особой объединяющей взаимосвязи – *всемирным тяготением*, позже названным *гравитационным взаимодействием*.

Открытый И. Ньютоном закон всемирного тяготения

$$\vec{F}_T, \quad (6.6)$$

показал, что сила гравитационного притяжения \vec{F}_T пропорциональна (γ – коэффициент пропорциональности – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{г} \cdot \text{с}^2$) произведению масс взаимодействующих материальных точек m_1 и m_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r^2 .

С открытием этого закона существенно изменилась картина мира. Стало ясно, что в консервативной модели материальные точки не существуют сами по себе, они взаимодействуют. Все они притягиваются друг к другу и только их движение по криволинейным траекториям, создающее центростремительные ускорения, обеспечивает динамическое равновесие.

Рассмотрим схему отношений в консервативной модели (рис. 6.2). Материальная точка i массой m_i обязательно будет взаимодействовать с материальной точкой j массой m_j , которая имеет другие характеристики состояния, посредством силы \vec{F}_{j-i} (первая буква j в индексе указывает направление силы от материальной точки j к материальной точке i). Сила \vec{F}_{j-i} взаимодействия материальной точки j массой m_j с точкой i массой m_i , в соответствии с третьим законом Ньютона, равна по величине, но противоположно направлена силе \vec{F}_{i-j} . Схема, представленная на рис. 6.2 дает исчерпывающее представление о том, как определяются и от чего зависят состояния двух материальных точек в классической механике и консервативной модели. Любая теория, основанная на принципе сохранения, не может выйти за пределы этой схемы.

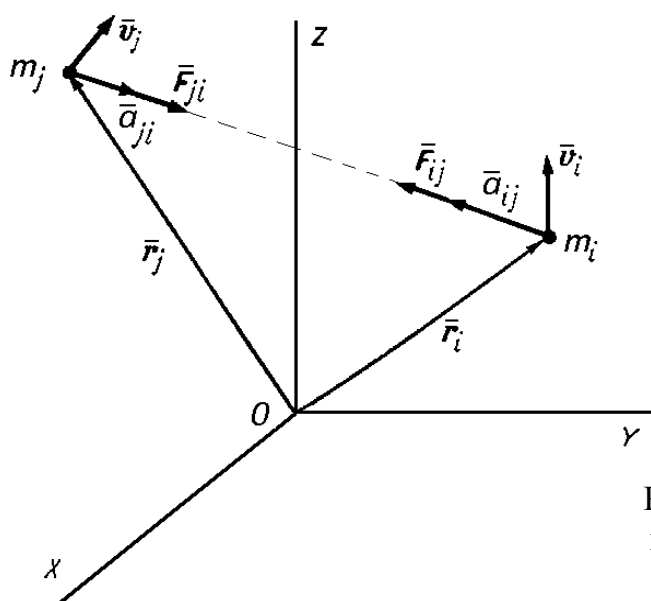


Рис. 6.2. Схема взаимодействия двух материальных точек в классической механике и консервативной модели реальности

Усложнение ситуации, добавление к этой схеме третьей материальной точки, к сожалению, превращает, например, задачу определения действующих сил в неразрешимую в общем виде. Эта проблема в механике известна, как «проблема трех тел». Чтобы разрешить ее, сводят описанную ситуацию к двум взаимодействующим объектам, одним из которых становится «суммарное» тело, образованное объединением двух материальных точек с общим центром тяжести и результирующим, «эффективным» гравитационным полем. Такое «суммарное» тело – объект в механике, полученный суммированием характеристик его составляющих, получило название *механической системы*, или *консервативной системы*. Следует подчеркнуть принципиальное отличие консервативных систем от *термодинамических систем* и, вообще, *диссипативных систем* – других абстрактных объектов, используемых в так называемом *системном подходе* в описании реальности, традиция которого исходит еще от древних греков.

Греческие философы сформулировали два, долгое время считавшихся противоположными, подхода к пониманию Вселенной. В философской и науковедческой литературе они получили название «линия Демокрита и линия Платона» в истории культуры [23].

Демокрит считал, что в мире нет ничего, кроме атомов и пустоты. Здесь присутствует не только догадка о существовании неделимых частиц материи, но и центральный принцип мироустройства. Вселенная подобна огромному механизму: вся она последовательно, этаж за этажом выстраивается только снизу вверх. Целое всегда, в конечном счете, сводимо к сумме его частей. Такой подход получил на-

звание *редукционизма* и наиболее полно воплотился в классической механике и консервативной модели реальности.

Платон разработал принципиально иной, целостный, холистический подход. Мир подобен огромному организму, человек есть микрокосм. И здесь главное не в аналогии между Космосом и живыми существами, а в утверждении о существовании таких объектов, принцип устройства которых прямо противоположен обычным, составным объектам. В них целое предшествует своим частям, детерминирует их свойства. Такие объекты Платон называл Целое; это слово по-гречески звучит как «холон» [22; 25].

Открытие закона всемирного тяготения давало научные основания для такого представления. Утвердившееся позже представление о *гравитационном поле* объединяло Вселенную в целостный объект, а предположение о том, что гравитационное взаимодействие передается мгновенно, позволяло считать, что изменение состояния любой малой ее части воспринимается всей Вселенной в целом. Так сформировалась концепция *дальнодействия*, в отличие от представления о *близкодействии* – утверждении о том, что изменения в любой части Вселенной ограничены конечной скоростью передачи взаимодействия и обнаруживаются в небольшой области пространства. Последняя точка зрения является в настоящее время ведущей в современном естествознании в связи с открытием конечной скорости передачи электромагнитного взаимодействия, не превышающей скорости света в вакууме.

6.4. ЗАКОН КУЛОНА. ЗАВЕРШЕНИЕ КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Публикация И. Ньютоном своего основного научного труда «Математические начала натуральной философии» создала возможность всем ученым познакомиться с первой за всю историю человечества *научной теорией*, полностью соответствующей всем требованиям, изложенным в п. 2.2, и осознать огромные возможности, которые открываются перед наукой при использовании теоретического подхода в описании реальности.

Потребность в применении научного подхода к описанию состояния других явлений реальности назрела давно. Наибольший интерес вызывало природное электричество. Человечеству с давних времен известна разрушительная мощь электрического разряда. Сло-

во «электричество» происходит от греческого $\eta\lambda\epsilon\tau\rho\upsilon\nu$ – электрон (янтарь); еще древним грекам была известна способность натертого янтаря приобретать заряд и притягивать или отталкивать мелкие частички и пылинки вещества.

После введения в электростатику абстрактного объекта – *точечного заряда*, ставшего аналогом материальной точки в механике, стало возможным строгое количественное описание электрических явлений. В 1785 г. французский ученый Огюст Кулон в опытах с крутильными весами установил закон, носящий с тех пор его имя: сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональна произведению их величин и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$\vec{F}_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \frac{z_1 \cdot z_2}{r^2}, \quad (6.7)$$

где \vec{F}_3 – сила электростатического взаимодействия; ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды; z_1 и z_2 – величины двух взаимодействующих точечных зарядов; r – расстояние между ними.

Фундаментальное положение электростатики и сложившейся позже электродинамики – *закон сохранения электрического заряда* – был открыт английским физиком Майклом Фарадеем в 1843 году. Ниже представлена его современная формулировка: *в изолированном объекте, т. е. в объекте, который не обменивается зарядами с окружающей средой, алгебраическая сумма электрических зарядов является постоянной величиной:*

$$\sum_{i=1}^n g_i = \text{const.} \quad (6.8)$$

Таким образом, стали складываться условия для превращения электродинамики в консервативную теорию.

Одинаковый вид уравнений, выражающих законы сохранения в механике (4.2), (4.6), (4.7) и (6.8), а также (6.7) и (6.8), относящихся к гравитационному и электростатическому взаимодействиям, можно рассматривать как следствие одинаковых подходов в описании этих различных по своей природе явлений. Часто в науковедческой литературе перенос методологии классической механики на электромагнитные явления называют научной революцией. По-видимому, при интерпретации процесса формирования представлений, названных в науке *классической физикой*, не следует использовать термин «науч-

ная революция» для обозначения тех процессов, которые относятся к переносу консервативной по своей природе (т. е. основанной на принципе сохранения) методологии классической механики на более широкий круг явлений другой природы.

Идея так называемых научных революций, утвердившаяся в науковедении после работы Т. С. Куна [20], не может в полной мере характеризовать генезис такого явления, как наука, поскольку, на наш взгляд, эта точка зрения, во-первых, поверхностна и была внесена в науковедение «по видимости» – по аналогии с господствовавшей в то время марксистской идеей связи социального прогресса с социальными революциями – явно неудачная аналогия с неверной идеей; во-вторых, она не раскрывает существа процессов, связанных с прогрессом научного знания и не позволяет объективно выделять этапы этого прогресса (возникает проблема субъективности в выделении этих научных революций и их предсказании).

Следует заметить, что революции – это не «скачкообразные» изменения процесса развития, как принято считать по отношению к научным революциям, а социальные катастрофы, характеризующиеся разрушением существовавшего ранее порядка, а только после этого – переходом к новому упорядочению. «...Старый мир разрушим до основания, а затем... новый мир построим...» – поётся в гимне коммунистов «Интернационал».

Не обсуждая здесь сомнительную связь социального прогресса с революциями, заметим, что в научном знании ничего подобного не происходило и не происходит. Разрушение несовместимо с научным творчеством. (Можно показать, что это несовместимо с методологическими принципами науки и, в том числе с принципом У. Оккама.) Не революции, а продуктивные процессы расширения сферы применимости теоретических представлений на более широкую по масштабу реальность составляют прогресс науки в полном соответствии с принципом дополнительности.

Созданный в классической механике методологический подход, основанный на *законах сохранения* и сводившийся к применению этих законов для прогнозирования состояния такого абстрактного объекта, как *материальная точка*, а также связанного с ним представления о *силовом поле* (сначала гравитационном, позже – электромагнитном), обеспечил становление особого этапа развития естествознания – *классической физики* – теоретического представления о природе, основанного на законах сохранения, оперирующего уже двумя

абстрактными объектами – локализованным абстрактным объектом, аналогом материальной точки, и распределенным абстрактным объектом, обеспечивающим «точечное» взаимодействие – силовым (гравитационным или электромагнитным) полем. Особая роль в становлении классической физики отводится обязательной составляющей научной теории, логическому средству, обеспечивающему получение непротиворечивым образом всего набора возможных следствий, ее «языку» – *математическому аппарату*. Введение в научный обиход понятия *бесконечно малая* величина, в отличие от конечной величины – *числа*, дало возможность количественно описывать мгновенные и непрерывные состояния с помощью дифференциального и интегрального исчисления (математического и векторного анализов) и с помощью дифференциальных уравнений. Не будет преувеличением заявить, что эта научная работа определила пути развития не только классической физики и науки вообще, но и изменила характер всей интеллектуальной деятельности человечества, предопределила современный облик цивилизации.

Свое завершение консервативная модель реальности получила в электродинамике в форме уравнений, предложенных выдающимся английским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом в 1864 году (табл. 6.1).

Уравнения электродинамики

Название	Дифференциальная форма	Интегральная форма	Физический смысл
Первое уравнение Максвелла. Закон Ампера	$\text{rot}\vec{H} = 4\pi k_B \vec{j} + \frac{k_B}{k_e} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{H} dl = 4\pi k_B I_{\text{провод}} + \frac{k_B}{k_e} \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} dS$	Магнитное поле отлично от нуля как при перемещении электрических зарядов ($i_{\text{провод}} \neq 0$), так и при изменении электрического поля во времени ($i_{\text{смещ}} \neq 0$). Электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле
Второе уравнение Максвелла. Закон индукции Фарадея	$\text{rot}\vec{E} = -k_F \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{E} dl = -k_F \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dS$	Выражает факт возникновения электрического поля при изменении во времени магнитного поля. Изменение магнитной индукции порождает вихревое электрическое поле
Третье уравнение Максвелла. Теорема Гаусса – Остроградского	$\text{div}\vec{D} = 4\pi k_e \rho$	$\oint_L \vec{D} dS = 4\pi k_e Q_{\text{encl}}$	Электрический заряд является источником электрической индукции
Четвертое уравнение Максвелла. Теорема Гаусса – Остроградского для электрического поля	$\text{div}\vec{B} = 0$	$\oint_L \vec{B} dS = 0$	Поток магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю. Это соотношение выражает факт отсутствия магнитных зарядов (монополей)

ρ – плотность стороннего электрического заряда; \vec{j} – плотность электрического тока; \vec{E} – напряжённость электрического поля; \vec{H} – напряжённость магнитного поля; \vec{D} – электрическая индукция; \vec{B} – магнитная индукция; $i_{\text{провод}}$ – электрический ток, вызванный движением свободных зарядов; k_e, k_B, k_F – коэффициенты, зависящие от системы единиц; rot – дифференциальный оператор ротора; div – дифференциальный оператор дивергенции; S – замкнутая двумерная поверхность; L – замкнутый контур; Q_{encl} – электрический заряд, заключенный внутри поверхности S .

Закон сохранения электрического заряда (6.8) в дифференциальной форме имеет вид

$$\operatorname{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \operatorname{div} \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (6.9)$$

и выражает тот факт, что вытекание заряда из бесконечно малого объема сопровождается изменением плотности заряда $\left(-\frac{\partial \rho}{\partial t}\right)$ в этом объеме. Вместе с соотношениями

$$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon} \quad (6.10)$$

и

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}, \quad (6.11)$$

где ε – диэлектрическая проницаемости среды, уравнения Максвелла (см. табл. 6.1) образуют систему уравнений электромагнитного поля, позволившую описать все электромагнитные явления и создать все разнообразие современных электромагнитных устройств.

Во второй половине XIX века в сознании ученых-физиков сложилось уверенность в том, что все законы природы открыты и близится «конец физики». Но утвердившаяся к тому времени модель реальности относилась только к макромасштабу реальности.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое время в консервативной модели реальности?
2. Сформулируйте третий закон Ньютона.
3. Сформулируйте закон Кулона.

7. ПОНЯТИЕ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Фазовое пространство позволяет представить всю совокупность достижимых состояний объекта, делает возможным произвести оценку его устойчивости, проследить динамику развития ситуации, что упрощает процесс исследования.

7.1. СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Количественно состояние любого абстрактного объекта в науке можно описать двумя способами: *аналитическим* и *графическим*. Аналитический способ использует для описания объекта уравнения, устанавливающие количественную причинно-следственную связь между параметрами и функциями состояния объекта:

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n),$$

где $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ – параметры состояния объекта, играющие роль независимых и не связанных друг с другом причин; y – функция состояния объекта, представляющая собой следствие; f – неявная форма функциональной связи причин и следствия. Аналитическая взаимосвязь всех параметров состояния в виде

$$f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) = 0,$$

называется уравнением состояния объекта.

Аналитический способ описания состояния объекта позволяет с любой заданной точностью определить значения характеристик состояния объекта, однако требует решения уравнений, а значит, не обладает экспрессивностью и наглядностью.

Графический способ позволяет более естественно, в привычных для человека пространственных образах, представить все состояния объекта и их генезис. Однако для этого необходимо использовать не реальное пространство, а пространство состояний объекта – фазовое пространство.

Фазовое пространство – это абстрактное пространство, в котором представляется в геометрических образах вся совокупность достижимых состояний объекта, а мерностями этого пространства являются параметры или другие характеристики объекта, однозначно определяющие его состояние: $y; x_1 \dots x_n$.

В отличие от реального трехмерного пространства, в котором невозможно существование многомерных объектов, фазовое пространство – пространство состояний. В зависимости от требований, которые предъявляются к полноте описания объекта, фазовое пространство может быть неограниченно мерным. Современные математические методы, разработанные в топологии (например, томография) и теории катастроф, позволяют описывать и изображать многомерные объекты в виде двух- или трехмерных проекций.

Для получения фазового пространства необходимо выделить такие характеристики объекта, которые исчерпывающе описывают его

состояние (рис. 7.1) и поставить их во взаимно однозначное соответствие друг другу.

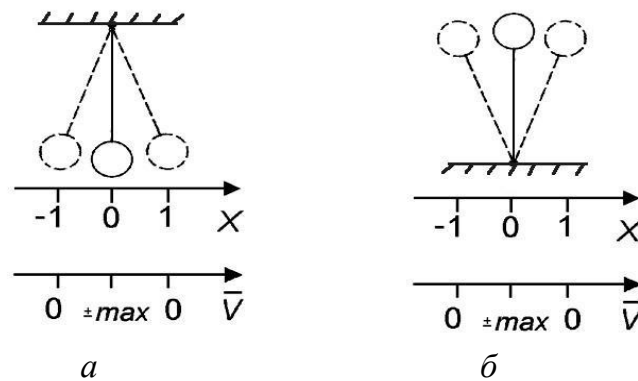


Рис. 7.1. Схемы маятника с верхним (а) и нижним (б) расположением шарнира подвеса и характеристики их количественного описания с помощью амплитуды колебаний x и скорости \bar{v} перемещения груза маятника

В зависимости от природы абстрактного объекта и требований к полноте описания его состояния выбирается соответствующая мерность фазового пространства. Например, для достаточно полного представления возможных состояний математического маятника вполне достаточно двумерного фазового пространства, образованного одной фазовой координатой – амплитудой и второй фазовой координатой – скоростью колебаний маятника.

Мы будем иллюстрировать преимущества фазовых портретов при описании устойчивости объектов на примере различных маятников. Маятники бывают двух видов: с верхним (рис. 7.1, а) и нижним (рис. 7.1, б) креплением шарнира подвеса. При их описании, в зависимости от уровня абстрагирования – степени пренебрежения процессами рассеивания энергии – можно выделить математический и физический маятники.

7.2. ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ МАЯТНИКОВ И ПРОБЛЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОСТИ

Фазовый портрет математического маятника с закреплением подвеса в верхней точке. Математический маятник – это абстрактный маятник, совершающий незатухающие колебания (трением в шарнире подвеса, сопротивлением при движении в среде пренебрегают, следовательно, диссипации энергии не наблюдается). Все состояния, достижимые математическим маятником, располагаются на

замкнутой фазовой траектории, имеющей форму эллипса (рис. 7.2). Такая замкнутая фазовая кривая, начало цикла которой совпадает с его завершением, является графическим образом циклически устойчивого объекта.

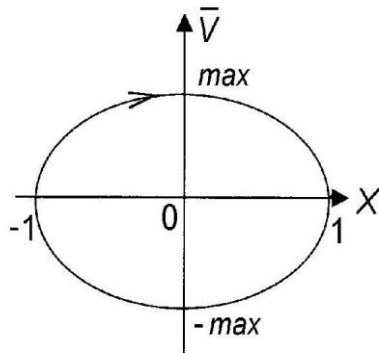


Рис. 7.2. Фазовый портрет математического маятника с верхним подвесом

Фазовый портрет физического маятника с закреплением подвеса в верхней точке. Физическим маятником называется маятник, у которого присутствует диссипация внутренней энергии, например, за счет наличия трения в шарнире подвеса, при преодолении сопротивления среды (например, в процессе колебаний маятника на воздухе). И, наконец, при деформации не абсолютно жесткого подвеса физического маятника энергия направленного внешнего воздействия деформирующей силы переходит в теплоту, которая рассеивается в окружающую среду; многим из жизненного опыта знакомо нагревание шляпки гвоздя при его забивании молотком и аналогичные термические эффекты, наблюдаемые при деформации. Маятник колеблется в реальной среде, значит, идет трение об воздух.

У всех физических, т. е. максимально близких к реальным, маятников уровень диссипации может изменяться, но имеется особое, общее для всех состояние, к которому будут эволюционировать все другие его состояния – это неподвижное положение с координатами: $x = 0$ и $\vec{v} = \vec{0}$ (рис. 7.3).

Каким бы ни было начальное положение фазовой траектории, конечное положение будет иметь указанные координаты. Складывается впечатление, что состояние покоя «притягивает» к себе все другие состояния маятника. Такое состояние у диссипативных объектов любой природы, к которому эволюционируют все остальные состояния объекта, получило название *аттрактор* (от англ. *attractive* – притягивать).

Устойчивость состояний объекта, у которого имеется аттрактор, получила название *асимптотической устойчивости*, т. е. устойчивости стремления. Все асимптотически устойчивые объекты имеют фазовые портреты, завершающиеся в одной точке, аналогичные спирали (см. рис. 7.3).

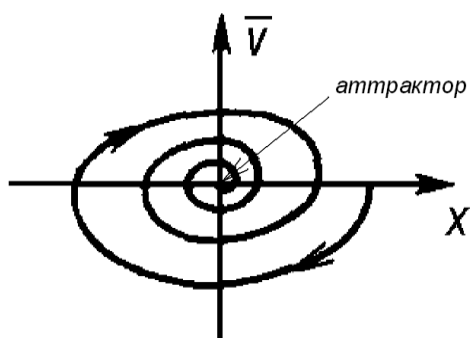


Рис. 7.3. Фазовый портрет физического маятника с верхним подвесом

Фазовый портрет физического маятника с нижним закреплением шарнира подвеса. Такой маятник (см. рис. 7.1, б) представляет собой абсолютно неустойчивый объект, который самопроизвольно, при сколь угодно малом внешнем воздействии выходит из своего исходного положения. Являясь физическим маятником, это

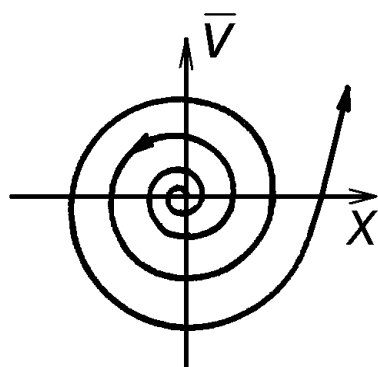


Рис. 7.4. Фазовый портрет физического маятника с нижним подвесом

устройство способно часть своей кинетической энергии перевести в другие формы, например, в энергию упругой деформации подвеса, а, значит, после падения маятник может подпрыгнуть и начать обратное движение в сторону исходного положения. Фазовая траектория такого маятника будет изображаться исходящим из нуля маленьким, ограниченным верхним левым квадрантом, спиралевидным фрагментом фазового портрета (рис. 7.4). При подведении к этому маятнику энергии извне в возрастающем количестве, например, в условиях резонанса, будет реализован полный фазовый портрет, изображенный на этом рисунке.

Фазовые портреты маятников с верхним и нижним подвесом на первый взгляд схожи: и в том и в другом случае начальные координаты фазовой траектории не совпадают с фазовыми координатами завершения цикла. Основное отличие состоит в последовательности

смены состояний. У маятника с нижним подвесом отсутствуют ограничения на верхний предел достижимых состояний – спираль будет раскручиваться от нуля по направлению, указанному стрелками.

Не вызывают сомнений перспективы такого объекта: при безмерном потреблении энергии извне маятник обязательно разрушится. Фазовая траектория такого маятника имеет вид абсолютно неустойчивого объекта с неограниченно возрастающими фазовыми координатами.

Условия для такого неустойчивого поведения следующие: объект поглощает энергию извне и энергия поглощается безмерно. Результатом такого поведения системы будет ее разрушение и разрыв фазовой траектории. Аналогичные разрывы будут иметь на фазовых портретах все абсолютно неустойчивые объекты.

7.3. СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Фазовые портреты, как и все графические образы, позволяют одновременно наблюдать всю совокупность достижимых объектом состояний, т. е. видеть сразу все состояния: которые объект имел в прошлом, которыми он обладает сейчас и которые будет иметь в будущем. Иными словами, каждый фазовый портрет позволяет наблюдателю одновременно наблюдать прошлое, настоящее и будущее объекта, ставит наблюдателя в положение провидца, оракула, предвосхищающего будущее. Широкий круг аналогий, которые возникают при анализе рассмотренных фазовых портретов маятников, позволяет достаточно строго и простыми средствами находить пути решения весьма сложных проблем. Так, например, современное состояние человечества в потреблении невозобновимых ресурсов аналогично фазовому портрету физического маятника с нижним подвесом. Неустойчивость этого состояния в ближайшем будущем может привести человечество в состояние недостаточности сырьевых ресурсов, описываемое фазовым портретом асимптотически устойчивого объекта – физического маятника с верхним подвесом – и неизбежным аттрактором в завершении цикла. Хотелось бы иметь цивилизацию, обладающую фазовым портретом циклически устойчивого объекта, т. е. аналогичного математическому маятнику. Очевидно, что для реализации этого необходимо сочетание двух последних фазовых портретов. Во втором происходит безмерное рассеивание энергии, а в третьем безмерное поглощение. Для того чтобы обеспечить циклическую устойчивость, необходимо замкнуть фазовую траекторию, чтобы уstra-

нить и безмерное рассеивание, и безмерное поглощение энергии. Для достижения этого человечеству требуется *мера производства и потребления*, которая должна присутствовать «внутри» самого объекта – человечества. Заметим, что *мера* – это категория не только научного, строго теоретического представления реальности, но и *категория морали*. Так довольно простыми средствами с использованием фазовых портретов мы показали острейшую потребность человечества в нравственности.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните разницу между фазовым и реальным пространством.
2. Что такое фазовый портрет объекта? Каковы его возможности и ограничения?
3. Дайте определение понятия «аттрактор».

8. ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ КОНСЕРВАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

В конце XIX – начале XX века, после создания экспериментально обоснованной модели атома и попытки описания микромира с позиций классической механики, а также экспериментального определения независимости скорости света от скорости источника стало ясно, что консервативная модель ограничивает описание реальности только макромасштабом. Ни микро-, ни мегамасштаб реальности невозможно теоретически успешно интерпретировать в рамках консервативных представлений.

8.1. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В XVII веке для объяснения распространения световых волн была предложена *гипотеза эфира* – представление о механическом эфире как всепроникающей мировой среде, обладающей очень низкой плотностью и большой упругостью. Распространение света рассматривалось как распространение упругих колебаний эфира, аналогичных звуковым колебаниям в воздухе. Воспользовавшись этой гипотезой, Френель получил правильное значение коэффициентов отраже-

ния и преломления для границы двух сред. Считая эфир неподвижным, но учитывая различие в свойствах эфира в пустоте и в телах, Френель показал, что при движении тел вследствие «сгущения» в них эфира, последний как бы частично увлекается. Увлечение эфира должно отразиться на оптических явлениях.

После создания Максвеллом электромагнитной теории света гипотеза упругого, механического эфира была заменена гипотезой электромагнитного эфира – всепроникающей среды, способной передавать электромагнитные сигналы, являющейся носителем электромагнитного поля и электромагнитных колебаний. При этом электромагнитное поле рассматривалось как форма движения эфира.

На вопрос, как ведет себя эфир при движении тел, остается ли неподвижным, увлекается полностью или частично, различные гипотезы отвечали по-разному. В 1887 году американские физики Альберт Майкельсон и Генри Морли, используя разработанный ими оптический интерферометр, экспериментально установили отсутствие эфира. Кроме того, они с высокой точностью измерили скорость света и показали, что она *не зависит* от скорости его источника. Последнее противоречило принципу относительности Галилея и вполне определенно указывало на достижение границ применимости классической физики, ее неспособность непротиворечивым образом описывать мегамигасштаб реальности. Это был настолько ошеломляющий результат, что, как писал в своих воспоминаниях выдающийся голландский физик-теоретик Хендрик А. Лоренц, «казалось, что из-под физики уходит земля». Для объяснения полученного А. Майкельсоном и Г. Морли отрицательного результата Лоренц и Фицджеральд выдвинули *контракционную гипотезу*, согласно которой размеры тел в направлении движения света сокращаются, а время замедляется. Позже эта гипотеза получила развитие в *преобразованиях Лоренца*, из которых следуют немислимые в классической физике представления:

– сокращение размеров объекта l в инерциальной системе, в направлении движения со скоростью v , близкой к скорости света c :

$$l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (8.1)$$

– замедление времени $\Delta\tau$ в этой системе по сравнению с $\Delta\tau'$ покоящейся системы

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\tau'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8.2)$$

Преобразования Лоренца показывают *неинвариантность* пространственных и временных интервалов при переходе от одной системы отсчета к другой, движущейся по инерции со скоростью, близкой к скорости света. В науке возникла парадоксальная ситуация, требующая отказа от одного из основных представлений классической физики – принципа относительности Галилея.

Выход из создавшегося положения был найден в 1905 году выдающимся ученым Альбертом Эйнштейном – создателем теории относительности. Им были сформулированы два постулата, ставшие основой *частной*, или *специальной теории относительности*.

Первым постулатом стал более общий, чем у Галилея, *принцип относительности*, утверждавший, что не только механические, но и все физические закономерности имеют один и тот же вид в инерциальных системах отсчета.

Вторым постулатом стал *принцип постоянства скорости света*, утверждающий, что скорость света в вакууме не зависит от скорости источника и во всех инерциальных системах одинакова:

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек.} \quad (8.3)$$

Важнейшими следствиями специальной теории относительности являются:

– установленная А. Эйнштейном и вытекающая из закона сохранения импульса зависимость массы материальной точки от скорости

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (8.4)$$

где m_0 – масса покоящейся материальной точки;

– связь энергии E и массы

$$E = m \cdot c^2. \quad (8.5)$$

Позже, в *общей теории относительности*, являющейся по существу, теорией тяготения, А. Эйнштейном было показано, что кажущаяся парадоксальность теории относительности связана с тем, что в мегамасштабе реальности пространство и время связаны в единое явление и образуют *целостность* – *пространственно-временной континуум*, поэтому не могут рассматриваться как независимые друг от друга пространственные (x, y, z) и временные (τ) характеристики состояния материальной точки. Неоднородность реального пространства и его неизотропность определяются, как было показано в п. 5.1 (см. рис. 5.2 и 5.3), напряженностью гравитационного поля в этом пространстве, т. е. массой объекта.

Ненаблюдаемая в привычном нам макромасштабе реальности взаимосвязь пространства и времени проявляется только при скоростях движения материальной точки, сопоставимых со скоростью света. Поэтому при скоростях движения, значительно меньших скорости света ($v \ll c$), как следует из полученных в теории относительности выражений (8.1), (8.2), (8.3), $l \rightarrow l'$, $\Delta\tau \rightarrow 0$, $m \rightarrow m_0$. Такой «предельный» переход является убедительной иллюстрацией проявления в науке упомянутого в п. 2.1 методологического принципа дополненности.

8.2. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Близкие по природе проблемы возникли в классической физике при интерпретации экспериментальных результатов, полученных при изучении строения атома, т. е. при переходе к микромасштабу реальности. К началу XX века в классической физике существовала только одна модель атома – «пудинг с изюмом», предложенная и названная так английским физиком Дж. Дж. Томсоном после открытия им отрицательно заряженной элементарной частицы – электрона. В соответствии с этой моделью, атом любого вещества состоял из положительно заряженной матрицы – «пудинга», равномерно распределенного по сфере диаметром приблизительно 0,1 нм, в котором для соблюдения электронейтральности «плавают» «изюм» – отрицательно заряженные электроны. Их колебания возбуждают в пространстве электромагнитные волны.

Открытие и изучение радиоактивного излучения, обнаруженного у некоторых природных минералов, подсказало английскому физiku Э. Резерфорду идею использовать одну из его составляющих – α -излучение – для исследования строения атома. Поскольку α -частицы представляют собой положительно заряженные ионизированные ядра гелия, их поток не должен проходить даже через очень тонкую пластинку (фольгу) твердого вещества: в соответствии с моделью Томпсона, они будут отталкиваться от положительно заряженной основной массы атома при приближении к поверхности твердого вещества.

Результаты выполненного экспериментального исследования полностью не соответствовали этим предположениям. Эксперименты показали, что во-первых, фольга всех исследованных веществ оказалась почти полностью прозрачной для α -частиц – основной их поток проходил через фольгу практически без отклонения от своего основного направления; во-вторых, наблюдается незначительное количест-

во рассеянных α -частиц, число которых падает с увеличением угла рассеивания.

Оценив соотношения количества рассеянных α -частиц и прошедших через вещество, Э. Резерфорд в 1911 году предложил «планетарную» модель атома, в соответствии с которой внутри атома имеется положительно заряженное ядро с зарядом $+Ze$, вокруг которого вращаются Z электронов с отрицательным зарядом $-Ze$; почти вся масса атома сосредоточена в ядре, размеры которого меньше, чем 10^{-14} м, чем и объясняется прозрачность вещества для α -частиц. Только такая модель полностью соответствовала всем имеющимся экспериментально установленным фактам.

Однако хорошо экспериментально обоснованная планетарная модель строения атома в соответствии с классической электродинамикой должна быть неустойчивой! Из уравнений Максвелла (см. табл. 6.1) следует, что точечный заряд,двигающийся с ускорением, т. е. находящийся под действием силы, должен рассеивать свою энергию в виде электромагнитного излучения. Это значит, что электроны, вращаясь вокруг ядра по криволинейным траекториям, должны, излучая электромагнитные волны, терять свою кинетическую энергию и в итоге упасть на ядро. Ничего подобного с реальными атомами вещества не происходит. Так возникло противоречие между классической физикой и экспериментом при интерпретации явлений микромасштаба реальности, которое завершило эпоху господства классической физики и положило начало новому этапу ее развития.

Квантовая теория строения атома водорода была предложена в 1913 году выдающимся датским физиком – теоретиком Н. Бором. В основу своей теории Н. Бор положил три постулата.

Первый постулат. Электрон в атоме может находиться только в некоторых определенных энергетически устойчивых состояниях, которые являются стационарными. Находясь в стационарном состоянии, электрон не излучает энергию.

Второй постулат. Атом излучает электромагнитную энергию в виде кванта энергии – фотона с частотой ν при переходе из одного стационарного состояния с более высокой энергией E_k в другое стационарное состояния с более низкой энергией E_t :

$$\hbar\nu = E_k - E_t, \quad (8.6)$$

где \hbar – постоянная Планка; ν – частота излучения; E_k и E_t – энергия начального и конечного стационарных состояний соответственно.

Третий постулат. Из всех возможных состояний в атоме реализуются только те, для которых момент количества движения M равен целому числу:

$$M = n \cdot \hbar = n \frac{h}{2\pi} \quad (8.7)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ – квантовое число.

Постулаты Бора, находясь в полном противоречии с классической механикой и электродинамикой, были экспериментально подтверждены спектроскопическими исследованиями атома водорода. Можно сказать, что поведение элементарных частиц в микромире уже нельзя было в полной мере описывать с помощью абстрактного объекта классической физики – материальной точки.

Наиболее ярко эти ограничения выражаются *принципом неопределенности* В. Гейзенберга, который с помощью мысленного эксперимента показал, что при описании состояния микрочастицы возникают принципиальные ограничения: *невозможно одновременно с высокой точностью определить координату и импульс микрочастицы*. Погрешность совместного определения этих характеристик состояния не может быть меньше *соотношения неопределенности*

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar, \quad (8.8)$$

где Δx и Δp – погрешности в определении координаты и импульса соответственно; \hbar – постоянная Планка.

Таким образом, было показано, что состояние всех объектов микромасштаба реальности невозможно исчерпывающе описать с использованием привычных для классической физики пространственных и временных представлений.

Для интерпретации спектров многоэлектронных атомов и поведения микрочастиц в 1924 году французский физик Луи де Бройль предложил использовать выражение для плоской волны. Так в естествознание вошел парадоксальный симбиоз – своего рода кентавр теоретической физики, абстрактный объект *частица–волна*, который выражает попытку устранить указанную ограниченность абстрактных объектов классической физики неким симбиозом материальной точки и поля. Это представление получило название *корпускулярно-волнового дуализма*. Непримируемым и категорическим противником такого подхода был А. Эйнштейн [49]. Однако до настоящего времени большая часть физиков настаивает на том, что в этом образе выражается природный дуализм реальности. Этому способствуют эксперименты, которые показывают проявление одновременно и волновых (дифракции и интерференции), и корпускулярных свойств как отдельных микрочастиц, так и их поведения в потоке.

В настоящее время для описания состояния электронов в атоме используют введенную австрийским физиком В. Шредингером Ψ -функцию (пси-функцию), которая не имеет аналогов в привычном нам макром мире. Было показано, что ее квадрат Ψ^2 пропорционален вероятности нахождения микрочастицы в данной точке пространства. Поэтому Ψ -функцию рассматривают как амплитуду этой вероятности в волновом уравнении Шредингера, аналогичном уравнению плоской волны.

8.3. КЛАССИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И НАБЛЮДАЕМЫЙ ОБЛИК ЦИВИЛИЗАЦИИ. МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОНСЕРВАТИВНОСТИ РЕАЛЬНОСТИ

Ограниченный законами сохранения логический фундамент всех теорий классической физики предопределяет использование в качестве абстрактного объекта этих теорий, как и всей консервативной модели реальности, только материальной точки или ее аналога. Параметрами состояния материальной точки являются независимые друг от друга пространственные и временные характеристики. Собственным внутренним качеством, выражающим атрибут реальности *устойчивость*, в данном случае для материальной точки, является *инерция* – «пассивная способность этого абстрактного объекта сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Количественной характеристикой устойчивости этих состояний материальной точки, ее мерой, является масса – m .

Необходимость в описании взаимодействия между точечными абстрактными объектами привела к формированию не только понятия силы как причины изменения состояния материальной точки, но и еще одной важной абстракции классической физики – представления о силовом (гравитационном или электромагнитном) поле. Без этой абстракции не только невозможно решение задачи взаимодействия многих тел, без нее не появилась бы альтернативная точечной волновая механика.

Сложившаяся под влиянием классической механики консервативная модель реальности обеспечила разрешение насущной потребности человечества в повышении продуктивности и эффективности труда на основе индустриализации своей деятельности – за счет перехода к широкому использованию машин в своей производственной деятельности – машинному производству и, естественно, к проектированию и производству самих машин. Классическая механика и

классическая физика вообще стали теоретической основой индустриального этапа цивилизации и обеспечили формирование консервативной модели реальности.

Классическая механика не только создала много инженерных дисциплин, ставших теоретической основой той техники и технологии, которые изменили облик цивилизации и позволили многократно увеличить продуктивность человеческой деятельности, но и сформировала особый образ мышления, который в науке, как было показано выше, определил характер консервативной модели реальности, а в человеческом мировоззрении создал то направление, которое позже стали называть емким термином – механицизм и от которого крайне трудно приходится избавляться до сих пор.

Колоссальный успех классической физики в использовании консервативных теорий подтолкнул некоторых ученых (биологов, философов, экономистов) к попыткам применить аналогичный теоретический подход для описания живого организма (Ж. О. Ламетри) и человеческого общества (К. Маркс). Такие попытки не могли привести к построению количественных теорий в биологии или в гуманитарном знании, однако даже в качественной форме они создавали иллюзию «теоретической научности». Фундаментальный труд К. Маркса «Капитал» является типичной, основанной на законе сохранения стоимости, консервативной моделью тогдашней экономики. К сожалению ни К. Маркс, ни его последователи, включая В. И. Ленина, не отдавали себе отчет в том, что качественная модель, которая опирается только на законы сохранения, может использовать в качестве объекта только точечную бесструктурную абстракцию, прогноз внутренних процессов в которой не имеет никакого смысла. Поэтому не занимаясь здесь анализом возможности создания устойчивого коммунистического или социалистического общества вообще, отметим, что идея коммунистического общества как будущего всего человечества не может быть строгим следствием какой-либо теории, основанной только на законах сохранения.

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте основные положения теории относительности.
2. Изложите содержание принципа неопределенности И. Гейзенберга.
3. В чем заключается роль механики в формировании наблюдаемого облика цивилизации?

9. СТАНОВЛЕНИЕ ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

Диссипативная модель является исторически второй и последней из сложившихся к настоящему времени, ныне действующей рациональной моделью реальности.

Напомним, что рациональной моделью реальности мы называем общенаучную теоретическую конструкцию наддисциплинарного характера, логическое основание которой составляют *фундаментальные принципы*, обеспечивающие ей самую общую логическую основу, наибольший масштаб описания реальности и возможность претендовать на описание всей реальности как целого. Последнее связано с *сущностным* характером каждого фундаментального принципа, выполняющегося во всей реальности.

Рациональной моделью реальности является ранее рассмотренная консервативная модель, логическим основанием которой служит первый из известных человечеству и единственный в этой модели фундаментальный принцип – принцип сохранения. Теоретическим прообразом консервативной модели реальности стала классическая механика и, вообще классическая физика, дисциплинарные теоретические представления которой основаны только на законах сохранения.

9.1. ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ Ж-Б. Ж. ФУРЬЕ. ОСОБЕННОСТИ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЙ СВЯЗИ В ЗАКОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

Потребность в новой теории, более полно описывающей взаимные переходы различных форм энергии, в том числе теплоты, возникла в конце XVIII – начале XIX века в связи с необходимостью совершенствования конструкции и оптимизации работы первых паровых машин. С этими устройствами, преобразующими кинетическую энергию пара – теплоту – в работу расширения, передовые ученые связывали возможность создания удобных для человека, хорошо управляемых двигателей, способных приводить в действие возросшие по размерам и производительности механические устройства – станки и механизмы. Без этого невозможен был дальнейший рост продуктивности человеческой деятельности.

Используемые ранее в качестве приводов этих устройств мускульная сила человека и тягловых животных или энергия стихий (ветра и воды) уже не могли в полной мере удовлетворять возросшие по-

требности человечества в управлении производством, тем более что к тому времени уже существовали технически довольно совершенные паровые машины. Например, паровая машина выдающегося английского изобретателя Джеймса Уатта была вполне успешным коммерческим проектом. В английских шахтах работали паровые машины, приводящие в действие насосы для откачки воды и т. п.

Однако эти устройства представляли собой значительные по размерам и весьма материалоемкие сооружения, у которых основная доля подводимой теплоты рассеивалась на нагревание самого устройства, и поэтому их энергетическая эффективность, определяемая коэффициентом полезного действия, была крайне низкой. Кроме промышленного производства, паровые машины имели очевидные перспективы успешного применения в сельском хозяйстве и на транспорте, но дальнейшее совершенствование и оптимизация их конструкций сдерживалось отсутствием общей теории тепловых машин. Как уже было сказано ранее, без построения научной теории невозможно создание никакой техники и технологии.

В начале XIX века Парижская академия объявила конкурс на создание математической теории законов распространения теплоты в веществе. В конкурсе победил барон Жан-Батист Жозеф Фурье (1768–1830), известный к тому времени французский математик и общественный деятель, который воевал за республику, участвовал в Египетской экспедиции Наполеона, а к описываемому времени занимал пост префекта департамента Изеры с центром в Гренобле, на который его назначил Наполеон в 1802 году. В свободное время Фурье продолжал научные исследования по алгебре и теории теплопроводности, основные результаты в которой были получены в 1807 году.

За серию работ по теории теплоты в 1811 году ему была вручена Большая золотая медаль и немалая по тем временам денежная премия. Однако отдельной книгой его классическая «Аналитическая теория тепла» вышла только в 1822 году.

Что же привлекло внимание французских академиков к закону Фурье? Конечно, математическая форма этого закона была проста и изящна, замечательным его свойством была независимость от химического состава и агрегатного состояния вещества. Однако особую роль здесь сыграла ранее неизвестная, незнакомая классической физике закономерность связи причины и следствия, выявленная в дифференциальной форме:

$$\vec{I}_Q = -\chi \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}, \quad (9.1)$$

где \vec{I}_Q – вектор потока теплоты Q ; \overrightarrow{gradT} – вектор градиента температуры $-\frac{dT}{dx}$; χ – коэффициент теплопроводности.

В уравнении (9.1) градиент температуры \overrightarrow{gradT} является причиной, порождающий пропорциональный теплопроводности χ поток теплоты \vec{I}_Q , распространяющийся в направлении, противоположном направлению действия причины. Рассмотрим упрощенную схему распространения потока теплоты \vec{I}_Q через стену, отделяющую помещение комнаты от улицы (рис. 9.1). Величина потока теплоты \vec{I}_Q будет зависеть от теплопроводности материала стены χ и ее толщины ΔX . Последняя определяет величину перепада температуры $\Delta T/\Delta X$ и, в итоге, значение градиента температуры

$$\overrightarrow{gradT} = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta X}.$$

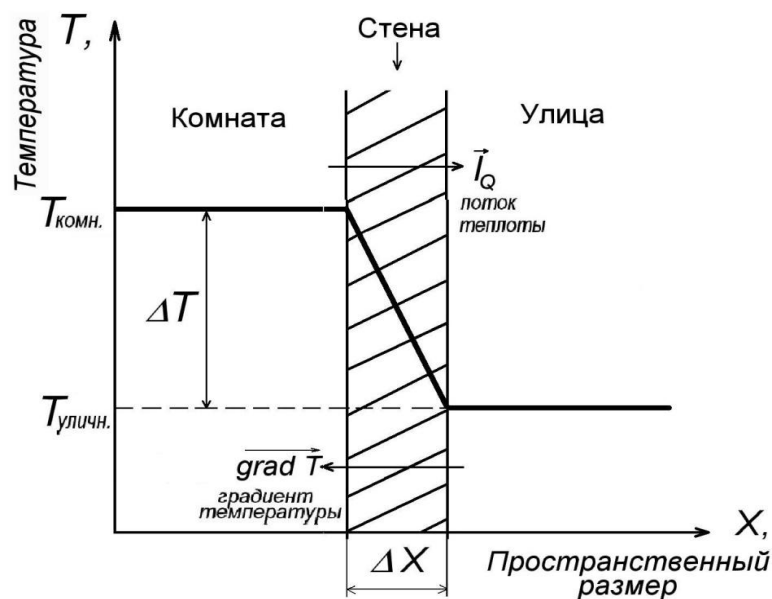


Рис. 9.1. Схема, иллюстрирующая процесс распространения теплоты из комнаты на улицу в соответствии с законом Фурье (9.1)

Вектор потока теплоты \vec{I}_Q направлен из комнаты на улицу и противоположен вектору градиента температуры \overrightarrow{gradT} , направленному в сторону бóльшей температуры.

Физически это означает, что причина порождает следствие, действующее «против причины», т. е. направленное на уменьшение, или даже полную компенсацию причины. Эта особенность связи причины и следствия указывала на существование в природе более сложных, чем пассивная инерция, форм проявления устойчивости, и принципиально отличалась от закономерности, утвердившейся к тому времени в механике и всей консервативной модели реальности и вытекающей из второго закона Ньютона

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}. \quad (9.2)$$

В этом основном законе механики (9.2) причина – вектор силы \vec{F} – порождает пропорциональное массе m следствие – ускорение \vec{a} , вектор которого направлен в сторону действия причины. Такое совпадение направлений действия причины и следствия по отношению к абстрактному объекту – материальной точке – утвердилось как в механике, так и во всей классической физике и составляет особенность причинно-следственных отношений во всей консервативной модели реальности.

Открытие Ж-Б. Ж. Фурье иной, ранее неизвестной в науке, закономерности причинно-следственных отношений, указывало на невозможность использования абстрактного объекта механики – материальной точки для теоретического описания тепловых явлений и, следовательно, на необходимость поиска новой фундаментальной закономерности, учитывающей постоянную способность теплоты к рассеиванию и определяющей специфику всех энергетических превращений с участием теплоты. Фундаментальный характер этой искомой закономерности должен обеспечить возможность использования в будущей теории нового, более сложного по своей природе, абстрактного объекта, с помощью которого устойчивость достигнутых состояний, как следует из (9.1), обеспечивалась бы за счет активности самого объекта – его противодействия внешнему воздействию.

В настоящее время очевидно, что эта новая закономерность связана со всеобщностью процессов рассеяния. Она дополнила фундаментальные законы сохранения принципом возрастания энтропии, что позволило сформировать новое логическое основание для термодинамики и обеспечить условия для использования в этой теории нового абстрактного объекта – термодинамической системы. Термодинамика стала новой фундаментальной теорией, по своему значению в науке не уступающей классической механике, но существенно превосходящей ее по широте охвата природных явлений и возможностям их рационального описания. Термодинамика положила начало ста-

новлению системного подхода в науке и формированию новой, действующей и поныне, диссипативной модели реальности.

9.2. ТЕОРЕМА С. КАРНО И НЕВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЕЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВТОРОГО РОДА

В настоящее время термодинамика – одна из наиболее хорошо разработанных теоретических областей физического знания. Ее становление началось в первой половине XIX века как теории тепловых двигателей, т. е. теории, которая решала проблемы создания и оптимизации паровой машины. Как и любая научная теория, термодинамика основывается прежде всего на первом законе – законе сохранения энергии как следствии фундаментального принципа сохранения. Специфика же термодинамики связывается со вторым ее законом, являющимся следствием фундаментального принципа диссипации.

Впервые второй закон термодинамики был сформулирован в работе гениального французского ученого Сади Карно (1796–1832) «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных проявить эту силу», опубликованной в Париже в 1824 году. Движущей силой тогда называли работу. Следовательно, с точки зрения современных представлений, С. Карно писал о той работе, которую может совершить теплота.

Было известно, что эффективность работы паровой машины определяется коэффициентом полезного действия (КПД) η – относительной величиной, выраженной в долях единицы или в процентах, которая показывает различие между общим количеством теплоты $Q_{\text{общ}}$, подведенной к паровой машине, и тем количеством теплоты $Q_{\text{полезн}}$, которое потратилось на совершение полезной работы:

$$\eta = \frac{Q_{\text{общ}} - Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{общ}}} = \left(1 - \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{общ}}}\right) \times 100\%.$$

Чем бóльшая полезная работа совершается при меньших затратах подводимой теплоты, тем эффективнее, с более высоким КПД, действует тепловая машина.

Итак, С. Карно показал, что гипотетическая идеальная тепловая машина, рабочим телом которой является идеальный газ, а рабочий цикл (рис. 9.2) состоит из последовательных обратимо протекающих процессов изотермического (при постоянной температуре $T = \text{const}$) и адиабатического (без теплообмена с окружающей средой, т. е. при $dQ = 0$) расширения и изотермического и адиабатического сжатия рабочего тела, имеет максимально возможное значение КПД.

Эта величина для идеальной тепловой машины зависит только от температуры и может быть рассчитана так:

$$\eta = \frac{T_{\text{р.т.}} - T_{\text{хол.}}}{T_{\text{р.т.}}} = \left(1 - \frac{T_{\text{хол.}}}{T_{\text{р.т.}}}\right) \times 100\%, \quad (9.3)$$

где η – коэффициент полезного действия, а $T_{\text{р.т.}}$ и $T_{\text{хол.}}$ – температура рабочего тела и температура холодильника, в К.

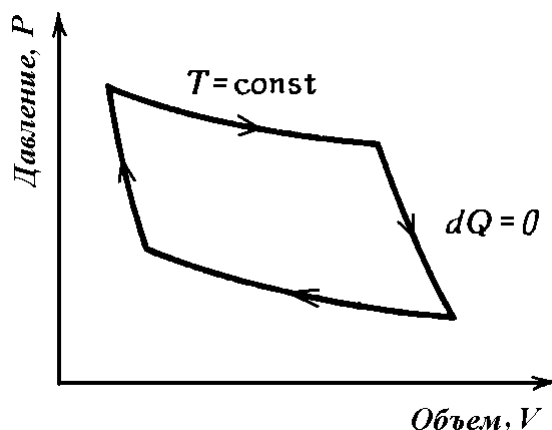


Рис. 9.2. Цикл идеальной тепловой машины Карно

Как показала термодинамика, основное рассеяние (диссипация) энергии тепловой машины происходит в холодильнике. Поскольку без холодильника, в котором охлаждается рабочее тело, невозможно создать периодически действующую тепловую машину, следовательно, второй закон термодинамики в формулировке С. Карно запрещает создание теплового двигателя с КПД = 100 %, или, в более общей форме, утверждает, что невозможно создать вечный двигатель второго рода. Вечным двигателем второго рода называется тепловая машина, которая работает без рассеяния подводимой к ней энергии, полностью превращая ее в полезную работу.

Напомним, что первый закон термодинамики – закон сохранения энергии – накладывает запрет на создание вечного двигателя первого рода – машины, которая совершает работу вообще без подвода энергии извне.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия диссипативной модели реальности.
2. Какие особенности причинно-следственных отношений выявляет закон Ж.-Б. Ж. Фурье?
3. Дайте определения понятия вечного двигателя второго рода.

10. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРМОДИНАМИКИ

Диссипативная модель будет рассматриваться нами на примере термодинамики потому, что впервые основные ее представления в наиболее строгой теоретической форме были созданы именно в термодинамике. Диссипативная модель реальности, в отличие от консервативной модели, основывается на двух фундаментальных принципах – принципе сохранения и принципе диссипации.

Напомним, что в соответствии с фундаментальным принципом сохранения, в реальности можно выделить такую перманентную сущность, которая не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а только переходит из одной формы в другую в эквивалентных количествах. Фундаментальный принцип диссипации утверждает, что эти взаимные эквивалентные переходы *всех форм* перманентной сущности в самопроизвольных процессах осуществляются в преимущественном направлении от их концентрированных форм к рассеянным, т. е. протекают в сторону диссипации.

Термодинамика была первой диссипативной физической теорией, которая непротиворечивым образом описала эти процессы для одной из форм перманентной сущности – *энергии*, протекающие в новом для теории абстрактном объекте – *термодинамической системе*. Термодинамика стала первой научной теорией, создавшей системную методологию, без которой невозможно представить ни одну современную область науки, техники и технологии.

10.1. ПРИНЦИП ВОЗРАСТАНИЯ ЭНТРОПИИ И ГИПОТЕЗА «ТЕПЛОЙ СМЕРТИ» ВСЕЛЕННОЙ. СТАНОВЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ПРИНЦИПА ДИССИПАЦИИ

Второй закон термодинамики, сформулированный гениальным С. Карно в 1824 году и положивший запрет на существование вечного двигателя второго рода, имел фундаментальное значение для становления термодинамики как теории тепловых машин. Развита на ее основе техническая термодинамика определила прогресс и современный облик энергетики и всей современной цивилизации.

Другая, наиболее общая, формулировка второго закона термодинамики, была предложена в 1865 году Рудольфом Клаузиусом

(1822–1888) в форме **принципа возрастания энтропии**: в изолированной системе энтропия S самопроизвольно возрастает до своего максимального значения. Максимальному значению энтропии ($dS = 0$) соответствует состояние равновесия (рис. 10.1).

Эта форма второго закона термодинамики впервые указывает на особое состояние термодинамической системы и вообще систем любой природы – состояние равновесия, к которому эволюционируют все другие состояния системы. Иными словами, в термодинамической системе, как и в системах другой природы, т. е. в системах вообще, имеет место тенденция, проявляющаяся как стремление к однородности – самопроизвольному устранению различий в разных частях системы, независимо от масштаба ее рассмотрения. Эта тенденция к максимальному хаосу, осуществляемая не за счет какого-либо внешнего воздействия, а исключительно за счет собственной внутренней энергии системы. Выбор Р. Клаузиусом изолированной системы для формулировки этого принципа специально подчеркивает последнее обстоятельство. Таким образом, в череде возможных состояний системы как нового абстрактного объекта теории, Р. Клаузиусом выделяется особое состояние, к которому эволюционируют все остальные состояния и которое в термодинамической системе получило название *состояния равновесия*. Из этого следует, что состояние равновесия является типичным аттрактором (см. п. 7.2). В изолированной системе (см. рис. 10.1) единственным критерием реализации этого состояния является максимум энтропии ($dS = 0$).

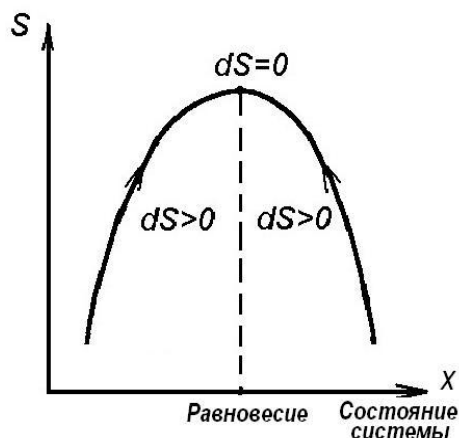


Рис. 10.1. Изменение энтропии S и эволюция состояний X в изолированной системе

В предложенной Клаузиусом форме второго закона термодинамики впервые вводится ранее неизвестная науке функция состояния термодинамической системы – *энтропия*, которая обозначается латинской буквой S и является количественной характеристикой (т. е.

мерой) однородности, беспорядка или хаоса в системе. У многих, впервые знакомящихся с понятием энтропии, вызывает удивление то, что эти три слова – однородность, беспорядок и хаос – являются синонимами и обозначают одно и то же состояние. Однако наш жизненный опыт, наши наблюдения за установлением однородности в реальной жизни показывают, что этот феномен связан с процессами рассеяния – будь то расходящиеся волны на воде после падения камня или появление пыли в помещении. Присутствие пыли в комнате можно рассматривать как вещественное воплощение энтропии, поскольку пыль содержит частицы всех объектов, смесь всего, что находится в помещении. В более общей форме можно заключить, что *однородность начинается со смешения всего, что есть в системе.*

Таким образом, принцип возрастания энтропии, как и все фундаментальные положения теории, для достаточно зрелого человека очевиден и не требует доказательств, поскольку является результатом обобщения жизненного опыта всего человечества.

Осознание гениальным Р. Клаузиусом сущностной природы хаоса и фундаментального характера принципа возрастания энтропии позволило ему распространить этот принцип на всю Вселенную в виде «драматической формы» второго закона термодинамики, которую иногда называют гипотезой «тепловой смерти» Вселенной. Её формулировка состоит из двух, на первый взгляд совершенно безобидных, фраз [7].

1. Энергия Вселенной постоянна.
2. Энтропия Вселенной возрастает.

Казалось бы, оба утверждения совершенно естественны; первое следует из закона сохранения энергии, второе – из принципа возрастания энтропии. Более общий, выходящий за рамки только физики, *метафизический* характер этих законов позволил Р. Клаузиусу распространить их на всю Вселенную*.

«Драматической» такая формулировка второго закона термодинамики называется потому, что она предрекает неотвратимое достижение Вселенной, по аналогии с термодинамической системой, состояния термического равновесия, характеризующегося максимальной энтропией. Для Вселенной это означает наступление «тепловой смерти» – состояния, когда все звезды погаснут, а энергия и вещество равномерно распределятся по всему ее объему, т. е. Вселенная пре-

* Заметим, что утверждение о существовании в науке фундаментальных принципов, распространяющихся на всю реальность (см. гл. 3), можно рассматривать как развитие этого подхода Р. Клаузиуса.

вратится, образно говоря, в «темный, холодный и пыльный чердак». Конечно, такое состояние несовместимо с существованием в ней жизни. Еще раз подчеркнем, что эта гипотеза является следствием представления Вселенной как изолированной термодинамической системы и применения к ней основных положений термодинамики.

В 20-х годах XX века начала складываться современная *космология* – раздел астрономии, который изучает закономерности существования Вселенной как единого целого, ее происхождения и эволюции, для прогнозирования всей, охваченной астрономическими наблюдениями части Вселенной, обычно называемой Метагалактикой. После создания А. Эйнштейном (1916) общей теории относительности, работ советского ученого А. А. Фридмана (1922–1924) и американского астронома Э. Хаббла (1929) утвердилась модель расширяющейся Вселенной, в которой галактики удаляются друг от друга. По этой модели скорость удаления каждой галактики пропорциональна расстоянию до нее от наблюдателя (закон Хаббла), т. е. по мере удаления галактики ее скорость удаления растет (рис. 10.2) [30]. Один из вариантов этой модели (замкнутая Вселенная) указывает, что существует расстояние, на котором скорость удаления галактик сравнится со скоростью света в вакууме.

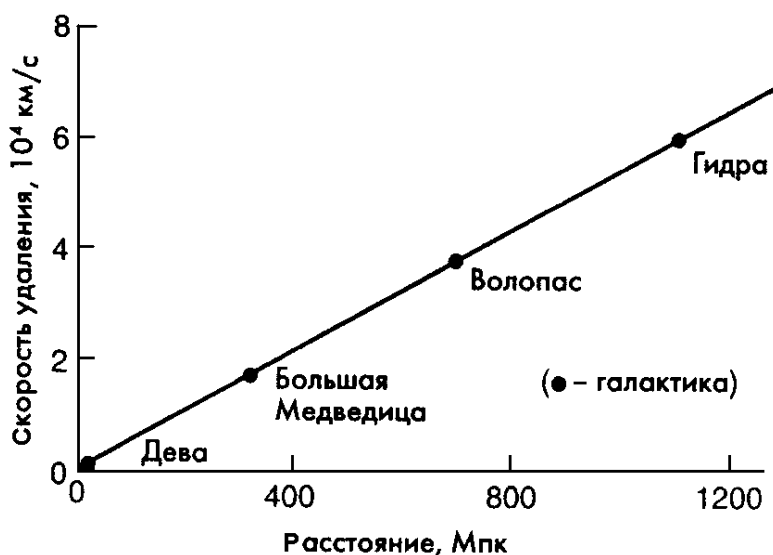


Рис. 10.2. Закон Хаббла: линейная зависимость скорости удаления галактик от расстояния до них

Такое расстояние в этой модели получило название «горизонта событий», через который невозможен ни вещественный, ни энергетический обмен с «окружающей средой», поскольку во Вселенной не может существовать скорость переноса вещества и энергии выше, чем

скорость света в вакууме [27; 33; 36]. С этой точки зрения, в рамках диссипативной модели реальности, замкнутая Вселенная – типичная изолированная система, в которой неизбежно достижение состояния равновесия.

В последние десятилетия в космологии утвердился более развитый вариант замкнутой Вселенной – ее инфляционная модель с λ -членом и холодным темным веществом (Inflationary Lambda Cold Dark Matter model – λ CDM), наиболее полно предсказывающая существование и высокую однородность реликтового излучения и объясняющая, как и почему возникли многие другие свойства Вселенной [16; 41].

10.2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ЭНТРОПИИ. ФОРМУЛА Л. БОЛЬЦМАНА. ПОНЯТИЕ ОБ ИНФОРМАЦИИ.

Чтобы понять статистическую, вероятностную природу самопроизвольного возрастания энтропии, воспользуемся атомарной моделью вещества. Для этого проведем мысленный эксперимент. Возьмем, например, сосуд (рис. 10.3) с невесомой перегородкой А, с одной стороны которой находится большое число частиц (приблизительно один моль) идеального газа при некоторой ненулевой температуре T , с другой – вакуум, что соответствует состоянию с минимальной энтропией S_1 (рис. 10.3, а). Если перегородка невесомая, то при ее перемещении работа не совершается, а значит, ее удаление не повлияет на энергетическое состояние нашего сосуда. Здравый смысл и жизненный опыт подсказывают, что при отсутствии перегородки все частицы распределяться равномерно по всему объему, реализуя состояние с максимальной энтропией S_2 , т. е. $S_2 > S_1$ (см. рис. 10.3, а). При этом изменение энтропии будет положительным:

$$\Delta S = S_2 - S_1 > 0,$$

где S_1 – начальный уровень энтропии, S_2 – ее конечное значение.

Очевидно, что переход от состояния с S_1 к состоянию с S_2 необратим – при неизменной температуре и при отсутствии какого-либо внешнего воздействия (т. е. самопроизвольно) распределенные равномерно частицы *никогда* не соберутся обратно в одной части сосуда так, чтобы в другой части вновь возник вакуум.

Аналогичный необратимый процесс будет происходить при смешении частиц разного сорта (рис. 10.3, б), изображенных на рисунке темными и светлыми точками.

В обоих случаях можно считать самой общей причиной протекающих процессов стремление системы к наиболее вероятному состоянию – состоянию равновесия с максимальной энтропией.

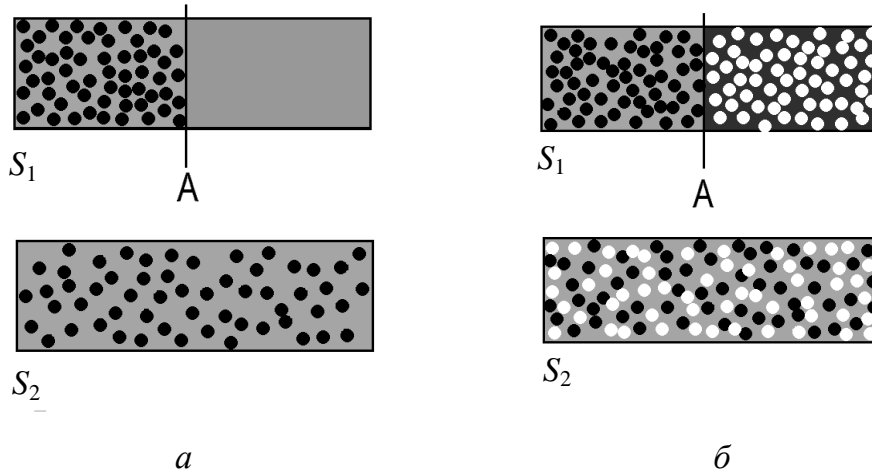


Рис. 10.3. Мысленный эксперимент, иллюстрирующий наиболее вероятное состояние идеального газа из частиц одного (*a*) и двух (*б*) сортов (S_1 и S_2 – энтропия начального и конечного состояний, соответственно; А – невесомая перегородка)

Статистическая интерпретация состояния равновесия как наиболее вероятного состояния системы позволила получить выражение, устанавливающее количественную связь энтропии S с термодинамической вероятностью и называемое формулой Л. Больцмана:

$$S = k_B \cdot \ln W, \quad (10.1)$$

где k_B – постоянная Л. Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; W – термодинамическая вероятность.

Термодинамическая вероятность W – это число микросостояний, с помощью которых можно реализовать данное макросостояние. Например, для сосуда, рассмотренного выше в мысленном эксперименте, число микросостояний будет числом вариантов такого распределения частиц, которое позволяет достичь вполне определенных значений макроскопических характеристик этого сосуда – давления P , температуры T и объема V . Фактически речь идет о числе допустимых перестановок частиц в гипотетическом сосуде, при которых не изменяются его макроскопические характеристики. Из этого следует, что термодинамическая вероятность W всегда больше единицы и для самого простого случая m одинаковых частиц численно равна факториалу от этого числа $m!$ Например, для числа 3 факториалом является последовательное произведение всех чисел ряда $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$, а для

числа 4 факториал рассчитывается как $4! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$, т. е. с ростом размера числа его факториал быстро возрастает, достигая гигантских значений для числа частиц одного моля вещества, равного числу Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$. Поэтому в уравнении (10.1) берется логарифм от величины термодинамической вероятности.

Состояния, характеризующиеся высоким уровнем упорядочения (биологические объекты, литературные тексты, различные информационные системы и т. п.), удобно количественно характеризовать уровнем «порядка». Количественной характеристикой порядка, по предложению К. Шеннона [47], является *информация*, которую обозначают буквой H . Эта величина, как и энтропия, имеет статистическую природу и рассчитывается по формуле Шеннона

$$H = K \cdot \ln P, \quad (10.2)$$

где H – количество информации; K – коэффициент пропорциональности; P – математическая вероятность.

Поскольку математическая вероятность P – это отношение числа реализуемых вариантов n к общему числу возможных вариантов N :

$$P = n/N, \quad (10.3)$$

и всегда меньше единицы, можно показать, что информация H с точностью до константы K' противоположна энтропии S :

$$H = -K' \cdot S. \quad (10.4)$$

Таким образом, понижение энтропии в системе сопровождается ростом порядка и возрастанием в ней информации H .

10.3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ СОСТОЯНИЯ. ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Абстрактным объектом в термодинамике, как и во всей выросшей из нее диссипативной модели реальности, является *термодинамическая система*, или просто *система*. До настоящего времени универсального определения этого абстрактного объекта, удовлетворяющего всем его разнообразным применениям в различных теориях, относящихся к разным областям знания, по-видимому, не существует. Поэтому мы воспользуемся тем определением, которое сложилось в термодинамике и вполне себя оправдало.

Будем исходить из того, что *система* – это абстрактный объект теории, представляющий собой особую *целостность* – совокупность

взаимосвязанных составляющих, выделенных из окружающей среды и обладающих *устойчивостью* – способностью существовать как целое некоторое время. В этом определении выделены основные качества (атрибуты) системы: *целостность* – как единство сложной внутренней структуры и *устойчивость* – как способность сохранять эту целостность под влиянием внешних воздействий и внутренних изменений. Абстрактные объекты консервативной модели реальности – материальные точки – такими качествами не обладают. Поэтому уместно задать вопрос – почему гениальный И. Ньютон не использовал *систему* как абстрактный объект в механике и почему ее использование стало возможно в термодинамике? Причина этого состоит в категорическом требовании внутренней непротиворечивости теории. Логическими основаниями механики и выросшей из нее консервативной модели реальности являются законы сохранения и фундаментальный принцип сохранения соответственно. Эти положения не содержат очевидных утверждений о закономерностях, относящихся к внутренним процессам, протекающим в абстрактном объекте. Поэтому абстрактным объектом механики может быть только материальная точка, не имеющая внутренних измерений.

Второй закон термодинамики постулирует для систем любой природы самопроизвольное протекание процессов, которые сопровождаются возрастанием энтропии и стремлением к достижению особых состояний с максимальной устойчивостью – состояний равновесия. Только принцип возрастания энтропии открыл путь для широкого, разнообразного и непротиворечивого применения в современной науке такого абстрактного объекта, как система.

Существуют различные классификации систем в зависимости от того, что выбрано в качестве критерия, т. е. от цели классификации. В науке все классификации представляют ценность только для того, чтобы решить вполне конкретную задачу, поскольку процедуре классификации предшествует процедура анализа, которая составляет важную часть научного или рационального освоения реальности.

По своим внутренним характеристикам и по природе ограничений могут быть выделены *локализованные (пространственно определенные)* и *распределенные* системы. Локализованными являются системы, у которых имеются внутренние, определяемые природой самого объекта, пространственные ограничения, или ограничения на размер. Такие ограничения характерны, например, для всех живых организмов. *Распределенные системы* таких пространственных ограничений не имеют. Наиболее яркой иллюстрацией распределенных при-

родных объектов является семья. Искусственными, созданными людьми распределенными объектами являются различные информационные системы, например, Интернет [42].

В 60-х годах XX века в работах шведского математика – кибернетика Ларса Лёфгрена было показано [1], что пространственные ограничения для систем любой природы неминуемо порождают ограничения и по времени. Это означает, что все локализованные системы, будучи ограниченными по пространству, ограничены и по времени. Иными словами, все пространственно ограниченные объекты смертны. Кроме того, Л. Лёфгрэн показал, что распределённые системы, не имея пространственных ограничений, не ограничены и по времени, т. е. они могут существовать вечно. Эти поражающие воображение выводы в полной мере относятся к таким типично распределенным системам, как семья и человечество. Эти природные явления не имеют внутренних ограничений ни по пространству, ни по времени. А часто случающиеся распады человеческих семей являются следствием неустойчивого (т. е. аморального) поведения ее членов. Такой вывод справедлив и в отношении человечества, которое можно рассматривать как большую семью Адама и Евы!

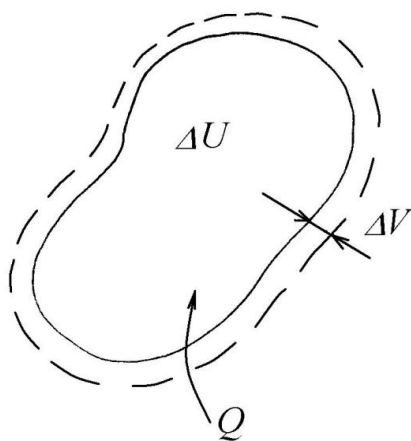


Рис. 10.4. Иллюстрация первого закона термодинамики

Исторически первыми системами в науке были абстрактные объекты термодинамики – *термодинамические системы – целостности*, образованные взаимодействующими составляющими, которые с помощью *границной поверхности* выделяются из *окружающей среды* (рис. 10.4). Из этого определения становится ясно, что термодинамические системы являются типичными *локализованными системами*.

Термодинамика формировалась как феноменологическая наука, т. е. такая область знания, где основу научной методологии составил *феноменологический подход*, в котором изначально при изучении объекта не делается никаких предположений относительно его строения и внутренней структуры. Закономерности функционирования объекта устанавливаются как результат анализа его реакции на изменения окружающей среды – при исследовании

изменения характеристик его состояния под влиянием внешнего воздействия. Особенность феноменологического подхода – изначальное отсутствие каких-либо предположений о внутренней структуре объекта, с одной стороны, позволяет получать закономерности высокого уровня общности, с другой – открывает широкие возможности для аналогий. Выводы, полученные в рамках феноменологического подхода, являются фундаментальными и могут быть перенесены на широкий круг явлений. Поэтому такой подход при изучении термодинамических систем, образовав системную методологию, оказался весьма продуктивным при исследовании объектов другой природы в других областях знания.

Успешно феноменологический подход использовал при изучении закономерностей высшей нервной деятельности и физиологии процессов в коре головного мозга гениальный русский физиолог И. П. Павлов, лауреат Нобелевской премии (1904), с 1907 года академик Императорской академии наук России.

Сложившийся в термодинамике феноменологический подход получил свое развитие в кибернетике как метод «черного ящика» [1; 4].

Для количественного описания состояния различных объектов с системных позиций в разных областях знания традиционно выбирали разные характеристики их состояния, но все они разделялись, как это было показано для материальной точки в п. 4.1, на *параметры состояний* и *функции состояния*, связанные воедино причинно-следственными закономерностями – уравнениями состояния, аналогичными уравнению (4.1).

Прежде чем начать обсуждение и выбор характеристик состояния такого абстрактного объекта как *система*, отметим, что среди всех физических характеристик, используемых в науке, следует выделять *интенсивные* и *экстенсивные* величины. Значения интенсивных величин (например, давление P и температура T) не зависят от размеров объекта. *Экстенсивные величины* (например, объем V) зависят от размеров объекта. Они обладают свойством *аддитивности* – суммируются при сложении составляющих объекта. Однако часто более удобно, особенно при сопоставлении объектов разных размеров, использовать интенсивные величины, например плотность вещества или производительности труда. Для перевода экстенсивной характеристики объекта в интенсивную необходимо первую разделить на величину размера объекта, т. е. сделать ее *удельной* по размеру.

Напомним, что состоянием абстрактного объекта, еще со времен И. Ньютона, называется вполне конкретный набор количественных

характеристик объекта, однозначно его определяющих. Из всего возможного разнообразия систем разной природы мы сосредоточимся на термодинамической системе. Для количественного описания ее состояния, как и в случае с *материальной точкой* (см. п. 4.1) выделяют набор *параметров состояния* и *функции состояния системы*. Однако в отличие от материальной точки в механике, все состояния которой равноправны и различаются лишь количественно, в термодинамической системе имеется одно избранное *состояние равновесия*, к которому, в соответствии с принципом возрастания энтропии, эволюционируют все остальные состояния системы. Кроме того, состояние равновесия имеет строгий критерий – в изолированной системе ему соответствует состояние с максимальной энтропией (см. рис. 10.1). Поэтому состояние равновесия количественно охарактеризовать оказалось проще, и исторически первой стала складываться *равновесная термодинамика*, или *термодинамика равновесных процессов*, которая описывает взаимные переходы термодинамической системы из одного состояния равновесия в другое.

Параметры состояния термодинамической системы имеют одинаковый физический смысл для всех ее состояний, а также как для системы, так и для окружающей среды. К ним относятся давление P , температура T , объем V , а для многокомпонентных систем – еще и концентрация x , а их различия или изменения играют в термодинамике роль причин, например, градиент температуры \overrightarrow{gradT} в уравнении Фурье (9.1).

Принято разделять *внешние* и *внутренние* параметры физико-химической системы. *Внешние параметры* относятся к характеристикам окружающей среды и их изменения выступают в роли внешних воздействий на систему. *Внутренние параметры* относятся к собственным характеристикам системы, и их изменение характеризует устойчивость достигнутого системой состояния равновесия.

Для частного случая термодинамической системы – однородной физико-химической системы, состояние равновесия может быть определено как одинаковость значений всех параметров состояния во всей системе (глобальное равновесие). При этом можно выделить частные случаи *термического* или *концентрационного равновесий*, когда во всех частях системы одинаковы температура T или концентрация x .

Уравнение состояния системы устанавливает аналитическую связь между параметрами состояния. Пример такого уравнения –

уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева–Клапейрона), которое для одного моля имеет вид: $PV = RT$, где P , T , V – параметры состояния идеального газа; R – универсальная газовая постоянная.

Функции состояния системы – такие ее обобщённые характеристики, которые количественно определяют уровень форм перманентной и неперманентной сущностей – всех форм энергии и энтропии. Функции состояния не зависят от предыстории системы, играют роль следствий и не зависят от пути перехода ее из одного состояния в другое, а определяются как разница между значениями этих величин в конечном и начальном состояниях системы. Если все функции состояния обозначить буквой Φ , то тогда их изменения будут определяться формулой

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1, \quad (10.5)$$

где Φ_2 и Φ_1 – значения функции состояния в конечном и начальном состояниях соответственно. Эта способность не зависеть от пути процесса может быть реализована только для переходов из одного состояния равновесия в другое и только посредством «равновесного» процесса. Словосочетание *равновесный процесс* внутренне противоречиво: если достигнуто равновесие, то наблюдается однородность параметров, а значит, их градиенты равны нулю и никакой процесс в этих условиях невозможен. Если процесс имеет место, то отсутствует состояние равновесия, т. е. равновесие и процесс логически несовместимы! Однако если допустить, что в системе процесс протекает так медленно, что всякий раз равновесие успевает установиться во всей системе, то такой процесс можно считать равновесным.

С математической точки зрения, функции состояния равновесия являются полными дифференциалами. Если, например, функция состояния Φ зависит от давления P и температуры T , т. е. $\Phi = f(P, T)$, то ее полный дифференциал является суммой частных производных по каждой переменной:

$$d\Phi = \left(\frac{\partial\Phi}{\partial P}\right)_T dP + \left(\frac{\partial\Phi}{\partial T}\right)_P dT, \quad (10.6)$$

В термодинамике выделяют пять функций состояния: U – внутренняя энергия, H – энтальпия, S – энтропия, G – энергия Гиббса и F – энергия Гельмгольца, изменения которых позволяют описать все равновесные процессы.

Принцип сохранения в термодинамике формулируется как первый закон термодинамики – закон сохранения полной энергии неизолированной термодинамической системы: *теплота Q , подводимая к термодинамической системе* (см. рис. 10.4), *расходуется на изменение внутренней энергии системы ΔU и совершение работы A :*

$$Q = \Delta U + A, \quad (10.7)$$

а для бесконечно малых изменений:

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (10.7, a)$$

Теплота Q и работа A – это различные формы энергии, они зависят от пути перехода из одного состояния в другое, следовательно, функциями состояния и полными дифференциалами не являются, а их бесконечно малые величины изображаются как δQ и δA .

Функция состояния – *внутренняя энергия U* – являясь формой перманентной сущности и экстенсивной величиной, представляет собой совокупность всех видов энергии, сосредоточенных в системе.

Например, для физико-химической системы – это сумма всех видов кинетической и потенциальной энергии составляющих ее молекул; сумма всех видов кинетической и потенциальной энергии атомов этих молекул; сумма всех видов кинетической и потенциальной энергии электронов и ядер всех составляющих атомов; суммарная внутриядерная энергия и т. д. Очевидно, что величина этой энергии гигантская и абсолютного значения ее мы не знаем. Поэтому в термодинамике используют не абсолютное значение внутренней энергии U , а ее изменение в результате протекания термодинамических процессов: $\Delta U = U_2 - U_1$, где U_2 и U_1 – величины внутренней энергии в конечном и начальном состояниях соответственно.

Совершаемая системой работа A может быть весьма разнообразной, однако в химической термодинамике, исследующей поведение физико-химических систем, ограничиваются только работой расширения $A_{\text{расш}}$. Из механики известно, что величина работы определяется как произведение силы \vec{F} на длину l . Тогда выражение для работы расширения можно получить, одновременно разделив и умножив силу \vec{F} и длину l на площадь s соответственно:

$$A_{\text{расш}} = \vec{F} \cdot s \cdot l/s = p \cdot \Delta V. \quad (10.8)$$

В изохорных условиях, т. е. при $V = \text{const}$, $\Delta V = 0$, $A_{\text{расш}} = 0$, а уравнение первого закона термодинамики запишется так:

$$Q = \Delta U, \quad (10.9)$$

т. е. вся подводимая в этих условиях теплота Q идет на повышение внутренней энергии системы ΔU .

В изобарных условиях при $P = \text{const}$

$$Q = \Delta U + A_{\text{расш}} = \Delta U + p \cdot \Delta V,$$

или, после преобразования, раскрытия скобок и группировки членов с одинаковыми индексами, получим

$$\begin{aligned} Q &= (U_2 - U_1) + p \cdot \Delta V = (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) = \\ &= (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1). \end{aligned}$$

Стоящие в скобках величины можно рассматривать как новую функцию состояния *энтальпию* H . По аналогии с выражением (10.9) для изобарных условий уравнение первого закона термодинамики запишется так:

$$Q = \Delta H. \quad (10.10)$$

Это означает, что в изобарных условиях вся подводимая к термодинамической системе теплота расходуется на изменение ее энтальпии. Не будет большой ошибкой заявить, что энтальпия H – это внутренняя энергия расширяющейся системы.

По характеру отношений системы с окружающей средой, т. е. в зависимости от природы граничной поверхности, принято выделять *изолированные, закрытые, адиабатические* и *открытые* системы (рис. 10.5).

Изолированные системы (случай 1 на рис. 10.5) не обмениваются с окружающей средой ни веществом, ни энергией, следовательно, равны нулю величины суммарных потоков вещества ($\vec{I}_m = 0$) и энергии ($\vec{I}_Q = \vec{0} = 0$), а также $Q = 0$, $A = 0$ и $\Delta U = 0$. Очевидно, что в природе таких объектов не существует, однако такая идеализация удобна для анализа процессов, самопроизвольно протекающих в системе.

Закрытые системы (случай 2 на рис. 10.5) не обмениваются веществом ($\vec{I}_m = 0$), но могут обмениваться энергией с окружающей средой. Первый закон термодинамики (10.7) сформулирован именно для таких систем. Можно выделить большой круг реальных объектов, удовлетворяющих этим условиям, например консервы и т. п.

Термодинамические системы, не обменивающиеся теплотой ($\vec{I}_Q = \vec{0} = 0$) с окружающей средой, называются *адиабатическими*

(адиабатными) системами (случай 3 на рис. 10.5). В таких системах $Q = 0$, а $\Delta U = -A$, т. е. работа производится за счет уменьшения внутренней энергии. Адиабатические системы используются для описания быстро протекающих процессов, например, при взрыве, когда теплообменом можно пренебречь.

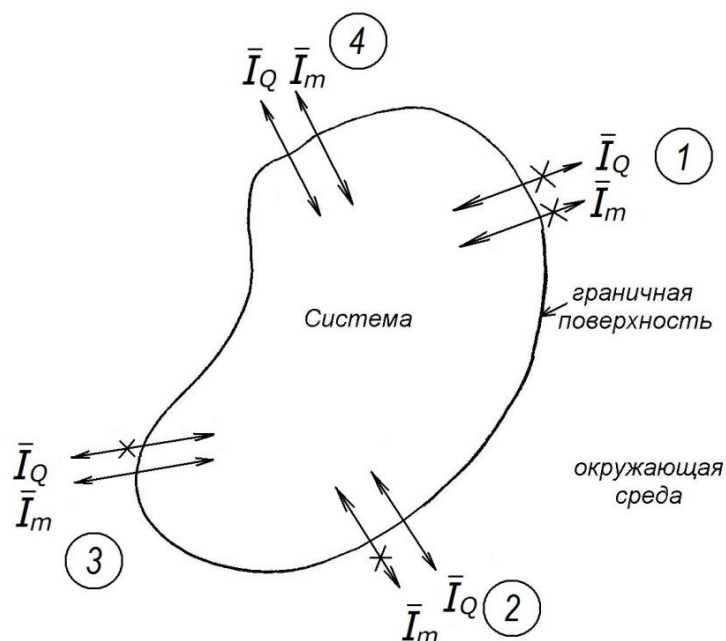


Рис. 10.5. Классификация термодинамических систем
1 – изолированные, 2 – закрытые, 3 – адиабатические, 4 – открытые

Открытые системы (случай 4 на рис. 10.5) способны обмениваться с окружающей средой и веществом ($\bar{I}_m \neq 0$) и энергией ($\bar{I}_Q \neq 0 \neq 0$). Это наиболее распространенный в реальности случай, но весьма сложный для строгого количественного описания.

10.4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ. СОСТОЯНИЯ СТАБИЛЬНОГО И МЕТАСТАБИЛЬНОГО РАВНОВЕСИЙ. ЛАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ

Единственным и однозначным критерием состояния равновесия в изолированной системе, как следует из второго закона термодинамики в формулировке Р. Клаузиуса, является максимальное значение энтропии: $dS/dx = 0$, $d^2S/dx^2 < 0$ (см. рис. 10.1).

Этого критерия для определения состояния равновесия в неизолированных системах недостаточно, так как возможность обмена энергией с окружающей средой будет сопровождаться изменением

внутренней энергии U (при $V = \text{const}$) или энтальпии H (при $P = \text{const}$), как это следует из уравнений (10.9) и (10.10). Новый критерий состояний равновесия для неизолированных систем должен учитывать не только изменение энтропии, но и внутренней энергии U и энтальпии H . Он был получен в результате объединения первого и второго законов термодинамики. Если исходить из того, что процесс возрастания энтропии S , в зависимости от условий, происходит за счет убыли внутренней энергии U или энтальпии H в полном соответствии с законом сохранения энергии, то

$$U = F + TS, \text{ при } V = \text{const}, \quad (10.11)$$

$$H = G + TS, \text{ при } P = \text{const}. \quad (10.12)$$

Та часть внутренней энергии (энергия Гельмгольца F) и энтальпии (энергия Гиббса G), которая еще не успела рассеяться и осталась свободной энергией, т. е. той энергией, за счет которой система еще может совершать работу, в соответствии с уравнениями Гиббса–Гельмгольца

$$F = U - TS, \text{ при } V = \text{const}, \quad (10.13)$$

$$G = H - TS, \text{ при } P = \text{const}, \quad (10.14)$$

определяется и внутренней энергией (или энтальпией), и величиной энтропии. Как следует из уравнений (10.13) и (10.14), критерием состояния равновесия будет минимумы энергии Гиббса G или энергии Гельмгольца F (рис. 10.6)

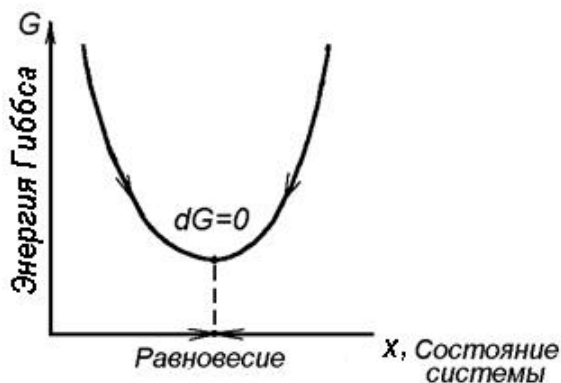


Рис. 10.6. Условие состояния равновесия для неизолированной системы, находящейся в изобарных условиях

Энергия Гиббса G и энергия Гельмгольца F являются новыми функциями состояния термодинамической системы и представляют собой ту часть энергии системы, за счет которой система способна совершать работу, в том числе по обеспечению устойчивости состояния равновесия. Однако в отличие от изолированной системы, в не-

изолированных системах, как показал Дж. В. Гиббс, условию минимума свободной энергии может отвечать большое число состояний, и все они будут состояниями равновесия. Наиболее наглядно это можно проследить на энергетическом профиле термодинамической системы (рис. 10.7), где условию минимума энергии Гиббса ($dG/dX = 0$, $d^2G/(dX)^2 > 0$) соответствуют два состояния.

Состояние (1), которое отвечает наименьшему значению энергии Гиббса, называется *стабильным равновесием* – оно будет реализовываться при любых конечных вариациях параметра состояния X . Другое состояние (2) называется *метастабильным равновесием* и будет реализовываться только при бесконечно малых вариациях параметра состояния X . Каждое из состояний равновесия будет обладать некоторой устойчивостью, наглядной иллюстрацией которой может быть ее механический аналог – скатывающийся по этой кривой шарик (см. рис. 10.7). Очевидно, что состояние метастабильного равновесия, по сравнению со стабильным, относительно устойчиво. Поэтому такие состояния называют состояниями локального равновесия. В реальных физико-химических системах довольно часто реализуются метастабильные равновесия, играющие важную роль в материаловедении и химической технологии [14].

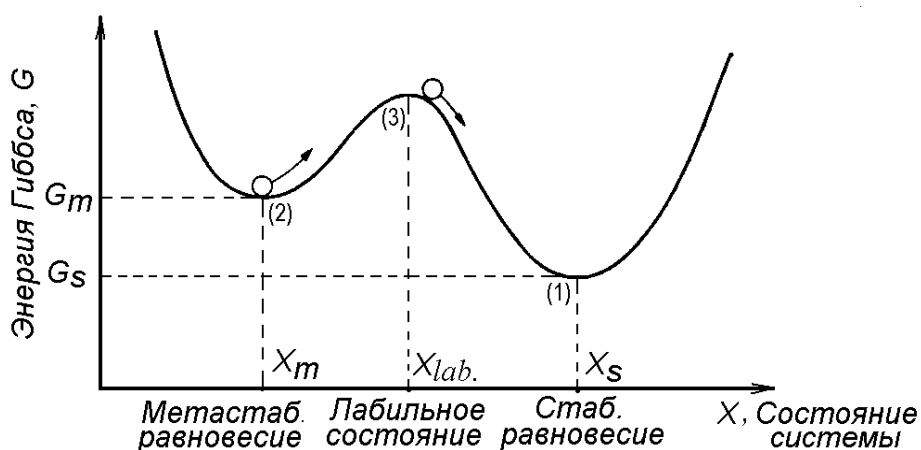


Рис. 10.7. Энергетический профиль состояний термодинамической системы общего вида в изобарных условиях

Из указанной механической аналогии видно, что состояние (3) неустойчиво – достаточно ничтожного внешнего воздействия на шарик, чтобы он покинул это состояние. Такие состояния в термодинамической системе называются *лабильными*. Лабильные состояния характеризуются максимальными величинами свободной энергии

$(dG/dX = 0, d^2G/(dX)^2 < 0)$, высоким уровнем упорядоченности и минимальной энтропией, поэтому являются крайне неустойчивыми и подвижными состояниями в системах любой природы.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия параметра состояния и функции состояния.
2. Дайте определение понятия энтропии?
3. По каким критериям определяют состояние равновесия в термодинамической системе?

11. УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ В ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ

Устойчивость, как было показано в п. 1.2, является атрибутом реальности, поэтому абстрактные объекты, используемые в любой из существующих теорий или моделей реальности, также должны обладать этим качеством – устойчивостью. В равновесной термодинамике это качество проявляется как устойчивость состояния равновесия термодинамической системы.

11.1. УСТОЙЧИВОСТЬ РЕАЛЬНОСТИ И ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ. УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ. ПРИНЦИП ЛЕ ШАТЕЛЬЕ

Рассмотрим устойчивость состояния фазового равновесия в стакане с водой, в котором вода находится одновременно в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом (лед) и газообразном (водяной пар) (рис. 11.1).

Из школьного курса физики известно, что при нормальных условиях температура в таком стакане будет близка к 0 °С. Удивительным в этой ситуации является то, что *до тех пор, пока в стакане будут сосуществовать все три агрегатных состояния, нулевая температура в нем будет сохраняться*, независимо от температуры окружающей среды! Очевидно, что тонкостенный химический стакан не будет существенным препятствием для потоков теплоты из стакана в

окружающую среду в случае более низкой ее температуры и наоборот. В данном случае устойчивость состояния фазового равновесия проявляется как неизменность внутренних параметров состояния. У теплокровных живых существ такое свойство организма является привычным, способность же примитивного стакана с водой сохранять неизменной свою внутреннюю температуру кажется мистической. Хотя никакой мистики здесь нет!

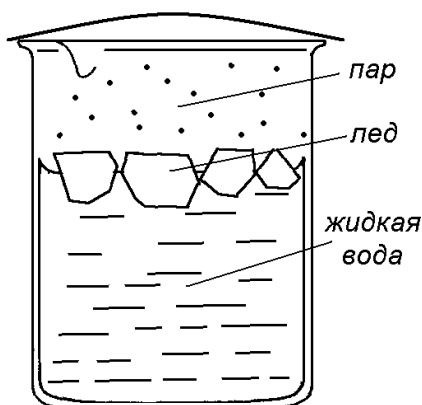
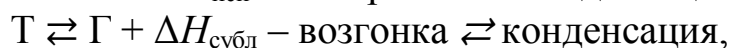


Рис. 11.1. Простейшая модель состояния гетерогенного фазового равновесия в стакане с водой

В стакане с водой, в котором сосуществуют три агрегатных состояния воды – твердое (т), жидкое (ж) и газообразное (г), реализуются три фазовых равновесия:



где $\Delta H_{\text{пл}}$, $\Delta H_{\text{исп}}$, $\Delta H_{\text{субл}}$ – тепловые эффекты плавления, испарения и возгонки соответственно.

При нарушении состояния равновесия, например, при поступлении в стакан теплоты извне, равновесие всех указанных выше реакций смещается вправо – начинают протекать эндотермические процессы плавления льда, испарения жидкой воды и возгонки льда, позволяющие полностью поглотить за счет эндотермических эффектов подведенную теплоту. Охлаждение стакана с водой вызывает смещение равновесия в противоположных направлениях с тем же неизменным результатом.

Подобного рода закономерность, относящаяся к состоянию равновесия, в 1888 году была обобщена французским физикохимиком, профессором Сорбонны Анри Луи Ле Шателье в принципе, носящем его имя.

Принцип Ле Шателье утверждает: *если на систему, находящуюся в состоянии равновесия, оказывается внешнее воздействие, выводящее ее из этого состояния, то в системе начинают протекать процессы, направленные на полную или частичную компенсацию внешнего воздействия.* Этот принцип указывает механизм обеспечения устойчивости состояний в системах любой природы, выполняется для всех состояний равновесия и распространяется не только на температуру, но и на другие параметры состояния – давление, объем и концентрацию. Для неравновесных состояний систем, например, для уже упоминавшихся стационарных состояний в живых организмах, выполняется более общий принцип – принцип гомеостаза.

11.2. ПРАВИЛО ФАЗ ГИББСА. КРИТЕРИЙ МАКСИМАЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Принцип Ле Шателье, указывая направление смещения состояния равновесия, не позволяет определить полноту компенсации системой внешнего воздействия. Ответ на этот вопрос для физико-химических систем дает правило фаз, сформулированное гениальным американским физикохимиком Джозайей Виллардом Гиббсом в 1876 году [8].

Правило фаз Гиббса гласит, что *число степеней свободы системы s равно числу компонентов k , минус число фаз ϕ , плюс число независимых внешних параметров n :*

$$s = k - \phi + n. \quad (11.1)$$

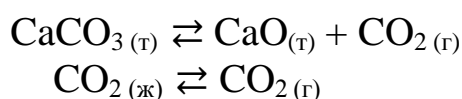
Основным показателем устойчивости состояния равновесия является *число степеней свободы s* – это число внутренних параметров системы, которые можно независимо друг от друга изменять, не изменяя состояния системы. В случае реализации в системе состояния равновесия, обладающего максимальной устойчивостью, т. е. способностью полностью компенсировать любое внешнее воздействие, ни один из параметров, характеризующих это состояние, изменяться не будет. В этом случае $s = 0$. Иными словами, наибольшей устойчивостью обладают такие состояния системы, у которых число степеней свободы s равно нулю.

Числом компонентов k называется наименьшее число составляющих системы, из которых можно составить любую часть системы.

Составляющей физико-химической системы будем называть любую часть системы, которая может быть выделена из системы и способна существовать отдельно от нее. В стакане (см. рис. 11.1) присутствует один компонент – вода. Однако для более сложных случаев имеется более строгое определение числа компонентов в системе. Оно определяется как разница между числом составляющих системы и числом уравнений, которые между ними могут быть составлены. Например, у системы, образованной находящимися в равновесии карбонатом кальция $\text{CaCO}_{3(\text{т})}$ и продуктами его распада оксидом кальция $\text{CaO}_{(\text{т})}$ и диоксидом углерода $\text{CO}_{2(\text{г})}$



три составляющих и одно уравнение их связи; значит, в системе число компонентов $\kappa = 2$ и этими компонентами, очевидно, являются $\text{CaO}_{(\text{т})}$ и $\text{CO}_{2(\text{г})}$. Однако если в физико-химической системе, образованной теми же тремя составляющими, будут созданы условия (понижится температура и возрастет давление), при которых диоксид углерода CO_2 будет находиться не только в газообразном, но и в жидком состоянии, система может быть представлена уже двумя уравнениями:



Тогда три составляющие системы связаны двумя уравнениями, и число компонентов системы $\kappa = 1$, и этим компонентом будет карбонат кальция CaCO_3 .

Рассмотрим процедуру подсчета числа фаз. *Фазой* называется *гомогенная* (однородная по физическим свойствам и химическому составу) *часть гетерогенной системы, отделенная от других частей поверхностью раздела*. В стакане с водой (см. рис. 11.1) присутствуют три фазы: жидкая вода, твердая (лед) и газообразная (водяной пар). В данном случае мы заменяем понятие агрегатного состояния более строгим понятием *фаза*.

Число независимых внешних параметров определяется как разница между числом изменяющихся параметров системы и числом уравнений состояния, эти параметры связывающие. Для стакана с водой из трех параметров состояния P , T , V и одного уравнения состояния любые два параметра из указанных будут независимыми, т. е. $\mathbf{n} = 2$.

Подсчет числа степеней свободы для физико-химической системы, образованной в этом стакане с водой, дает $\mathbf{c} = \kappa - \Phi + \mathbf{n} = 1 - 3 + 2 = 0$, что указывает на максимальную устойчивость реали-

зованного в стакане состояния равновесия. Исчезновение хотя бы одной из фаз, например льда, сразу понижает устойчивость этого состояния равновесия из-за невозможности протекания компенсационных процессов с участием этой фазы. Анализ выражения (11.1) показывает, что рост числа фаз Φ (повышение фазового разнообразия системы) увеличивает устойчивость состояния равновесия, в то время как увеличение числа компонентов k (рост компонентного разнообразия системы) уменьшает устойчивость состояния равновесия физико-химической системы.

Сделанные на основе правила фаз Гиббса обобщения для физико-химической системы можно распространить, хотя бы качественно, на системы другой природы. Так, аналогом фаз в биосфере являются биологические виды, поэтому сохранение максимального видового разнообразия биосферы является условием ее устойчивости [3]. Можно утверждать, что аналогом фаз у человечества являются этносы [10; 11], поэтому поддержание этнического разнообразия человечества также является условием его устойчивости. Можно показать, что одной из главных и, до настоящего времени, мало исследованной причиной распада Советского Союза явилась утрата его этнического разнообразия под влиянием псевдорелигиозной коммунистической идеологии, способствовавшей формированию в СССР новой исторической общности – советского народа [40].

11.3. ТРЕТИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ (ПРИНЦИП НЕДОСТИЖИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ АБСОЛЮТНОГО НУЛЯ)

Этот закон был сформулирован в 1905 году лауреатом Нобелевской премии по химии (1920), выдающимся немецким физикохимиком Вальтером Нернстом как тепловая теорема: *при температуре абсолютного нуля (0 К) энтропия физико-химической системы равна нулю: $S_{T \rightarrow 0} = 0$.*

Действительно, при понижении температуры исчезает тепловое движение молекул, а внутренняя энергия любого вещества при температуре абсолютного нуля распределена между частицами, входящими в нее, единственным образом: электроны в атомах находятся на самых низких энергетических уровнях, а атомы расположены в узлах кристаллической решетки твердого тела. Поэтому из формулы

Больцмана (10.1) следует, что термодинамическая вероятность $W = 1$, а энтропия

$$S_{T \rightarrow 0} = k_B \cdot \ln 1 = 0. \quad (11.5)$$

В 1912 году В. Нернст предложил другую формулировку третьего закона термодинамики – *принцип недостижимости* абсолютного нуля температуры: *невозможно конечным числом операций над системой достичь в ней температуры абсолютного нуля.*

Проиллюстрируем этот принцип с помощью графиков (рис. 11.2). Поскольку энтропия S с понижением температуры будет стремиться к нулю, энтальпия H будет стремиться к энергии Гиббса G , как это следует из уравнения (10.14).

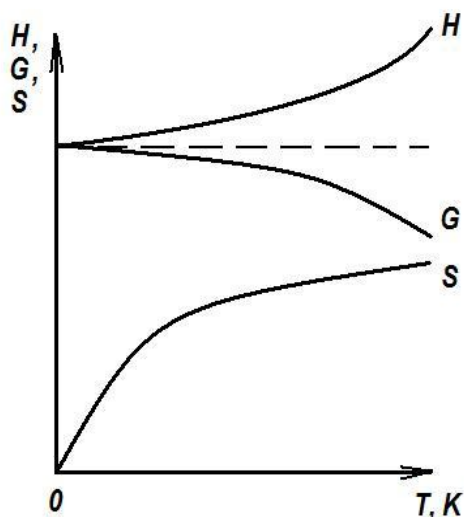


Рис. 11.2. Изменения энтальпии H , энергии Гиббса G и энтропии S термодинамической системы вблизи температуры абсолютного нуля

При $T = 0$ К, $S = 0$, а $H = G$. Но последнее равенство означает, что при этой температуре вся внутренняя энергия (энтальпия) системы становится свободной энергией (энергией Гиббса или энергией Гельмгольца) и можно записать для нашего случая тождество $H \equiv G$. Исходя из того, что величина внутренней энергии в физико-химической системе огромна, тождество указывает, что при достижении температуры абсолютного нуля в системе реализуется (см. рис. 10.7), абсолютно лабильное состояние, т. е. состояние абсолютной неустойчивости. В этом случае недостижимость какого-либо состояния системы связана с неустойчивостью системы в этом состоянии.

Таким образом, третий закон термодинамики устанавливает ограничение на уровень достижимой упорядоченности в термодинамической системе и в реальности в целом.

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте правило фаз Гиббса.
2. Что такое вариантность состояния и как она связана с его устойчивостью?
3. Почему невозможно достичь температуры абсолютного нуля?

12. ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ДИССИПАТИВНОЙ МОДЕЛИ. ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Фазовое пространство термодинамической системы образуется параметрами и функциями состояния этого абстрактного объекта термодинамики и диссипативной модели реальности. Особая роль в термодинамике состояния равновесия предопределила и геометрию фазового пространства состояния равновесия, и характер геометрических образов – фазовых диаграмм этого состояния в фазовом пространстве.

По определению, состояние равновесия характеризуется высокой однородностью своих параметров. Если определить симметрию как свойство объекта совпадать с самим собой в результате некоторых преобразований, то состояние равновесия характеризуется наивысшей симметрией: сколь угодно малое преобразование фазового пространства системы в состоянии равновесия будет приводить к полному совпадению объекта с самим собой. Несколько упрощая, можно сказать, что состояние равновесия характеризуется бесконечным набором элементов симметрии бесконечного порядка. Поэтому вид фазовых диаграмм состояния равновесия и некоторые закономерности их построения и использования рассмотрим для частного случая – фазового равновесия в физико-химической системе.

12.1. ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Фазовое равновесие является состоянием термодинамического равновесия в гетерогенной физико-химической системе, к которому самопроизвольно эволюционируют все другие состояния. Поэтому теоретической основой представлений о фазовых равновесиях является учение о термодинамическом равновесии в термодинамике равновесных процессов.

Изучение фазовых равновесий в физико-химических системах осуществляется с помощью *физико-химического анализа*. По определению его создателя, выдающегося российского ученого, академика Николая Семеновича Курнакова (1860–1941), физико-химический анализ – отдел общей и физической химии, цель которого состоит в поиске закономерностей в соотношениях между составом и свойствами равновесных систем, а результатом является построение графического образа этих закономерностей – фазовых диаграмм, или диаграмм «состав–свойство».

Методологические принципы физико-химического анализа – принцип соответствия и принцип непрерывности – сформулированы Н. С. Курнаковым [21].

Принцип соответствия. Согласно этому принципу, каждому комплексу сосуществующих фаз в физико-химической системе отвечает вполне определенный геометрический образ на диаграмме состояния.

Принцип непрерывности. Согласно этому принципу, при непрерывном изменении параметров, определяющих состояние системы, свойства отдельных фаз изменяются непрерывно. Так, при непрерывном изменении состава твердых или жидких растворов их свойства (например, удельная электропроводность, вязкость, температура плавления и др.) изменяются непрерывно.

В семидесятых годах XX века профессором Я. Г. Горощенко [9] был сформулирован третий принцип физико-химического анализа – **принцип совместимости**: *любой набор компонентов, независимо от их числа и физико-химических свойств, может составить физико-химическую систему*. Одним из следствий принципа совместимости является утверждение, что фазовые диаграммы как геометрические образы фазового пространства могут быть эффективным средством исследования закономерностей фазовых состояний в системах любой природы.

Для определения характера взаимодействия веществ в физико-химическом анализе проводятся исследования различных физических свойств, чувствительных к изменению состава системы. К таким свойствам относятся температура плавления, теплоемкость, теплоты образования, электропроводность, ЭДС; показатель преломления, спектры поглощения, плотность, коэффициент теплового расширения, твердость, вязкость, поверхностное натяжение, магнитная восприимчивость и т. п.

Физико-химический анализ позволяет установить наличие полиморфных превращений при исследовании однокомпонентных, двойных (бинарных) и более сложных физико-химических систем, природу образующихся фаз и области их существования в зависимости от температуры, состава и давления, а также проанализировать образование метастабильных фаз, устойчивых лишь в ограниченной области температур, давлений и соотношений компонентов.

12.1. ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Результатом физико-химического анализа является фазовая диаграмма состояния – графический образ всех достижимых состояний в физико-химической системе.

В зависимости от числа компонентов, фазовые диаграммы могут быть однокомпонентные, бинарные тройные и многокомпонентные. Для примера мы ограничимся рассмотрением геометрических образов только однокомпонентных систем.

В однокомпонентной системе условием равновесия между двумя фазами при постоянных давлении и температуре является равенство мольных энергий Гиббса в сосуществующих фазах:

$$dG'_m = dG''_m. \quad (12.1)$$

Трехмерное изображение фазовой диаграммы однокомпонентной системы в фазовом пространстве P - T - V будет выглядеть следующим образом (рис. 12.1).

Однако более наглядно состояния однокомпонентной системы можно представить ее проекциями P - T , T - V и P - V . В соответствии с принципом Ле Шателье и правилом фаз Гиббса, состояния с максимальной устойчивостью – невариантные состояния, демонстрирующие равновесие трех фаз, представляются на этих проекциях точками. Равновесие с одной степенью свободы изображается на фазовой диаграмме линией, а бивариантные равновесия представлены «полем» – двумерным изображением.

Так, на общей схеме проекции P - T диаграммы состояния однокамерной системы обозначены области однофазных (S , G , Lq), линии двухфазных и точки трехфазных равновесий (рис. 12.2).

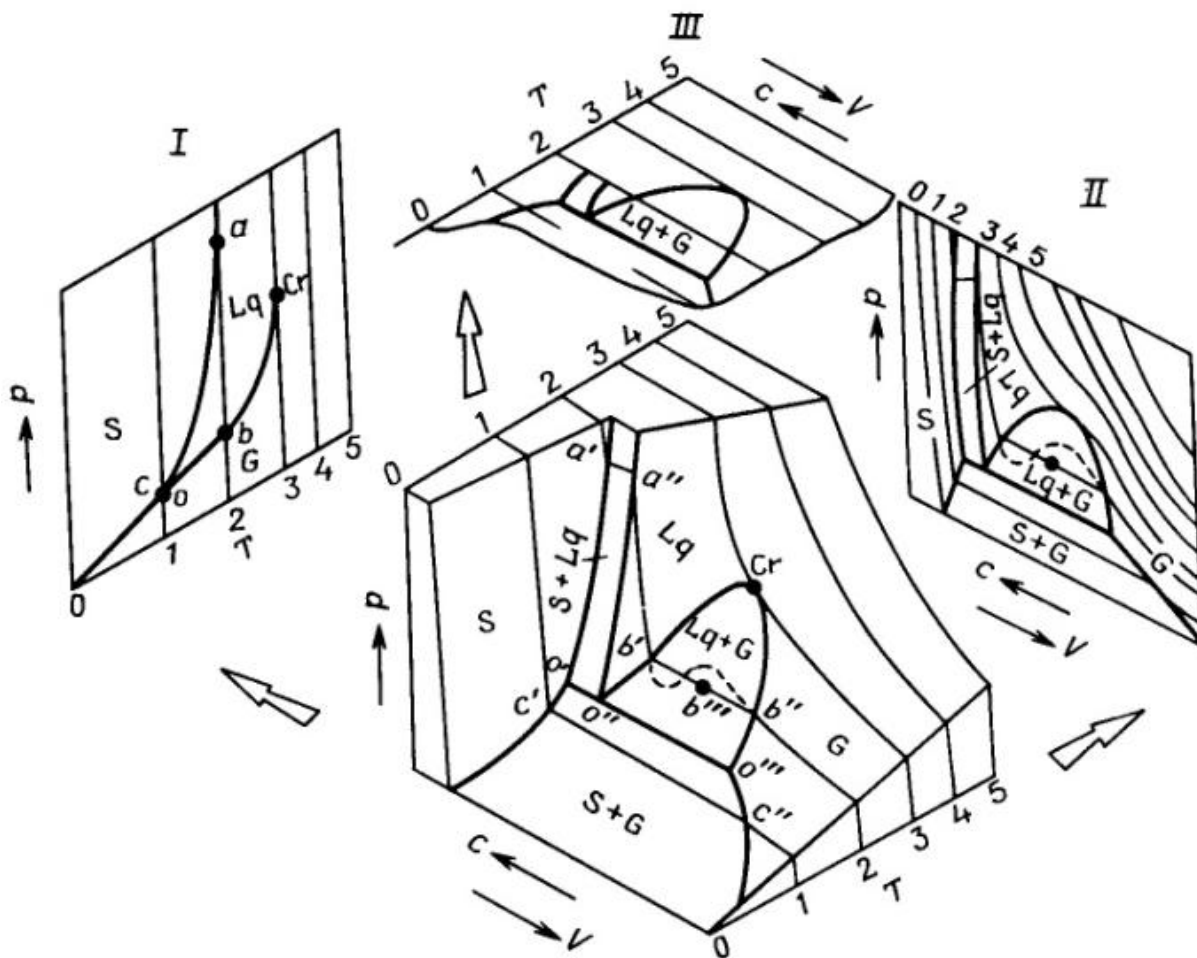


Рис. 12.1. Общий вид диаграммы P - T - V и ее проекций для однокомпонентной системы

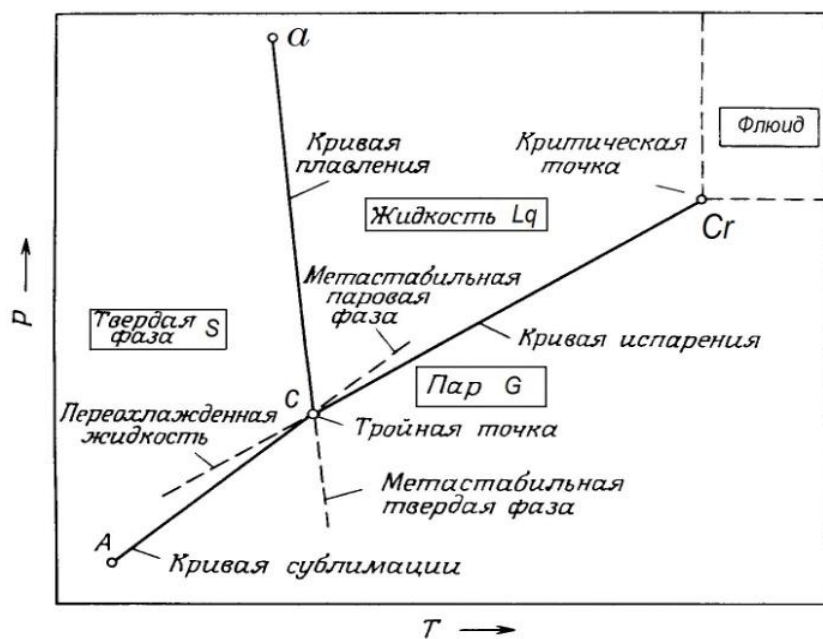


Рис. 12.2. Схема фазовых равновесий на фазовой диаграмме P - T однокомпонентной системы

Для иллюстрации представим проекцию P - T реальной фазовой диаграммы углерода, позволяющую определить параметры равновесия его полиморфных модификаций (рис 12.3).

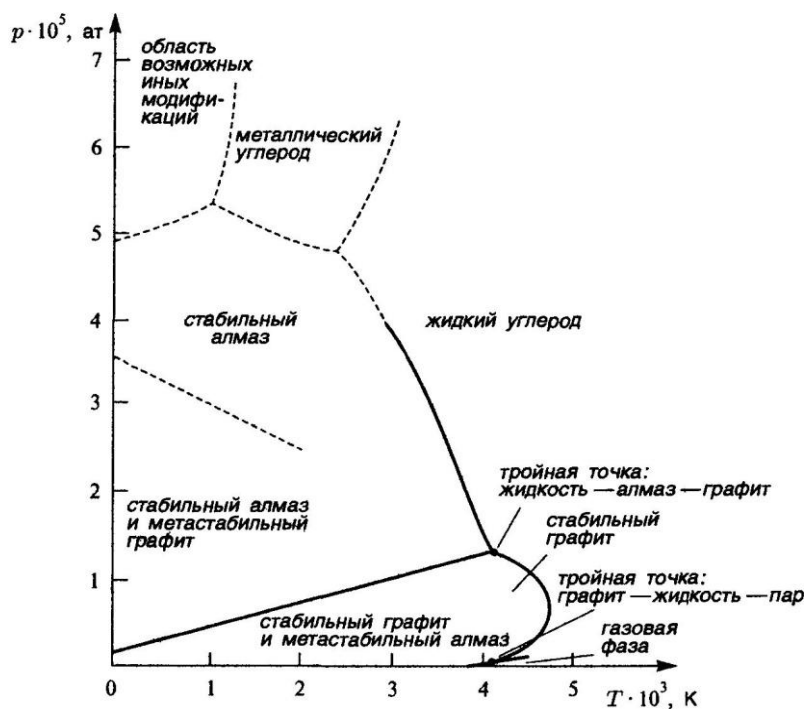


Рис. 12.3. Фазовая диаграмма P - T углерода

Фазовая диаграмма является той теоретической основой, без которой невозможно создание полноценной технологии получения вещества с наперед заданными свойствами.

Контрольные вопросы и задания

1. Определите, что представляет собой физико-химический анализ. Сформулируйте его цели и задачи.
2. Сформулируйте принцип непрерывности и поясните его смысл на примере.
3. Дайте определение принципа соответствия.
4. Какую роль в физико-химическом анализе играет принцип сочетаемости?
5. Запишите условия и возможные варианты фазовых равновесий для однокомпонентной системы (рис. 12.1).

13. ТЕРМОДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ

К середине XX века равновесная термодинамика заняла ведущее положение в физике как наиболее развитая теория, продемонстрировавшая свою эффективность в описании объектов разнообразной природы. Однако это описание было ограничено только состоянием равновесия, что существенно сужало круг возможных применений строго теоретического системного подхода. Широкий круг неравновесных явлений – климат, погода, солнечно-земные связи, все живые объекты и биосфера, человеческое общество в целом и многое другое – не мог быть представлен в рамках равновесной термодинамики.

13.1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА В НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ. ИНФОРМАЦИОННЫЙ СМЫСЛ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Еще в первой половине XX века была показана [28] антиэнтропийная роль управляющего внешнего воздействия (рис. 13.1).

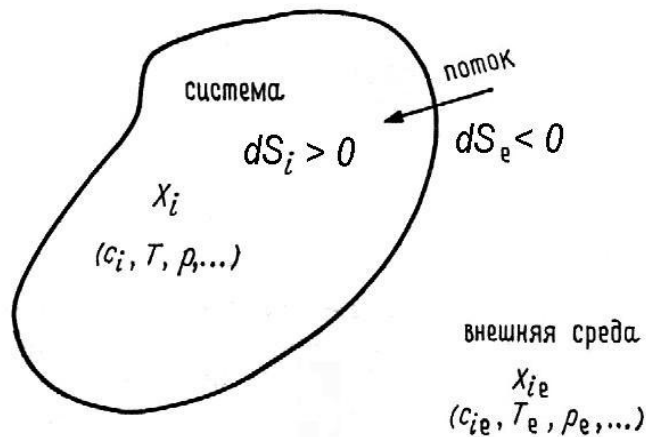


Рис. 13.1. Иллюстрация управляющего воздействия на систему внешнего потока энергии

Если на систему, находящуюся в неравновесных условиях, действует энергетический поток извне, то общее изменение энтропии dS_Σ можно представить как сумму двух составляющих с разными знаками:

$$dS_\Sigma = dS_i + dS_e, \quad (13.1)$$

где $dS_i > 0$ – изменение энтропии внутри системы в соответствии со вторым законом термодинамики; $dS_e < 0$ – уменьшение энтропии за счет управляющего внешнего воздействия.

Поскольку в зависимости от конкретных условий вклад dS_e в уравнение (13.1) по модулю может превышать dS_i , суммарное изменение энтропии в системе будет отрицательным, что открывает перспективы понимания и строго теоретического описания многих явлений неравновесной природы, например жизни. Непременным условием существования живого является требование $dS_\Sigma = 0$. Следовательно, у всех живых организмов должен существовать механизм полной и эффективной компенсации возрастающей энтропии. Конкретный вид механизмов, которые поддерживают жизнь, может быть различным, но в общем случае это должны быть антиэнтропийные механизмы. Жизнь отличается от *нежизни* тем, что в *живом* обязательно присутствуют процессы с $dS_e < 0$, которые полностью компенсируют естественное возрастание энтропии. Как только они прекращаются наблюдается прогрессирующая старость и наступает смерть. Такого рода механизмы удобно характеризовать не энтропией, а информацией и рассматривать как упорядочивающие информационные воздействия.

Однако ограничения в применении к таким явлениям термодинамики как системной теории были связаны прежде всего с тем, что весьма продуктивный аппарат функций состояния, сложившийся в классической термодинамике, мог быть использован для описания только состояния равновесия. Использование функций состояния для непротиворечивого описания неравновесных процессов в термодинамической системе стало возможным после введения в термодинамику представления о *локальном равновесии*. В рамках этого представления в неравновесной термодинамике принимают, что хотя в целом состояние системы неравновесно, в ней всегда можно выделить отдельные физически малые части, в которых термодинамические параметры от точки к точке изменяются так незначительно, что этими изменениями можно пренебречь. Принято считать такие квазиравновесные области системы *локально равновесными* и применять к ним весь теоретический аппарат равновесной термодинамики.

Согласно такому подходу, свойства неравновесной системы определяются *локальными термодинамическими функциями*, которые, в отличие от глобальных термодинамических функций, обозначаются не заглавными, а строчными буквами, относятся к единице массы или объема и зависят от локальной координаты \vec{r} и времени τ . Так, ло-

кальная энтропия s для единицы объема ρs зависит от термодинамических параметров $a_i(\vec{r}, \tau)$ и при необратимом процессе в адиабатической системе скорость ее возрастания (производство энтропии) определяется формулой

$$\sigma = \frac{d(\rho s)}{d\tau} = \sum_i \frac{\partial(\rho s)}{\partial \alpha_i} \cdot \frac{\partial \alpha_i}{\partial \tau}. \quad (13.2)$$

Анализируя выражение (13.2) и выделяя величину $\frac{\partial(\rho s)}{\partial \alpha_i} \equiv \vec{X}_i$ (термодинамическая сила) и величину $\frac{\partial \alpha_i}{\partial \tau} \equiv \vec{I}_i$ (термодинамический поток), получим

$$\sigma = \sum_i \vec{I}_i \cdot \vec{X}_i. \quad (13.3)$$

Необратимость термодинамического потока приводит к необратимости возрастания энтропии при изменении локальных макроскопических параметров.

13.2. СОСТОЯНИЯ «ВБЛИЗИ» И «ВДАЛИ» ОТ РАВНОВЕСИЯ. ЛИНЕЙНАЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от степени удаления термодинамической системы от состояния равновесия в ней будут наблюдаться различные явления и использоваться разные приближения для их описания. Неравновесные состояния «вблизи» и «вдали» от состояния равновесия были выделены И. Пригожиным. Для понимания различий в природе их описания рассмотрим увеличенный в масштабе фрагмент зависимости энергии Гиббса системы от положения ее по отношению к состоянию равновесия (рис. 13.2). «Вблизи» от состояния равновесия наблюдается близкая к линейной связь роста энергии Гиббса от величины удаления системы ΔX от состояния равновесия:

$$G = K \cdot |\Delta X|. \quad (13.4)$$

В этой области будет наблюдаться линейная связь причины и следствия и для описания неравновесных процессов может быть использована линейная неравновесная термодинамика. Это характерно для явлений переноса вещества и энергии, аналогичных закону теплопроводности Фурье (9.1), в котором поток теплоты \vec{I}_Q как следст-

вие, пропорционален, но направлен противоположно градиенту температуры $\overline{\text{grad}T}$ как причине:

$$\vec{I}_Q = -\kappa \cdot \overline{\text{grad}T}, \quad (13.5)$$

где κ – коэффициент теплопроводности.

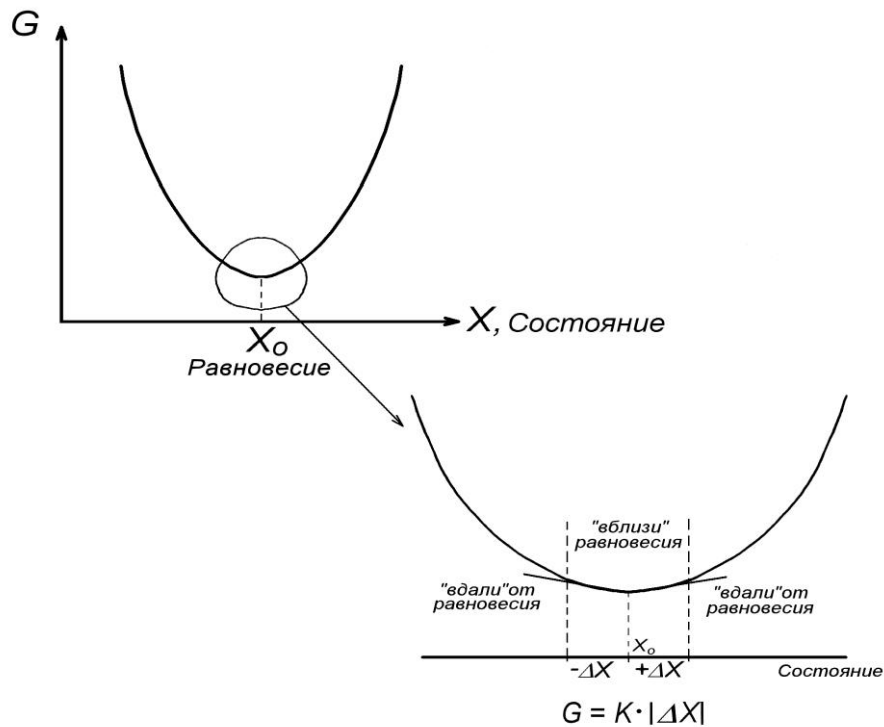


Рис. 13.2. Различия в описании неравновесных состояний «вблизи» и «вдали» от равновесия

«Вдали» от равновесия более стремительный, нелинейный рост энергии Гиббса можно связать с процессами упорядочения, которые начинают протекать в системе под управляющим влиянием внешнего воздействия. Наиболее убедительно это можно продемонстрировать на явлении самоорганизации и возникновении диссипативных структур. Эта область состояний термодинамической системы описывается нелинейной термодинамикой неравновесных процессов [28; 32].

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите, при каких условиях в термодинамической системе возможна убыль суммарной энтропии.
2. Поясните смысл идеи локального равновесия в неравновесной системе.
3. В чем особенность описания неравновесных состояний «вблизи» и «вдали» от равновесия?

14. ЯВЛЕНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ В НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ «ВДАЛИ» ОТ РАВНОВЕСИЯ. ПРИРОДА ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР

Все природные системы находятся на грани хаоса и порядка. Процесс перехода от хаоса к порядку, а значит, от менее сложного состояния к более сложному, называется самоорганизацией.

14.1. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ БЕНАРА И МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ УПОРЯДОЧЕННОСТЬ

Явление самоорганизации в неравновесной системе «вдали» от равновесия рассмотрим на примере гидродинамического эффекта Бенара. В 1900 году английский математик и гидродинамик Бенар опубликовал экспериментальные данные и математическое описание открытого им эффекта упорядочения конвективных потоков, который наблюдался в тонком, подогреваемом снизу слое жидкости при наличии вертикальной разности температур (рис. 14.1) [48].

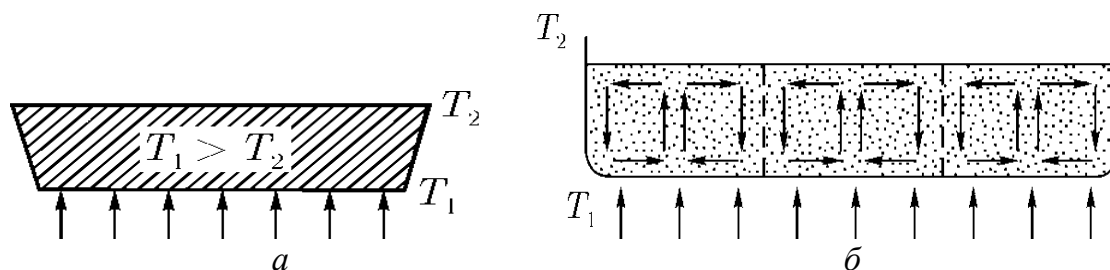


Рис. 14.1. Схема возникновения гидродинамического эффекта Бенара

Тепловая конвекция – перенос теплоты движущейся средой, например, потоками жидкости, знакома любому человеку, кто хоть однажды кипятил воду (рис. 14.2).

Обычно при достижении перегрева объема жидкости, по сравнению с его поверхностью достаточного для протекания процесса парообразования в объеме, начинается бурное кипение жидкости. Если же процесс нагревания тонкого слоя жидкости (рис. 14.1, а) организовать несколько иначе, например, взять не воду, а имеющее бóльшую теплопроводность минеральное масло и добавить в него для визуализации потоков и повышения теплопроводности небольшое количество металлической, например, алюминиевой пудры, а

процесс нагревания проводить достаточно медленно, монотонно повышая вертикальный градиент температуры (рис. 14.3) [37], то при достижении некоторой критической разности температур $\Delta T_{\text{крит}}$ жидкость во всем тонком слое разделится на ячейки с упорядоченным движением потоков (рис. 14.1, б).

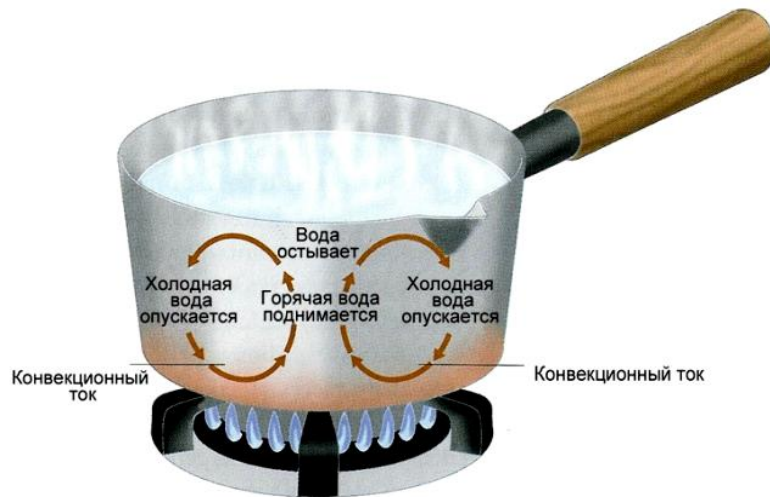


Рис. 14.2. Пример конвекции подогреваемой снизу жидкости



Рис. 14.3. Зависимость режима теплопереноса от степени отклонения от равновесия

В результате упорядочения гидродинамических потоков в объеме жидкости наблюдается макроскопическая упорядоченность, на поверхности жидкости образуются хорошо различимые шестигранники, в центре которых жидкость будет подниматься, а на периферии – опускаться внутрь (рис. 14.2, б и 14.4).

Это и аналогичные ему явления упорядочения потоков жидкости и газа в условиях сильного удаления системы от состояния равновесия получили названия *явления самоорганизации* системы под влиянием управляющего внешнего воздействия. Процесс самоорганизации завершается созданием в системе особой неравновесной упорядоченной структуры, которая называется *диссипативной структурой*. В отличие от равновесной структуры, она возникает за счет энергии внешнего воздействия и сопровождается понижением энтропии, в полном соответствии с уравнением (13.1).

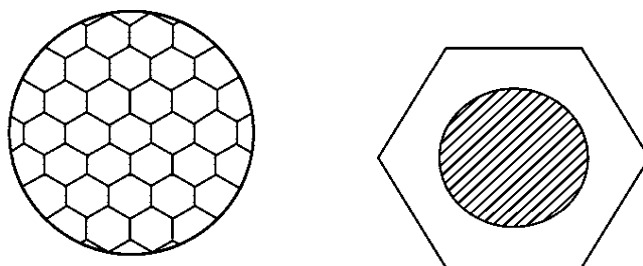


Рис. 14.4. Вид ячеек Бенара

Диссипативная структура обладает некоторой устойчивостью, которая определяется величиной гистерезиса (запаздывания) процесса переключения характера течения от упорядоченного к хаотическому при понижении ΔT .

14.2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ. РЕАКЦИЯ БЕЛОУСОВА. БРЮССЕЛЯТОР

Другой, более сложный в интерпретации вид диссипативных структур – колебательная химическая реакция – был открыт советским химиком Б. П. Белоусовым и тщательно изучен А. М. Жаботинским [13], поэтому во всем мире эта реакция называется реакцией Белоусова – Жаботинского.

Однородная смесь равных объемов сульфата церия $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$, бромата калия KBrO_3 , малоновой кислоты $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ и серной кислоты H_2SO_4 в качестве растворителя при наличии небольшого количества окислительно-восстановительного индикатора – ферроина, в неглубокой кювете при комнатной температуре $21\text{ }^\circ\text{C}$ давала спиральные структуры (рис. 14.5).

Эта же смесь, помещенная в пробирку при тех же условиях, демонстрировала пространственно-временные колебательные измене-

ния. Эту колебательную реакцию можно наблюдать благодаря ферроину, дающему красный цвет при избытке ионов Ce^{3+} или голубой – при избытке Ce^{4+} . В пробирке с течением времени наблюдается ритмичная смена голубого цвета на красный и наоборот с идеально регулярным периодом и амплитудой, поэтому такие колебания часто рассматривают как *химические часы*. Химические превращения, протекающие в реакции Белоусова–Жаботинского настолько сложны, что до настоящего времени не вполне понятны.



Рис. 14.5. Спиральные волны реакции Белоусова в плоской чашке

Теоретическая модель этой и подобных ей реакций была разработана в Брюсселе в исследовательской группе под руководством лауреата Нобелевской премии, выдающегося бельгийского физикохимика И. Р. Пригожина и получила название *брюсселятор* [27]. Не рассматривая деталей этой модели, заметим, что ее колебательный характер связан с протеканием в этой физико-химической системе не менее трех взаимосвязанных реакций, одна из которых является каталитической, что и приводит к нелинейному, пространственно-временному характеру всего процесса. В последние два десятилетия исследователями различных стран были открыты другие колебательные реакции, многие из которых протекают в биохимических системах [5; 32].

14.3. БИФУРКАЦИЯ И НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ

Обобщая с феноменологических позиций описанные выше различные явления самоорганизации в термодинамических системах вдали от равновесия, И. Пригожин предлагает рассматривать их как следствие потери системой устойчивости стандартного состояния и переход системы к *сложному поведению* в результате *бифуркации* (рис. 14.6) [28]. Бифуркацией в этом процессе является состояние λ_C , при котором в системе происходит переход от «простого» поведения на термодинамической ветви (рис. 14.7) [27], характеризующегося единственным решением, к «сложному» альтернативному поведению, при котором осуществляется выбор из двух и более решений, характерных для пространственных или пространственно-временных диссипативных структур.

Фазовое пространство состояния равновесия, как было отмечено в п. 12.1, по причине высокой однородности его характеристик, является высокосимметричным. Следовательно, бифуркация сопровождается нарушением симметрии фазового пространства состояний, лежащих на термодинамической ветви, и переводит систему в низкосимметричное, более упорядоченное фазовое пространство диссипативных структур.

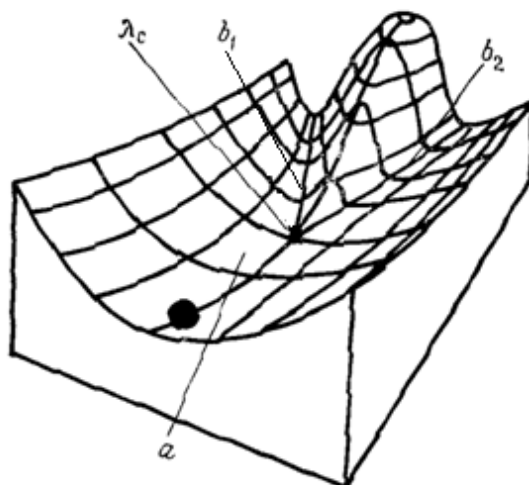


Рис. 14.6. Механическая иллюстрация явления бифуркации

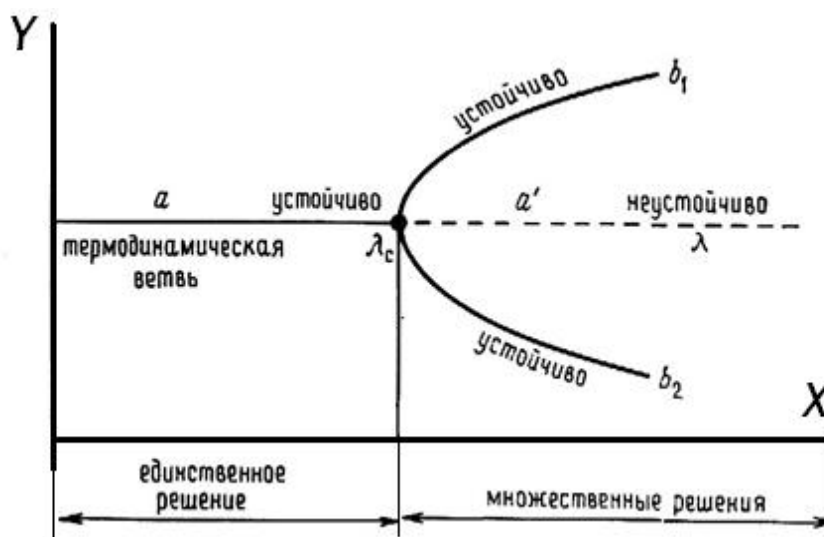


Рис. 14.7. Бифуркационная диаграмма, показывающая влияние управляющего параметра на переменную состояния Y

Один из видных отечественных физикохимиков, специалист по неравновесной кристаллографии Э. Н. Елисеев, рассматривает диссипативные структуры как *фазы рода* [12], в отличие от традиционных

равновесных *фаз вида*. На такую трактовку фазового разнообразия указывал Дж. В. Гиббс [8]. Следовательно, формирование диссипативных структур в неравновесных системах вдали от равновесия следует рассматривать как активную защитную реакцию системы, направленную, в полном соответствии с правилом фаз Гиббса, на повышение своей устойчивости за счет увеличения фазового разнообразия (см. п. 11.2).

Понятие *активной среды* является важнейшим понятием *синергетики* – междисциплинарной области знания, созданной лауреатом Нобелевской премии Германом Хакеном для исследования с единых позиций сложного поведения систем различной природы [44; 45]. Многие исследователи современных экономических, политических, экологических и других гуманитарных проблем человечества связывают с синергетикой надежды на теоретический анализ и научный поиск путей их разрешения [15; 39]. Однако следует обратить внимание на то, что в синергетике, как и в нелинейной неравновесной термодинамике, абстрактным объектом является система, пусть сильно удаленная от равновесия и поэтому более активная, но лишенная пока тех качеств, которые могли бы приблизить ее к человечеству.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем суть явления самоорганизации, при каких условиях и по какой причине она происходит?
2. Поясните природу пространственных диссипативных структур на примере гидродинамического эффекта Бенара.
3. Что такое бифуркация и как она связана с нарушением симметрии?

15. ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В XX веке человечество достигло такого уровня зрелости, что осознало единство и общую природу большого числа проблем, названных *глобальными проблемами человечества*. Глобальность этих проблем проявляется в том, что, с одной стороны, эти проблемы касаются всего человечества и нет ни одного государства и ни одного этноса, которые могли бы их избежать; с другой стороны, неразрешение этих проблем приведет к гибели всего человечества.

15.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛЬНОСТИ

Для анализа и поиска научного решения глобальных проблем человечества в 1968 году известный итальянский предприниматель и общественный деятель Аурелио Печчей [29] собрал в Риме группу из тридцати промышленников, ученых, экономистов, отставных политиков и общественных деятелей. Эта встреча положила начало существованию Римского клуба (РК) – неформальной общественной организации, целью которой является формирование понимания новой глобальной системы, в которой живет нынешнее человечество, и новых глобальных проблем, которые этой жизни угрожают.

Первый проект РК «Сложное положение человечества» по инициативе члена клуба Дж. Форрестера был предложен небольшой исследовательской группе, которую возглавил его ассистент Дениз Медоуз. Кроме него в эту группу входили его жена Донелла Медоуз, Йорген Рэндерс и Вильям Беренс.

Разработав с помощью системной динамики Дж. Форрестера модель МИР-3, члены этой исследовательской группы выполнили прогнозирование состояния человечества до 2100 года (рис. 15.1) [24]. В отчете для РК содержались результаты прогноза развития мировой экономики до 2100 года при условии, что никаких радикальных изменений в ней не произойдет.

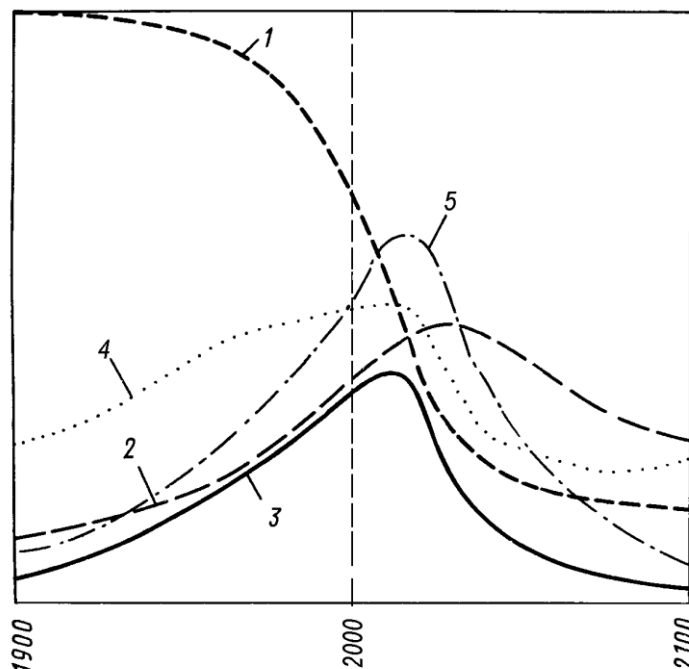


Рис. 15.1. Стандартный компьютерный расчет модели мира:
1 – невозобновимые ресурсы; 2 – численность населения; 3 – производство промышленной продукции; 4 – производство продуктов питания; 5 – производство услуг на душу населения

Запасы невозобновимых природных ресурсов (кривая 1) приблизительно к 2025 году достигнут такого низкого уровня, что это приведет к существенному спаду в трех основных сферах человеческой деятельности: производстве промышленной продукции (кривая 3), производстве продуктов питания (кривая 4) и сфере обслуживания (кривая 5). Результатом такого изменения состояния мировой экономики будет сокращение почти на треть численности населения мира. Из биологии известно, что если размер популяции какого-либо вида биосферы сокращается на одну треть в пределах одного поколения, то популяция может не восстановить свою численность и оказывается на грани исчезновения. Именно такая опасность грозит человечеству! Напомним, что этот прогноз был сделан еще в 1972 году при условии, что в мировой экономике не произойдет радикальных изменений, связанных с поиском новых путей развития.

Поиск недраматических сценариев развития мирового хозяйства с использованием компьютерного моделирования показал, что технического или технологического решения этой проблемы не существует. Иными словами, нет возможности избежать катастрофы только за счет поиска новых берегающих технологий и новых технических решений. Но было показано, что *избежать катастрофического будущего можно только при условии смены критериев прогресса, критериев цивилизации!*

Анализ сложившихся к настоящему времени мировых тенденций показывает, что вся деятельность современной цивилизации ориентирована на удовлетворение человеческих потребностей. Именно поэтому у философов современная цивилизация называется *потребительской цивилизацией*. Речь идет не только о потребностях каждого отдельного человека, но и об удовлетворении потребностей той сложившейся инфраструктуры, которая определяет облик цивилизации. Смена критериев прогресса означает, что показатели прямого, количественного роста необходимо дополнить критериями, отражающими *повышение устойчивости человечества*.

Обсуждая устойчивость в п. 1.2, мы сравнили ее с иммунной системой организма. Устойчивость человеческого общества имеет более сложную природу, чем устойчивость организма, но аналогом иммунной системы организма у человечества является *мораль*. Фундаментом и источником морали во все времена являлась религия. Современная цивилизация начинала складываться как христианская цивилизация после Нагорной проповеди Иисуса Христа, недаром нынешнее летоисчисление идет от Рождества Христова. Стержнем хри-

стианской морали является любовь, прежде всего любовь к Творцу; постоянное стремление к постижению его духовной сущности. Одним из рациональных следствий этого является широкая сфера интересов, уходящая за границы Вселенной – по пространству и ориентированная на вечность – по времени. Но почти столетнее торжество в развитых странах в XX веке светской идеологии, а также скрытого (или явного – как в СССР) атеизма, привело к сокращению сфер интересов отдельных личностей и в конечном счете породило глобальные проблемы человечества (рис. 15.2).

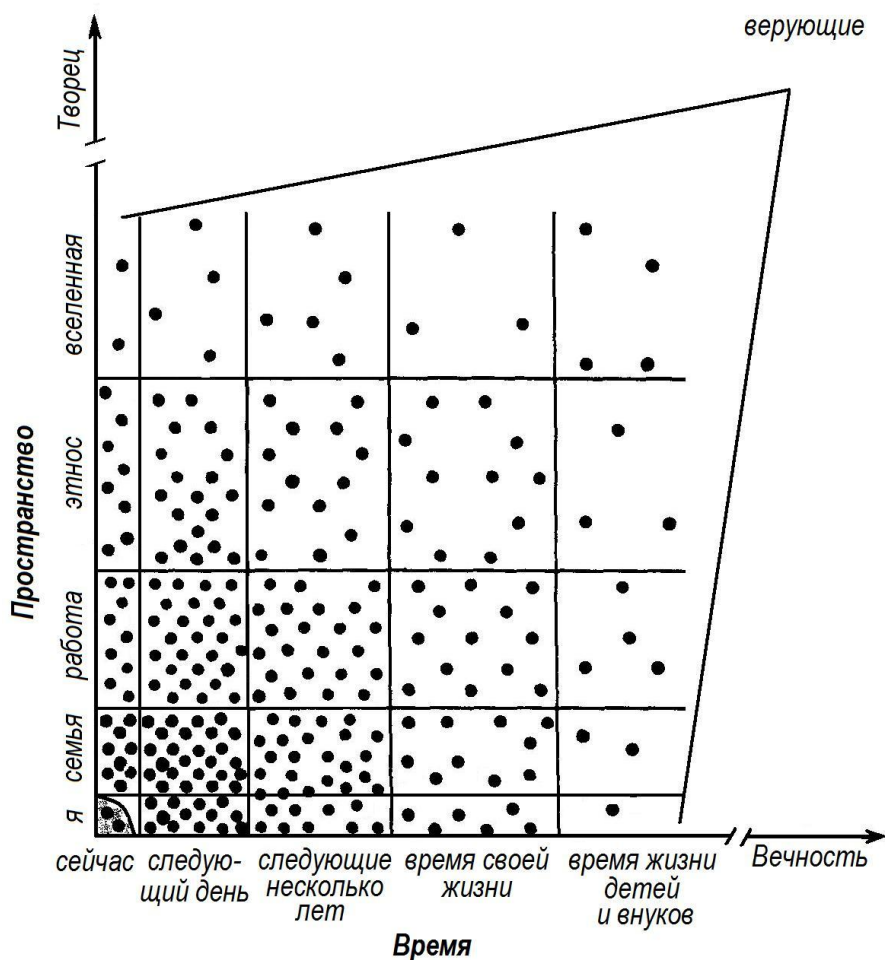


Рис. 15.2. Области человеческих интересов

Однако кроме проблемы поиска новых критериев цивилизации, существует еще более трудноразрешимая проблема – как, каким путем необходимо изменить существующие критерии прогресса? Как можно изменить уже сложившиеся стереотипы поведения человечества на новые, обеспечивающие его устойчивость?

15.2. СТАНОВЛЕНИЕ АНТРОПНОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ РАЦИОНАЛЬНОСТИ. ТЕОРИЯ ЭТНОГЕНЕЗА Л. Н. ГУМИЛЕВА

Проблема формирования стереотипа поведения человечества не может рассматриваться отдельно от становления всей его этнической структуры.

Гениальный русский историк, географ и философ Л. Н. Гумилев в созданной им теории этногенеза раскрыл пути формирования у разных этносов различающегося стереотипа поведения. Под стереотипом поведения понимается статистически одинаковая реакция членов одного этноса на одно и то же внешнее воздействие.

Какой именно будет эта одинаковая реакция на внешнее воздействие, зависит от возможностей ландшафта, в котором существует этнос. Под ландшафтом Л. Н. Гумилев понимал всю совокупность природных связей между человеком и окружающей средой. Из сказанного следует, что этнос – природное явление, обладающее устойчивостью и пространственной ограниченностью, а поэтому может рассматриваться как локализованная система, имеющая ограниченную продолжительность существования – 1 300–1 500 лет. Столь значительная продолжительность существования этносов определяется тем, что под влиянием ландшафта у этноса формируется стереотип *устойчивого поведения*.

Теория этногенеза, созданная Л. Н. Гумилевым, является в полной мере научной теорией. В ней выделяется энергоподобная характеристика состояния – *пассионарность* и подробно рассмотрены уровни пассионарности P как характеристики достигнутого порядка в этнической системе (рис. 15.3). Использование для этого не энтропии, а параметра порядка указывает на то, что теория этногенеза является, по-видимому, первой научной теорией, направленной на формирование антропной модели реальности.

Вместе с Л. Н. Гумилевым прокомментируем кривую этногенеза.

По оси абсцисс отложено время в годах, где исходная точка кривой соответствует моменту пассионарного толчка, послужившего причиной появления этноса. По оси ординат отложено пассионарное напряжение этнической системы в трех шкалах: в качественных характеристиках от уровня P_{-2} (неспособность удовлетворить вожделе-ния) до уровня P_6 (жертвенность). Эти характеристики следует рас-

смагивать как некую усредненную «физиономию» представителя этноса.

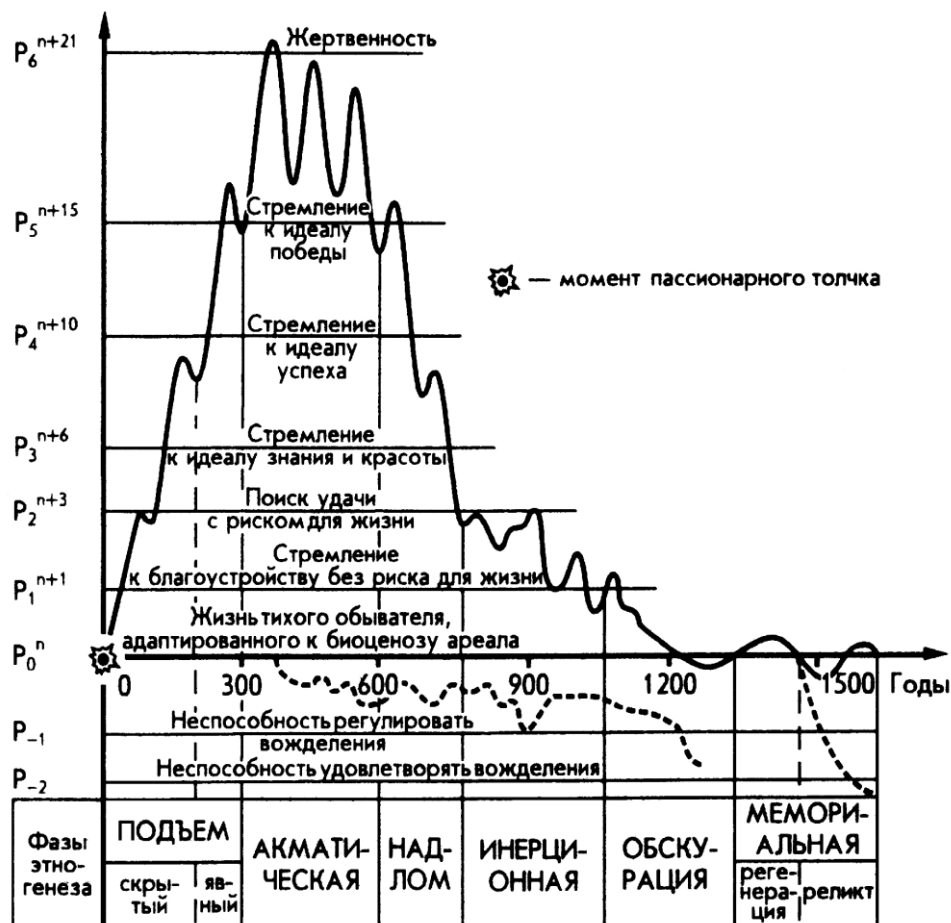


Рис. 15.3. Кривая этногенеза. Изменение пассионарного напряжения этнической системы

Одновременно в этносе присутствуют представители всех отмеченных на рисунке типов, но господствует статистический тип, соответствующий данному уровню пассионарного напряжения; в шкале «количество субэтносов» (подсистем этноса), индексы n , $n + 1$, $n + 3$ и т. д., где n – число субэтносов в этносе, не затронутом толчком и находящемся в гомеостазе; в шкале «частота событий этнической истории» (непрерывная кривая). Снизу крупным шрифтом выделены названия фаз этногенеза соответственно отрезкам по шкале времени: *подъем*, *акматическая*, *надлом*, *инерционная*, *обскурация*, *регенерация*, *реликт*.

Буквенные обозначения: P_i – уровень пассионарного напряжения системы. Качественные характеристики этого уровня («жертвен-

ность» и т. д.) следует рассматривать как некую усредненную «оценку» представителей этноса. Одновременно в составе этноса есть люди, обладающие и другими отмеченными на рисунке характеристиками, но господствует один тип людей; i – индекс уровня пассионарного напряжения системы, соответствующего определенному императиву поведения; $i = -2, -1, 0, \dots, 6$; при $i = 0$ уровень пассионарного напряжения системы соответствует гомеостазу; k – количество субэтносов, составляющих систему на определенном уровне пассионарного напряжения; $k = n + 1, n + 2, \dots, n + 21$, где n – первоначальное количество субэтносов в системе.

Данная кривая – обобщение сорока индивидуальных кривых этногенеза, построенных для различных этносов, возникших вследствие различных толчков. Пунктиром обозначено падение пассионарности ниже уровня гомеостаза, наступающее вследствие этнического смещения (внешней агрессии) [11].

По Гумилеву история человечества – это история его этнической структуры – история формирования, становления и исчезновения этносов.

С позиций диссипативной модели реальности проблема обеспечения устойчивого развития человечества может быть сведена к обеспечению максимального фазового разнообразия, как это вытекает из аналогии с правилом фаз Гиббса (см. п. 11.2). Аналогом фаз у человечества являются этносы. Как и фазы, этносы являются локализованными системами с ограниченным временем жизни. Следовательно, проблема формирования нового стереотипа устойчивого поведения человечества сводится к формированию его новой этнической структуры с необходимыми уровнями устойчивости и разнообразия.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите глобальные проблемы человечества. В чем выражается их глобальность?
2. Поясните природу глобальных проблем по результатам проекта «Пределы роста».
3. Что предлагают осуществить авторы проекта «Пределы роста», чтобы избежать драматического сценария развития человечества?
4. В чем заключается проблема устойчивости современной цивилизации?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обсуждение возможного характера третьей модели реальности связывается с необходимостью создания теоретической основы для перехода цивилизации в новое состояние, обеспечивающее разрешение глобальных проблем человечества. Так, консервативная модель реальности создала теоретическую основу для индустриализации всего производства, новой капиталистической формы производственных отношений, полностью изменила сельское хозяйство, строительство, архитектуру. Диссипативная модель реальности обеспечила не только создание тепловых машин, но и стала теоретической основой системного подхода во всех областях человеческой деятельности.

Логическим фундаментом третьей модели реальности, по аналогии с предыдущими, должны быть три принципа: принцип сохранения, принцип возрастания энтропии и антропный принцип.

Потребность в этой рациональной модели в науке очевидна, что прежде всего связано с обострением глобальных проблем человечества. Сам факт возникновения проблем такого уровня сложности в XX веке и длительное их существование можно рассматривать как указание на достижение границ применимости диссипативной модели. Однако полноценное разрешение глобальных проблем человечества научным путем становится возможным только после того, как будет решена основная проблема, связанная с построением фундаментальной научной теории – будет определен *адекватный человечеству абстрактный объект теории* и характеристики его состояния (параметры и функции). Диссипативная модель реальности может отделить *живое* от *неживого*, однако выделение *разумного* и описание закономерностей причинно-следственных связей с его участием уже лежит, по-видимому, за пределами возможностей диссипативной модели реальности. В рамках диссипативной модели человечество может рассматриваться, в лучшем случае, лишь как *вид биосферы*. Смысл и содержание антропного принципа однозначно указывает на особое положение и особую роль человечества во Вселенной.

Третья модель должна устранить двойственность наших представлений о реальности, вытекающую из несовместимости религии и науки, выделить человечество из биосферы и определить его положение, цели и задачи во Вселенной, а также обеспечить непротиворечивую основу для торжества христианской морали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арбиб, М. А. Мозг, машина и математика / М. А. Арбиб. – М. : Мир, 1968. – 224 с.
2. Аристотель. Сочинения : в 4 т. Т. 2. Категории / Аристотель. – М. : Мысль, 1978. – С. 51–90.
3. Бродский, А. К. Введение в проблемы биоразнообразия / А. К. Бродский. – СПб. : ДЕАН, 2002. – 144 с.
4. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М. : Наука, 1983. – 344 с.
5. Гарел, Д. Колебательные химические реакции / Д. Гарел, О. Гарел. – М. : Мир, 1986. – 148 с.
6. Гейзенберг, В. Физика и философия. Часть и целое / В. Гейзенберг. – М. : Наука, 1990. – 400 с.
7. Гельфер, Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики / Я. М. Гельфер. – М. : Высш. шк., 1969. – 476 с.
8. Гиббс, Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика / Дж. В. Гиббс. – М. : Наука, 1982. – 584 с.
9. Горощенко, Я. Г. Физико-химический анализ гомогенных и гетерогенных систем / Я. Г. Горощенко. – Киев : Наукова думка, 1978. – 490 с.
10. Гумилев, Л. Н. От Руси до России. Очерки по русской истории / Л. Н. Гумилев. – М. : Дрофа : Наталис, 1996. – 354 с.
11. Гумилев, Л. Н. Этногенез и биосфера Земли / Л. Н. Гумилев. – М. : АСТ, 2003. – 548 с.
12. Елисеев, Э. Н. Неравновесная кристаллография / Э. Н. Елисеев // Методологические проблемы кристаллографии / под ред. Н. В. Белова, Б. К. Вайнштейна, Э. Н. Елисеева. – М. : Наука, 1985. – С. 190–232.
13. Жаботинский, А. М. Концентрационные колебания / А. М. Жаботинский. – М. : Наука, 1974. – 179 с.
14. Жереб, В. П. Метастабильные состояния в оксидных висмутсодержащих системах / В. П. Жереб. – М. : МАКС-Пресс, 2003. – 162 с.
15. Капица, С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – М. : Эдиториал УРСС, 2003. – 288 с.
16. Караченцев, И. Острова в океане темной энергии / И. Караченцев, А. Чернин // В мире науки. – 2006. – № 11. – С. 30–35.

17. Карнап, Р. Философские основания физики / Р. Карнап. – М. : Эдиториал УРСС, 2003. – 388 с.
18. Когда, где, как и почему это произошло. Повороты истории: события и факты. – Лондон : Ридерз Дайджест, 1998. – 448 с.
19. Койре, А. Очерки истории философской мысли / А. Койре. – М. : Эдиториал УРСС, 2003. – 272 с.
20. Кун, Т. Структура научных революций / Т. Кун. – М. : АСТ, 2002. – 608 с.
21. Курнаков, Н. С. Введение в физико-химический анализ / Н. С. Курнаков. – Л. : ОНТИ – Химтеорет, 1936. – 94 с.
22. Лосев, А. Ф. Бытие. Имя. Космос / А. Ф. Лосев. – М. : Мысль, 1993. – 959 с.
23. Любищев, А. А. Линии Демокрита и Платона в истории культуры / А. А. Любищев. – М. : Электрика, 1997. – 408 с.
24. Медоуз, Д. Х. Пределы роста. Сложное положение человечества / Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рэндерс, В. В. Беренс III. – М. : Из-во МГУ, 1991. – 208 с.
25. Московский, А. В. Платон, Флоренский и современная наука / А. В. Московский // А. В. Московский. – Электрон. дан. – [б. д.]. – Режим доступа: http://sociognosis.narod.ru/myweb8/docs/moskovskiy_platon.htm. – Загл. с экрана.
26. Наука: возможности и границы. – М. : Наука, 2003. – 293 с.
27. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1990. – 344 с.
28. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
29. Печчеи, А. Человеческие качества / А. Печчеи. – М. : Прогресс, 1978. – 285 с.
30. Попл, С. Физика в диаграммах / С. Попл. – М. : АСТ : Астрель, 2006. – 160 с.
31. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Х. Медоуз, Й. Рэндерс, Д. Л. Медоуз. – М. : Академкнига, 2007. – 342 с.
32. Пригожин, И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М. : Мир, 2002. – 461 с.
33. Пригожин, И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М. : УРСС, 2000. – 240 с.
34. Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М. : Прогресс, 1986. – 432 с.

35. Ризниченко, Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии / Г. Ю. Ризниченко ; Ин-т компьютер. исслед. – М. ; Ижевск, 2003. – 184 с.
36. Саган, К. Драконы Эдема. Рассуждения об эволюции человеческого разума / К. Саган. – СПб. : Амфора, 2005. – 265 с.
37. Свирежев, Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии / Ю. М. Свирежев. – М. : Наука, 1987. – 368 с.
38. Свирежев, Ю. М. Устойчивость биологических сообществ / Ю. М. Свирежев, Д. О. Логофет. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
39. Синергетика и проблемы теории управления / под ред. А. А. Колесникова. – М. : Физматлит, 2004. – 504 с.
40. Старкман, Г. Хорошо ли настроена Вселенная? / Г. Старкман, Д. Шварц // В мире науки. – 2005. – № 11. – С. 29–35.
41. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб. : Питер, 2003. – 877 с.
42. Тарко, А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование / А. М. Тарко. – М. : Физматлит, 2005. – 232 с.
43. Философский энциклопедический словарь. – М. : Сов. энцикл, 1983. – 840 с.
44. Хакен, Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен ; Ин-т компьютер. исслед. – М. ; Ижевск, 2003. – 320 с.
45. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М. : Мир, 1980. – 405 с.
46. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М. : Изд-во иностран. лит., 1963. – 829 с.
47. Эбелинг, В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В. Эбелинг ; Ин-т компьютер. исслед. – М. ; Ижевск, 2003. – 248 с.
48. Эйнштейн, А. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? / А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен // Успехи физ. наук. – 1936. – Т. 16. – № 4. – С. 440–446.

Учебное издание

ЖЕРЕБ Владимир Павлович
СНЕЖКО Александра Александровна
ИВАСЕВ Сергей Сергеевич

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Редактор *Т. Е. Ильющенко*
Оригинал-макет и верстка *М. А. Белоусовой*

Подписано в печать 21.12.2009. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать плоская. Усл. печ. л. 7.7. Уч.-изд. л. 9,3. Тираж 100 экз.
Заказ 193 С 84/9.

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 24.49.04.953.П.000032.01.03 от 29.01.2003 г.

Редакционно-издательский отдел Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
Отпечатано в отделе копировально-множительной техники
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.