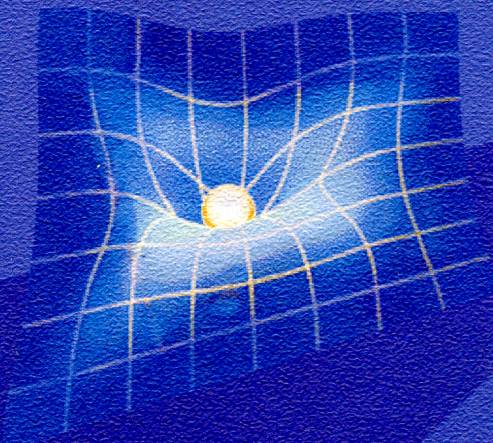
Часть 1

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА



ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА
(Часть 1)

ОТЕЧЕСТВО
2011

УДК 520/524
ББК 22.65
И 90

Печатается по рекомендации
Ученого совета Астрономической обсерватории
им. В.П. Энгельгардта

Научный редактор –
акад. АН РТ, д-р физ.-мат. наук, проф **Н.А. Сахибуллин**

Рецензенты:
д-р. физ.-мат. наук, проф. **Н.Г. Ризванов,**
д-р физ.-мат. наук, проф. **А.И. Нефедьева**

Коллектив авторов:
Нефедьев Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.,
Боровских В.С., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Галеев А.И., канд. физ.-мат. наук,
Камалеева А.Р., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Демин С.А., ст. преподаватель,
Панищев О.Ю., ст. преподаватель,
Бердникова В.М., ассистент.

И 90 **Естественно-научная картина мира** (Часть 1)/ науч. ред. Н.А.Сахибуллин. – Казань: Казан. фед. ун-т, 2011. – Ч1 – 216 с.
ISBN 978-5-9222-0393-7

Настоящая монография – учебное пособие посвящена проблемам и задачам естественных наук и анализу основных составляющих современной естественнонаучной картины мира. Данная книга будет способствовать повышению интеллектуального потенциала студентов гуманитарных и социально-экономических специальностей высших учебных заведений, а также привлечет внимание широкой аудитории читателей к осознанию проблем современного естествознания.

Предназначена для всех, интересующихся историей и современным развитием естественных наук.

УДК 520/524
ББК 22.65

ISBN 978-5-9222-0393-7

© Коллектив авторов, 2011
© Казанский федеральный университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Принимая во внимание растущий интерес со стороны общественности к осознанию концепций и принципов, а также универсальных законов современного естествознания, демонстрирующих специфику рациональных методов познания окружающего мира, авторский коллектив увидел очевидную и своевременную необходимость в составлении монографии-учебного пособия «Естественнонаучная картина мира». Данная монография-учебное пособие посвящено новому предмету, который вводится в систему высшего образования – «Естественнонаучная картина мира». Основное назначение настоящей работы содействовать получению базового высшего образования, способствующего дальнейшему развитию личности. Книга предназначена для подготовки бакалавров, магистров и специалистов гуманитарных, в том числе социально-экономических специальностей университетов и институтов. Также она может быть полезна всем, кто интересуется современной наукой, ее последними представлениями и достижениями и стремящимся расширить свой кругозор.

Цель изучения предмета «Естественнонаучная картина мира» – знакомство с неотъемлемым компонентом человеческой культуры – естествознанием, а также формирование естественнонаучного стиля мышления и целостного мировоззрения. Это связано, прежде всего, с тем, что рациональный естественнонаучный метод проникает в гуманитарную и общественную сферы, участвуя в формировании сознания человека и общества, и вместе с этим приобретает все более универсальный язык. В то же время экономические и политические структуры государства нуждаются в развитии науки и активно используют ее достижения (ежедневно мы слышим такие слова как «нанотехнологии», «инновации» «безотходное производство», «глобальный экологический кризис»). Развивающаяся в настоящее

время тенденция гармоничного синтеза двух традиционно противостоящих компонентов культуры – естественнонаучного и гуманитарного, созвучна потребности общества в целостном и обобщенном мировоззрении, что подчеркивает актуальность предлагаемого предмета. Удивительные возможности синтеза фундаментальных знаний и результатов междисциплинарных разработок, заложенных в основе естественнонаучной картины мира, связаны с применением единой эволюционно-синергетической парадигмы, способной объединить два типа человеческой культуры. В рамках данного предмета существует возможность отражения объективной закономерности развития научного знания, неизбежности смены типов научной рациональности и парадигм естествознания, объяснения потребности в целостной культуре.

Кроме того, знакомство специалиста любой области человеческого деятельности с историей, содержанием и эволюцией естественнонаучной картины мира будет способствовать правильному истолкованию природных явлений и процессов; отстранению от приобретающих в последнее время популярность псевдонаучных видов знаний: астрологии, уфологии, парапсихологии, биоэнергетики, нетрадиционной медицины, эзотерики (которые насаждаются некоторыми средствами массовой информации); пониманию и критической оценке псевдонаучных и околонаучных представлений, стремлению к познанию окружающего мира на основе рациональных естественнонаучных методов. Особенно важно это в условиях очередной мифологизации массового сознания, возрождением и популяризацией креационизма, астрологии, мистицизма, магии, расцветом псевдонаучных учений, которые ставят под сомнение возможности, достижения и представления современной научной картины мира. Этому способствует также появление в средствах массовой информации различных «страшилок», например, об опасности Большого Адронного коллайдера, генетически модифицированных продуктов, приближающемся «конце света», которые призваны в первую

очередь повысить рейтинги самих СМИ. В связи с этим особое значение имеет утверждение научно-рационального отношения к действительности, на котором должна строиться наша цивилизация.

Попытаемся разобраться, что составляет содержательную сторону предмета «естественнонаучная картина мира». Научная картина мира формируется на основе передовых достижений естественных, технических, общественных и гуманитарных наук. Однако ее ключевые положения связаны, прежде всего, с естествознанием. Целостная научная картина мира складывается путем обобщения достоверных знаний о природе, полученных в рамках отдельных естественных наук: физики, астрономии, геологии, химии, биологии, экологии и др. История науки свидетельствует, что формирование мировоззрения человека, его места и роли в окружающем мире происходит именно при изучении основ естествознания, когда человек осознает существование сложного материального мира, его невообразимых масштабов и начинает представлять все многообразие и сложность процессов, происходящих в живой и неживой природе. Построение и утверждение в научной среде и широкое признание астрономической картины мира (места нашей планеты и Солнечной системы во Вселенной), а позднее физической, химической и эволюционно-биологической позволило создать единую модель строения материального мира, его происхождения и эволюции.

В данной монографии-учебном пособии в доступной форме представлены понятия и термины, понимание которых требуется для успешного усвоения предмета и выполнения поставленных выше задач. Многие термины широко употребляются в современной жизни, но часто их суть и значение неизвестны людям в силу недостаточного восприятия школьного материала, малого интереса к современным достижениям науки, пробелам в самообразовании. К сожалению, в настоящее время в процессе обучения у некоторых школьников возникает неприязнь к естественным наукам, «боязнь» физики, химии, математики. По этой причине возникает неприятие

естественнонаучного знания, несмотря на его необходимость. Также в последние годы астрономия как дисциплина, изучаемая в старших классах школы, выводится из учебной программы, что, конечно, является недопустимым, так как астрономические познания являются важнейшими для построения полной картины окружающего мира, формирования мировоззрения молодого поколения.

Основные цели предмета «Естественнонаучная картина мира» можно сформулировать следующим образом:

1. Знакомство со специфическими особенностями гуманитарного и естественнонаучного типов человеческой культуры, их связями с особенностями мышления.
2. Формирование представлений о ключевых особенностях рационального естественнонаучного стиля мышления.
3. Формирование представлений о естественнонаучной картине мира как совокупности знаний, отражающих целостность и многообразие окружающего мира.
4. Понимание сущности междисциплинарных идей и основных естественнонаучных концепций, определяющих облик современного естествознания.
5. Развитие навыков самостоятельной работы, а также знакомство с основными принципами процесса научного поиска на примерах важнейших научных открытий в астрономии, биологии и физике, осознание роли научного познания, его вклада во все основные достижения человеческой цивилизации.
6. Осознание проблем экологии, влияния человеческой деятельности на окружающую живую и неживую природу, а также взаимодействия природы и общества, формирование умений и навыков практического использования достижений современной науки.

Задачи изучения предмета «Естественнонаучная картина мира»:

1. Понимание специфики гуманитарного и естественно-научного компонентов культуры, связи с особенностями мышления и

необходимости воссоединения при формировании целостного мировоззрения.

2. Понимание особенностей и возможностей рационального естественнонаучного метода, его дополнительной природы по отношению к гуманитарным методам освоения действительности.

3. Формирование представлений о научной рациональности, ее смене в ходе научного познания окружающего мира, о революциях в естествознании и смене научных парадигм как ключевых этапах развития естествознания.

4. Изучение и понимание сущности фундаментальных законов природы, определяющих облик современного естествознания, к которым сводится множество частных закономерностей физики, астрономии, геологии, химии, биологии, экологии, а также ознакомление с принципами научного моделирования природных явлений.

5. Понимание принципов преемственности, соответствия и непрерывности в изучении природы, а также необходимости использования адекватного языка описания по мере усложнения природных систем, знакомство со структурными уровнями организации живой и неживой природы.

6. Формирование представлений о физической, астрономической, химической и биологической картинах мира как основе целостного взгляда на многообразие природных явлений.

7. Формирование знаний об эволюционной картине Вселенной, а также космических объектах и их системах как наиболее глобальных объектах окружающего мира, их роли в становлении и существовании нашей планеты и жизни на ней.

8. Формирование представлений об основах универсального эволюционизма и синергетики как о диалектических принципах развития, их приложение к неживой и живой природе, человеку и обществу.

9. Понимание роли исторических и социокультурных факторов и законов самоорганизации в процессе развития естествознания и техники, в процессе диалога науки и общества.

10. Понимание сущности жизни, принципов основных жизненных процессов, организации биосферы, роли человечества в ее эволюции.

11. Осознание природы, базовых потребностей и возможностей человека, возможных сценариев развития человечества в связи с кризисными явлениями в биосфере, роли естественнонаучного знания в решении социальных проблем и сохранении жизни на Земле.

Монография-учебное пособие состоит из двух частей. В первой части обсуждаются специфика и эволюция естественнонаучного типа культуры, а также смена представлений о ключевых понятиях естествознания – материи, движении, взаимодействии. Представлена эволюция представлений о пространстве и времени от античности до современности, описываются их общие и специфические свойства. Вводятся основные понятия микро-, макро-, мегамира: в неживой природе – физический уровень организации материи, живой природе – биологический уровень. В завершении первой части раскрываются принципы универсального эволюционизма и примеры самоорганизации в живой и неживой природе.

Во второй части учебного пособия обсуждаются вопросы, объединенные в рамках эволюционного естествознания: представлены концепции космологии и космогонии, происхождения жизни и развития живых систем, в том числе и человека, раскрываются методы исследования биологического эволюционизма. Кроме того, дается характеристика воздействию человека на окружающую среду и раскрываются методы рационального природопользования. В приложении приведены научно-познавательные статьи, отражающие отдельные вопросы современного естествознания, доступные для широкого круга читателей.

Авторский коллектив надеется, что данный труд будет способствовать повышению интеллектуального потенциала студентов гуманитарных и социально-экономических специальностей высших учебных заведений, а также привлечет внимание широкой аудитории читателей к осознанию проблем современного естествознания.

ГЛАВА 1

§ 1.1. ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО МЕТОДА И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

1.1.1. История развития естествознания

Наука не является, и никогда не будет являться законченной книгой. Каждый важный успех приносит новые вопросы. Всякое развитие обнаруживает со временем все новые и более глубокие трудности.

Альберт Эйнштейн

Историю развития человеческой мысли можно условно разделить на четыре основных этапа: **мифологический, натурфилософский, религиозный и научный**. Причина смены одного этапа другим определяется сменой взглядов на окружающий мир.

Основанием любой науки является **факт** - количественно измеренное и задокументированное явление реальной действительности. Совокупность фактов в научном познании образуют основу для выдвижения гипотез и создания теорий. Для того чтобы сравнивать факты между собой ученым необходимо договориться о методиках измерения и документации, т.е. о правилах измерения, сбора и документирования явлений, а также о приборах и инструментах, с помощью которых исследуется реальная действительность.

Установление причинно-следственных связей между фактами, их непротиворечивое объяснение, обобщение фактов в единую систему знания и определение направления научного поиска в перспективе осуществляется с помощью **методологии**.

Совокупность методологий, методов, методик и известных фактов часто называют **парадигмой** (исследовательской программой) науки. Без парадигмы наука как общественное явление не может существовать. Поэтому знание называется **научным**, если ему соответствуют все вышеперечисленные требования.

Определим отличие науки, как особой сферы человеческой деятельности от предшественников научного знания: мифологии, философии (натурфилософии) и религии.

На первом, мифологическом этапе (III тыс. до н.э. – VI в. до н.э.), решающую роль в принятии решений играла мифология или обожествление естественных сил и тел природы (этап веры). На данном этапе человечество осуществляло первичный набор фактов об окружающей действительности. На втором этапе (VI в. до н.э. – V в. н.э.) главенствующую роль стала играть натурфилософия как способ рационального поведения и вознесения человеческого разума в центр мироздания. К этому периоду относятся первые попытки обобщения накопленных знаний об окружающей действительности и их объяснение. Третий этап (V – XVI вв.) вновь характеризуется, с одной стороны, консерватизмом по отношению к теоретической науке, господством религиозных представлений, с другой стороны, развитием и совершенствованием прикладных методов. Наконец, четвертый этап (XVI – XXI вв.) выводит на первый план науку и ученого как творцов нового мира (этап разума и техники).

Соответственно, в развитии базиса естествознания также присутствуют несколько этапов. На этапе мифологии происходит накопление прикладной информации о природе и способах использования ее сил и тел. На этапе натурфилософии к практике преобразования природы добавляется теоретическое осмысление причин, способов и особенностей трансформации природы, появляются первые концепции рационального объяснения явлений природы. В течение религиозного этапа естествознание вновь сосредотачивается на накоплении фактов, поскольку в качестве единственной причины изменения природы религия выводит Бога. В течение четвертого этапа факты, методики и теории объединяются в естествознание как целостную науку о природе, происходит череда научных революций, радикально меняющих практику общественного развития.

Таким образом, человечество в настоящее время имеет, по крайней мере, **четыре системы организации знаний** об окружающей среде:

мифологическую, философскую, религиозную и научную картины мира.

Рассмотрим особенности каждой из представленных картин мира. В **мифологической картине мира** объекты окружающей среды и человек связываются друг с другом совершенно случайным образом, но объясняют весьма важные явления. Мифологический подход к объяснению окружающей среды до сих пор сохраняется в общественном мировосприятии не только первобытных племен Африки и Океании, но и вполне просвещенных народов. Все непонятное, но требующее каких-либо объяснений, прежде всего, мифологизируется, т.е. недостаток информации компенсируется умозрительными выводами. В дальнейшем умозаключение становится правдоподобным благодаря включению в миф реальных объектов окружающего мира.

1.1.2. Натурфилософский этап естествознания

Изучение и наблюдение природы породило науку.
Цицерон Марк Туллий

Натурфилософский этап, связанный с греческой и римской цивилизациями, был подготовлен ближневосточной и среднеземноморской (минойская, микенская) цивилизациями. Отправной точкой первого этапа можно считать работы Фалеса Милетского (VI в. до н.э.), заложившие основы для философии и естествознания. Он занимался астрономией, мог предсказывать солнечные затмения, создал первую «теорию Земли» (Океан – всем прародитель; Земля – плавает на воде), ему принадлежит идея абстрактного Бога (Бог – то, у чего нет ни начала, ни конца; Бог – это ум космоса; Бог древнее всего, ибо он не сотворен).

В дальнейшем ученик и родственник Фалеса Анаксимандр изобрел астрономические инструменты (солнечные часы), первым в Элладе начертил географическую карту мира и разработал систематическую космологию (570 г. до н.э.), в которой использовались понятия

«беспредельного» времени, преобразования вещей, тепла, холода и др. Позже друг Анаксимандра Анаксимен из Милета постулирует изменение и преобразование первоматерии (545 г. до н.э.), Ксенофан вводит понятие человеческого прогресса, философский монотеизм, скептицизм в отношении антропоморфных божеств (520 г. до н.э.), Анаксагор вводит понятие вселенского разума – Ноос (460 г. до н.э.).

Уже в 430 г. до н.э. Демокрит разрабатывает атомистическое учение. По его представлениям, началом Вселенной являются атомы и пустота. Атомы представляют собой некие тела, невидимые из-за малой величины и неделимые из-за твердости. Они движутся в пустоте бесконечное время, а когда приближаются друг к другу или зацепляются друг за друга, то образуется вода, воздух, огонь, растения или человек. Разные тела могут состоять из одних и тех же атомов. Представления Демокрита о Вселенной были весьма прогрессивными для своего времени. Он считал, что мир неодушевлен и управляется некоей бессознательной природой; что миров бесчисленное множество, они различны по величине, появляются из пустоты и превращаются в пустоту; что движение вечно.

Таким образом, некоторые теоретические основы современного естествознания были созданы уже на натурфилософском этапе. Большинство ключевых терминов современного естествознания были придуманы древними греками, в настоящее время греческий алфавит активно используется для символического описания природных явлений.

В течение натурфилософского этапа были заложены не только основы космологии и теории Земли, но и многих естественных и гуманитарных наук. В конце 400-х гг. до н.э. Гиппократ закладывает основы античной медицины, Платон пишет знаменитые «Диалоги» и создает Академию в Афинах (399-374 гг. до н.э.), Аристотель пишет «Метафизику» и другие знаменитые работы («Категории», «О небе», «Метереологика», «Физика»), создает гелиоцентрическую систему устройства мира (270 г. до н.э.), Архимед развивает начала классической механики и математики (240 г. до н.э.), Гиппарх из Никеи по

наблюдениям звезд составляет первый в Европе звездный каталог и вносит важный вклад в совершенствование календаря (130 г. до н.э.).

После завоевания Греции Римом в 146 г. до н.э. Лукреций (60 г. до н.э.), Цицерон (45-44 гг. до н.э.), Овидий (8 г. до н.э.) продолжают развитие традиций греческой науки. В знаменитой работе «О природе вещей» Тит Лукреций Кар дает предельно полную на тот момент картину представлений о природе. Согласно этим представлениям природу составляют две вещи: тела и пустота. Первоначала вещей просты и плотны. От начал (атомов) начинается движение и передается все более крупным телам. Изменения материи влекут за собой и перемены в вещах. Проблему пространства и времени Лукреций трактует так: «Если же пространства иль места, что мы пустотой называем, не было бы вовсе, тела не могли бы нигде находиться и не могли б никуда двигаться различно… Также и времени нет самого по себе, но предметы сами ведут к ощущению того, что в веках совершилось, что происходит теперь и что последует позже. И неизбежно признать, что никем ощущаться не может время само по себе, вне движения тел и покоя».

В дальнейшем Птолемей закладывает основы классической астрономии (140 г. н.э.), Гален совершает открытия в медицине. Однако с течением времени натурфилософия теряет своих последователей по причине сообщенной Анаксименом: «чем больше ты станешь узнавать нового, тем больше будет возникать у тебя неясных вопросов», что определило закат натурфилософского периода и переход к религиозному этапу развития человеческой мысли. В 391 г. запрещение императором Феодосием всех языческих культов в Римской империи означало превращение христианства в государственную религию, а смерть Прокла (последнего крупного философа Др. Греции) в 485 г. можно считать завершением натурфилософского этапа развития естествознания.

В целом в этот период начинает формироваться стиль современного научного мышления, включающего любознательность, стремление к нововведениям, критику, глубокий интерес к проблемам

жизни и смерти, стремление к упорядоченности и скептическое отношение к общепринятым истинам в качестве базовых составляющих, а также поиск неких универсалий (идей, законов, абсолютов, начал и т.д.), дающих рациональное понимание всего окружающего мира. Крайне важной для развития науки в последующем оказалась также борьба двух течений в натурфилософии: платонического идеализма (идея –природа) и материализма Гераклита, Демокрита, Эпикура (элемент – природа), ставшая своеобразным вечным двигателем развития научного мышления и формирования способности к интуиции, озарению, предвидению, ведущей к научным открытиям.

1.1.3. Естествознание в средние века

Только со смертью догмы начинается наука.
Галилео Галилей

Натурфилософия подготовила идею абстрактного Бога, а также сформировала разнообразнейшие знания о природе. В то же время человечество нуждалось в исследовании не только природы, но и общества. Более важным становилось регулирование отношений между людьми, а не между людьми и природой. Поэтому в I тысячелетии центр познаваемых проблем сместился от исследований связи между человеком и природой к исследованию связей между человеком и человеком посредством Бога. Гуманитарные науки, науки о Боге (теология) получили приоритетное значение по сравнению с естествознанием, исследования духа главенствовали над исследованиями материи. Функция разумного Творца была отдана Богу, поэтому человеку оставалось подчиняться существующему устройству мира, а любая критика воспринималась как критика Бога.

Результатами подобного миропонимания стали:

а) снижение ценности наблюдения, анализа и постижения природы и перенесение акцента с рациональных и эмпирических

способностей человека на его эмоциональную, нравственную и духовные сферы;

б) опровержение способности человека самостоятельно проникать (интеллектуальным, духовным или практическим путями) в смысл мироустройства;

в) постулирование абсолютных полномочий церкви и Священного писания в установлении абсолютных истин;

г) презрение к физическому миру и настоящей жизни в пользу будущей райской жизни и служению Богу, причем понятия «мир», «плоть» и «дьявол» нередко сближались;

д) утверждение божественного и коллективного над личностным и индивидуальным.

Все это привело, прежде всего, к созданию строгих рамок интеллектуального поиска и отношению к сомнениям не как важнейшей добродетели рассудка, а как серьезному духовному упущению – недоверию. Несмотря на несомненные достоинства христианства (возведение в святость каждой отдельной жизни, возвеличение веры, надежды и любви, попечение над больными и бедными, интеграция человека с обществом, космосом и Богом), нарастающий догматизм и несоответствие церковного миропонимания новым фактам, открытиям и повседневной практике привели к смене стиля мышления. Основную роль в этом процессе сыграли работы Н. Коперника («Об обращении небесных сфер», 1543 г.), И. Кеплера («Мировая гармония», 1619 г.).

Естествознание в течение этого периода сосредоточилось в лабораториях алхимиков, астрологов и создателей различных механических приспособлений. Исследования продолжались: поиск философского камня или расчет благоприятных дней для деятельности в последующем, создали опытное поле для развития химии и астрономии.

1.1.4. Естествознание в Новое время (XVII-XVIII вв.)

Гипотез не измышляю.
Исаак Ньютон

Создание Н. Коперником гелиоцентрической теории, открытие И. Кеплером трех законов движения планет, астрономические и физические открытия Тихо Браге и Галилео Галилея перевернули общественное сознание и провозгласили наступление новой эры разума. Начиная с 1543 г. (год публикации работы Н. Коперника «Об обращении небесных сфер») религия стала уступать свое место науке в лице таких ученых Нового времени, как Р. Декарт, (философия, математика), И. Ньютон (физика, математика, оптика), И. Кант (космология, философия, география).

Философия науки в это время пережила обновление на новом качественном уровне. Так философия Бэкона (1561-1626 гг.), идейно подготовленная натурфилософией Возрождения и традицией английского номинализма, соединила в себе натуралистическое миросозерцание с началами аналитического метода, эмпиризм – с элементами теологических воззрений. Бэкон разработал подробную классификацию наук, обосновал эмпирический метод и описал различные виды опытного познания, сформулировал индукцию как метод исследования законов («форм») природных явлений в целях их использования в человеческой практике. Пропагандируя науку, Бэкон разграничивал области научного знания и религиозной веры, считая, что религия не должна вмешиваться в дела науки.

Декарт (1596-1650 гг.) – один из родоначальников «новой философии». Декарт требовал положить в основу философского мышления принцип очевидности или непосредственной достоверности, а также понимание мира как машины. По Декарту, если мир – механизм, то наука о нем – механика и познание есть конструирование определенного варианта машины мира из простейших начал, которые мы находим в человеческом разуме. Инструментом этого

конструирования является метод, который должен как бы превратить научное познание из кустарного промысла в промышленность. Основные правила метода: начинать с простого и очевидного; путем дедукции получать более сложные высказывания; действовать при этом так, чтобы не упускать ни одного звена, т.е. сохранять непрерывность цепи умозаключений.

В целом этап с XVI по XIX вв. можно охарактеризовать как время активной дифференциации естествознания, формирования физики, химии, биологии как самостоятельных наук и в то же время как этап синтеза новых знаний об окружающем мире, получившего максимальное отражение в космологии И. Ньютона, его теории тяготения, а также классической механике. Исаак Ньютон создал модель научного исследования, которое обязательно должно начинаться с экспериментов и многочисленных точных измерений, а заканчиваться доказательным объяснением, проходящим через математическую и логическую проверки.

1.1.5. Естествознание в XIX и XX веках

Наука – это неустанная многовековая работа мысли свести вместе посредством системы все познаваемые явления нашего мира.

Альберт Эйнштейн

Развитие естествознания в XIX и XX вв. сопровождалось окончательным разрывом веры и разума, развитием технических наук и формированием тандема разум – техника, обеспечившего быстрый прогресс западных цивилизаций.

Революционными открытиями становятся: принципы неевклидовой геометрии Гаусса, идея вычислительной машины Бэббиджа, концепция энтропии и второй закон термодинамики Клаузиуса, теория естественного отбора Дарвина и Уоллеса, теория генетической наследственности Менделя, трактат об электричестве и

магнетизме Максвелла, открытие радиоактивности Беккерелем, теория сновидений Фрейда, основы квантовой физики Планка, общая теория относительности Эйнштейна, принцип неопределенности Гейзенберга, принцип дополнительности Бора, теория большого взрыва, кибернетика Винера, открытие структуры ДНК Уотсоном и Криком, запуск первого спутника Земли, первые космические полеты, постулирование существования кварков Гельманом и Цвейгом, теория самоорганизации И.Р. Пригожина, развитие экологического мышления («Пределы роста» Медоуза), появление персональных компьютеров, развитие биотехнологий, новых направлений химии, физики, медицины.

В целом важной закономерностью развития современного естествознания принято считать единство процессов дифференциации и интеграции научного знания. В настоящее время можно проследить в науке одновременно и процессы дифференциации и процессы интеграции с преобладанием последних, позволивших науке стать целостным системным образованием. Различные отрасли науки обладают относительной самостоятельностью:

– в организации исследований на стыке наук;

– в разработке междисциплинарных научных методов;

– в поиске объединительных теорий и принципов;

– в изменении самого принципа выделения научных дисциплин, что привело к появлению нового типа проблемных наук, по большей части комплексных, привлекающих для решения одной проблемы сразу несколько дисциплин.

Подумайте и ответьте:

1) Назовите основные исторические этапы формирования естествознания?
2) В чем состоят основные принципы мифологического подхода?
3) Что такое натурфилософия? Опишите основные научно-исследовательские программы натурфилософии.
4) Чем характеризуется развитие естествознания Средневековья?
5) Опишите естествознание в Новое время?
6) Охарактеризуйте естествознание в XIX и XX веках?

§ 1.2. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

1.2.1. Элементы и структура научного познания

Одной из целей науковедения является установление структуры научного познания, научного поиска. Научное познание включает в себя множество компонентов, каждый из которых связан с одним из двух уровней – эмпирическим или теоретическим.

Основными элементами научного познания являются:

1. **Эмпирические факты,** твердо установленные и подтвержденные в ходе наблюдений, экспериментов и проверок, зафиксированные принятыми в науке способами, в дальнейшем превращаются в научные факты. Они составляют эмпирический базис науки, здесь исследователь имеет дело непосредственно с природными и социальными объектами, применяются методы наблюдения, описания, измерения, эксперимента.
2. **Эмпирические закономерности,** обобщающие группы фактов – существенные, необходимые, устойчивые и повторяющиеся связи явлений.
3. **Теории,** представляющие собой системы закономерностей и описывающие некий фрагмент реальности; в теории происходит перестройка эмпирического материала на основе некоторых исходных принципов. На теоретическом уровне объектом исследования являются идеализированные объекты (теоретические абстракции, математические модели и т. д.). Теория рассматривается как высшая форма организации научного знания, дающая целостное представление о существенных связях и отношениях объективной реальности.

В истории науки было предложено два принципа позволяющих провести границу между научными знаниями, теориями и тем, что к науке не относится. Во-первых, **принцип верификации**: любое понятие

или суждение имеет научный смысл, если оно может быть сведено к эмпирически проверяемой форме, или если оно само не может иметь такой формы, то эмпирическое подтверждение должны иметь ее следствия. Однако принцип верификации применим ограниченно, в некоторых областях современной науки его использовать нельзя. Во-вторых, американский философ К. Поппер предложил другой принцип – **принцип фальсификации**, в его основе лежит тот факт, что прямое подтверждение теории часто затруднено невозможностью учесть все частные случаи ее действия. Для опровержения теории достаточно всего одного случая с ней не совпадающего. Если теория сформулирована так, что ситуация, в которой она будет опровергнута, может существовать, то такая теория является научной. Теория, неопровержимая в принципе, не может быть научной.

4. **Научные картины мира** дают обобщенные образы реальности в целом, и основаны на ключевых теориях, допускающих взаимные согласования, которые сведены в некое системное единство.

Таким образом, мы можем выделить два взаимосвязанных, но самостоятельных уровня научного исследования: **эмпирический** и **теоретический**. Они различаются по объектам исследования (во втором случае они могут иметь свойства, которых нет у эмпирических объектов), средствам, методам и результатам (эмпирическое исследование завершается выведением эмпирического обобщения, теоретическое имеет целью выдвижение гипотезы и создание теории).

Устанавливая отношение между двумя указанными уровнями познания, надо иметь в виду, что чистого эмпирического знания, совершенно свободного от каких бы то ни было влияний теоретического мышления, не существует. В свою очередь абстрактно-теоретическое познание, совершая дальнейшее движение вперед, постоянно возвращается к своей исходной, эмпирической ступени, стремясь найти все новый и новый материал, необходимый для раскрытия сущности более высокого порядка. В то же время теория не строится непосредственно на эмпирических данных, процесс построения научной теории связан с образованием понятий,

лишенных непосредственно чувственного содержания и отражающих такие свойства и стороны объекта, которые не даны эмпирически.

Несмотря на методологическую ценность выделения эмпирического и теоретического уровней исследования, разделить их в целостном процессе познания невозможно. Невозможно так же говорить и о том, что какой-то из уровней является важнейшим или ведущим для исследований. Еще на заре развития современной науки Ф. Бекон и Р. Декарт сформулировали две разнонаправленных программы развития науки: **эмпирическую**, основанную на принципе индукции (способ рассуждения, при котором общий вывод делается на основе частных посылок) и **рационалистическую**, построенную на дедукции (выведение всей системы знаний из некоторых общих положений, которые носят самоочевидный характер). Оба методологических подхода в настоящее время считаются неверными в применении к научным исследованиям. Эмпиризм имеет тот недостаток, что индукция не может привести к универсальным суждениям, поскольку в большинстве ситуаций принципиально невозможно охватить все многообразие частных случаев, в тоже время рационализм оказался беспомощен при изучении тех областей реальности, для которых ничего самоочевидного не существует.

В настоящее время стандартная модель построения процесса научного познания начинается с установления путем наблюдения и эксперимента различных эмпирических фактов. Если среди них можно установить некую регулярность, то говорят об обнаружении эмпирического закона или первичного эмпирического обобщения. Если отыскиваются факты, которые не встраиваются в обнаруженную регулярность, то ученый, используя свой творческий интеллект, мысленно перестраивает известную реальность так, чтобы устранить противоречие. Эмпирически выявить новые схемы невозможно, их необходимо сотворить умозрительно в виде гипотезы. Если гипотеза снимает противоречие или позволяет предсказать получение новых данных, это означает, что она нашла подкрепление и превратилась в теорию. Такую модель принято называть **гипотетико –дедуктивной**.

Таким образом, **процесс научного познания** может быть представлен следующим образом:

– эмпирический факт;
– научный факт;
– наблюдение;
– реальный эксперимент;
– модельный эксперимент;
– мысленный эксперимент;
– фиксация результатов эмпирического уровня исследования;
– эмпирическое обобщение;
– использование имеющегося теоретического знания;
– образ;
– формирование гипотезы;
– проверка гипотезы на опыте;
– формирование новых понятий;
– определение новых терминов и знаков;
– выведение закона;
– создание теории;
– проверка теории на практике;
– принятие дополнительных гипотез в случае необходимости.

Рассмотрим приведенную выше схему процесса научного познания подробнее.

Предметом естествознания служат явления и факты, которые мы готовы воспринимать. **Эмпирические факты**, т.е. факты чувственного опыта, можно считать исходным пунктом развития естествознания. Выдающийся французский математик А. Пуанкаре, описывая в своей книге «Наука и метод» работу ученого, говорил: «Наиболее интересным являются факты, которые могут служить свою службу многократно, которые могут повторяться».

Если эмпирический факт – начальный пункт научного исследования, то его можно считать **научным фактом.** Если ученый хочет вывести закон природы, то ему необходимо обосновать такие положения, которые будут верными во всех случаях одинаковой

группы явлений. Для этого ученому требуется множество одинаковых фактов, которые он мог потом бы единообразно объяснить.

Следующий этап – **эксперимент.** Эксперимент представляет собой некий вопрос, который мы задаем природе и на который ждем ответа. А. Эйнштейн говорил, что природа отвечает «нет» на большинство задаваемых ей вопросов и лишь изредка от нее можно услышать более обнадеживающее «может быть». Отличительной особенностью научного эксперимента является то, что его сможет воспроизвести каждый исследователь в любое время. Найти аналогии в различиях – необходимый этап научного эксперимента. Не над всеми телами можно провести эксперимент. Если же мы все-таки считаем эксперимент необходимым, то можем провести **модельный эксперимент** – на моделях, то есть на телах, размеры и масса которых пропорционально уменьшены по сравнению с реальными телами. Результаты модельных экспериментов можно считать пропорциональными результатам взаимодействия реальных тел. Может иметь место также и **мысленный эксперимент**. Для его проведения требуется представить себе тела, которых вообще не существует в реальности, и провести над ними эксперимент в уме, мысленно.

Значение представления, связанного с проведением мысленного, или идеального эксперимента, хорошо объясняют в своей книге «Эволюция физики» А. Эйнштейн и Л. Инфельд. Дело в том, что все понятия, т.е. слова, имеющие определенное значение, которыми пользуются ученые, являются не эмпирическими, а рациональными, значит, они не берутся нами их чувственного опыта, а являются творческими произведениями человеческого разума. Для того чтобы ввести их в расчеты, необходимы идеальные представления, например, представления об идеально гладкой поверхности, идеально круглом шаре и т.п. Такие представления называются идеализациями. В современной науке надо быть готовым к идеализированным экспериментам, т.е. мысленным экспериментам с применением

идеализации, с которых (а именно – с экспериментов Г. Галилея) и началась физика Нового времени.

Чтобы продвинуться вперед, необходимо продумать предложения, ведь эмпирических данных будет недостаточно. В науке исследования на эмпирическом уровне завершают эмпирические обобщения, которые в теоретических науках открывают только начальные этапы. В.И. Вернадский сказал: «Научная гипотеза всегда выходит за пределы фактов, послуживших основой для ее построения. Эмпирические обобщения опираются на факты, собранные индуктивным способом, не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе…» Представление и воображение (**создание и использование образов**) имеют в науке большое значение, но, в отличие от искусства, – это не конечная, а промежуточная часть научного исследования. Главная цель науки – выдвижение гипотез и создание теории как эмпирически подтвержденных гипотез.

Следующий уровень исследований – **теоретический**. На теоретическом уровне, помимо эмпирических фактов, необходимы понятия, которые могут быть заимствованы из различных отраслей науки или построены заново. Понятия могут быть представлены в виде терминов или математических символов, где каждый наделен определенным значением.

Понятия – слова, наделенные определенным значением, являющиеся рациональными и творческими результатами умственной деятельности человека. Понятия играют в науке особую роль.

Термины – это определения понятий, которые позволяют понять какое-либо явление в его глубочайшей сущности («понятие» и «понять» – однокоренные слова). Научные термины и знаки – не что иное, как условные сокращения записей, которые иначе заняли бы гораздо больше места.

При **гипотезе** принимается во внимание какой-либо один или несколько важных признаков явления, и на их основании строится представление о явлении, без внимания к другим его сторонам. Научная гипотеза выходит за пределы фактов, послуживших основой для ее построения. После выдвижения определенной гипотезы (научного предположения, объясняющего причины данной совокупности явлений) исследование опять возвращается на эмпирической уровень его проверки. При проверке научной гипотезы должны проводиться новые эксперименты, задающие природе новые вопросы, исходя из сформулированной гипотезы. Цель – проверка следствий из этой гипотезы, о которых не было известно до ее выдвижения. Если гипотеза выдерживает эмпирическую проверку, то она приобретает статус закона природы**.** Если нет – считается опровергнутой, и поиски иной, более приемлемой гипотезы, продолжаются. Научное предположение остается, следовательно, гипотезой до тех пор, пока еще неясно, подтверждается оно эмпирически или нет. Стадия гипотезы не может быть в науке окончательной, поскольку все научные положения, в принципе, эмпирически опровергаемы, и гипотеза рано или поздно или становится законом или отвергается.

Естествознание изучает мир с целью определения и конкретизации законов его функционирования. Существуют естественные законы или законы природы, описывающие неизменные регулярности, которые обладают свойствами всеобщей повторяемости, цикличности, т.е. они возникают лишь тогда, когда четко определены условия. Совокупность нескольких законов, относящихся к одной области познания, называется **теорией**. В случае если теория в целом не получает убедительного эмпирического подтверждения, она может быть дополнена новыми гипотезами, которых, однако, не должно быть слишком много, т.к. это подрывает доверие к теории. Подтвержденная на практике теория считается истинной вплоть до того момента, пока не будет предложена новая теория, лучше объясняющая известные

эмпирические факты, ставшие известными уже после принятия данной теории и оказавшиеся в противоречии с ней.

1.2.2. Методы научного познания

Метод это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Современная наука основывается на определенной **методологии** – совокупности используемых методов и учений о методе.

Самая простая классификация позволяет разбить методы научного познания на следующие группы. Во-первых, это методы, применяемые в разных отраслях науки, во-вторых, это методы, применяемые не только в науке, но и в других отраслях человеческой деятельности, и, в-третьих, это методы, специфические для отдельных разделов науки.

Кроме того, научные методы как таковые можно разделить на методы, используемые на эмпирическом и теоретическом уровнях исследования.

Эмпирические методы:

1. **Наблюдение** – целенаправленное восприятие явлений объективной действительности;
2. **Описание** – фиксация средствами естественного или искусственного языка сведений об объектах;
3. **Измерение** – сравнение измеряемой величины с эталоном, единицей измерения;
4. **Эксперимент** – наблюдение в специально создаваемых и контролируемых условиях. Он позволяет восстановить ход явления при повторении условий.

Научные **методы теоретического уровня** следующие:

1. **Формализация** – построение абстрактно-математических моделей, раскрывающих сущность изучаемых процессов действительности;
2. **Аксиоматизация** – построение теорий на основе аксиом (утверждений, доказательство истинности которых не требуется);

3. **Гипотетико-дедуктивный метод** – создание систем, дедуктивно-связанных между собой гипотез, из которых выводятся утверждения об эмпирических фактах.

Третий способ классификации методов – разделение методов научного познания на всеобщие, общенаучные и конкретно-научные методы.

Среди **всеобщих методов**, применяемых во всех областях человеческого знания, можно выделить:

1) **анализ** – расчленение целостного предмета на составные части с целью их всестороннего изучения;

2) **синтез** – соединение ранее выделенных частей предмета в единое целое;

3) **абстрагирование** – отвлечение от ряда несущественных для данного исследования свойств и отношений изучаемого явления с одновременным выделением интересующих свойств и отношений;

4) **обобщение** – прием мышления, в результате которого устанавливаются общие свойства и признаки объектов;

5) **индукция** – метод исследования и способ рассуждения, когда общий вывод строится на основе частных посылок;

6) **дедукция** – способ рассуждения, посредством которого из общих посылок следует заключение частного характера;

7) **аналогия** – прием познания, при котором на основе сходства объектов в одних признаках выводят заключение частного характера;

8) **моделирование** – изучение объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (модели) замещающей оригинал с определенных сторон, интересующих исследователя;

9) **классификация** – разделение всех изучаемых предметов на отдельные группы в соответствии с каким-либо важным для исследователя признаком.

Конкретно-научные методы – специфические методы, используемые в отдельных областях науки.

В завершении параграфа опишем основные особенности методов научного познания, которые используются в современном естествознании.

В конце XVII-XVIII вв. сначала физика в исследованиях И. Ньютона, затем химия в трудах А.Л. Лавуазье встали на путь количественного исследования, затем тоже произошло и с другими естественнонаучными дисциплинами. Применение математики, столь же характерно для современного естествознания как применение экспериментальных методов. Логическая стройность, строго дедуктивный характер построений, общеобязательность выводов математики, сделали ее прекрасной опорой для естествознания. Достоинства математизации естествознания чрезвычайно многообразны. Во-первых, во многих случаях математика играет роль универсального языка естествознания, прекрасно подходящего для лаконичной и точной фиксации различных положений. Во-вторых, математика может служить источником моделей, алгоритмических схем для связей, отношений и процессов, составляющих предмет естествознания. Разумеется, любая математическая модель это своего рода упрощение, но упрощение в данном случае не тождественно огрублению, это скорее выявление сущностных особенностей объекта. Поскольку в математических формулах и уравнениях воспроизведены некие общие связи и отношения реального мира, они могут повторяться в разных его областях. На этом построен метод естественнонаучного исследования, который называют **математической гипотезой**. В ней не осуществляют математическое описание природных объектов, а пытаются готовой математической модели подобрать соответствие в природе. Часто исходная математическая формула в данной области знаний заимствуется из смежной области, затем проверяют, совпадают ли рассчитанные и реальные поведения объекта. Разумеется, применимость этого метода ограничена теми дисциплинами, которые уже накопили достаточно богатый математический арсенал. В целом значение математики в современном естествознании невозможно переоценить, сейчас ни одна теоретическая интерпретация не считается полностью

завешенной, если не удается создать математическую модель изучаемого явления. Однако не следует думать, что все естествознание может быть сведено к математике, построение формальных систем, моделей, алгоритмических схем, это только метод, одна из сторон научного поиска.

В середине XX в. происходил активный поиск новых научных методов, которые имели бы общий смысл. В методологии науки сложилось утверждение о том, что развитие научного познания исходит из сложности подходов к исследованиям и обоснований последующих методов научного познания. Современная философия развивает теорию познания мира, базируясь на содержательном и качественном познании сущностей вещей, в то время как математика развивает теорию познания с помощью изучения абстрактных (формальных) и количественных характеристик отношений между вещами. В большинстве естественных наук философия задает методологию, а математика методику исследования.

В современных исследованиях синтез философских и математических подходов осуществляется в рамках **системно-структурного подхода, кибернетики** и **информационно-проблемного подхода.**

Язык системно-структурного подхода базируется на семи основных понятиях:

1. **Система** – это совокупность взаимосвязанных элементов.
2. **Элемент** – это наименьшая (далее неделимая) часть системы.
3. **Подсистема** – это часть системы, включающая два и более элементов.
4. **Надсистема** – это окружающая систему среда.
5. **Связь** – это любое отношение между элементами системы, подсистемами и системами.
6. **Структура** – это соподчиненность элементов и подсистем.
7. **Субстрат** – это недифференцированная (неразделенная) часть системы.

С помощью перечисленных понятий можно достаточно подробно охарактеризовать изучаемые объекты, а главное – установить общие принципы существования и изменения объектов. Согласно системно-структурному подходу любой изучаемый естествознанием объект должен быть представлен в качестве системы. Для этого необходимо определить элементы данной системы, установить связи между ними, определить распределение элементов по подсистемам, установить структуру системы, ее надсистему и субстрат.

Системный подход идеально подходит для анализа объекта и его аналитического синтеза. Однако он мало помогает в выявлении динамики объекта и трансформации его структуры и внешних связей. Поэтому в настоящее время системный подход дополняется кибернетикой, о которой будет рассказано в других главах.

Большое значение в современной науке также приобрели **статистические методы**, позволяющие определять средние значения, характеризующие всю совокупность изучаемых явлений или предметов. Применение статистического метода не позволяет ученым предсказывать поведение отдельного индивида в совокупности, можно лишь утверждать, что он будет вести себя определенным образом с определенной вероятностью. Статистические законы применяются только к большим совокупностям.

Подумайте и ответьте:

1) Назовите основные элементы научного познания?
2) В чем состоит отличие эмпирического и теоретического уровней научного исследования?
3) Опишите структуру процесса научного познания?
4) Какие классификации методов научного познания Вы знаете?
5) Опишите важность математики и статистических методов для исследования природных процессов?
6) Опишите суть системно-структурного подхода к изучению природных явлений?

§ 1.3. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Границ научному познанию и предсказанию предвидеть невозможно.

Дмитрий Иванович Менделеев

Предметом изучения современного естествознания являются процессы возникновения и трансформации живой и неживой природы во Вселенной. Главная задача современного естествознания – стремление понять многообразные изменения и превращения живой и неживой природы, познание законов природы. В системе наук естествознание выполняет функцию изучения процессов трансформации природы. Поскольку данное изучение проводится в интересах развития общества и техносферы, между естествознанием, общественными и техническими науками устанавливаются теснейшие взаимосвязи и взаимовлияние. Нарушение баланса между ними приводит к появлению неразрешимых научных проблем и отставанию в развитии общества.

Современная наука и естествознание опираются на определенную методологию, т.е. совокупность используемых методов и учений о методе. Единство предметов и методов познания обосновал еще немецкий философ Г. Гегель. Характерной особенностью современного естествознания является также то, что методы исследования все в большей степени влияют на его результат. Наука строится из наблюдений, экспериментов, гипотез, теорий и аргументации. Наука в содержательном плане – это совокупность эмпирических обобщений и теорий, подтверждаемых наблюдением и экспериментом. Причем творческий процесс создания теорий и аргументации в их поддержку играет не меньшую роль, чем наблюдение и эксперимент.

Рассмотрим структуру естествознания, основным объектом изучения которого является природа.

Для начала проведем классификацию объектов природы:

1) деление природы на живую и неживую;

2) деление природы на:

- мегамир (Вселенная),
- макромир (объекты, соразмерные человеку),
- микромир (объекты значительно меньшие, чем человек).

Исходя из такого деления объектов, получаем две группы естественных наук:

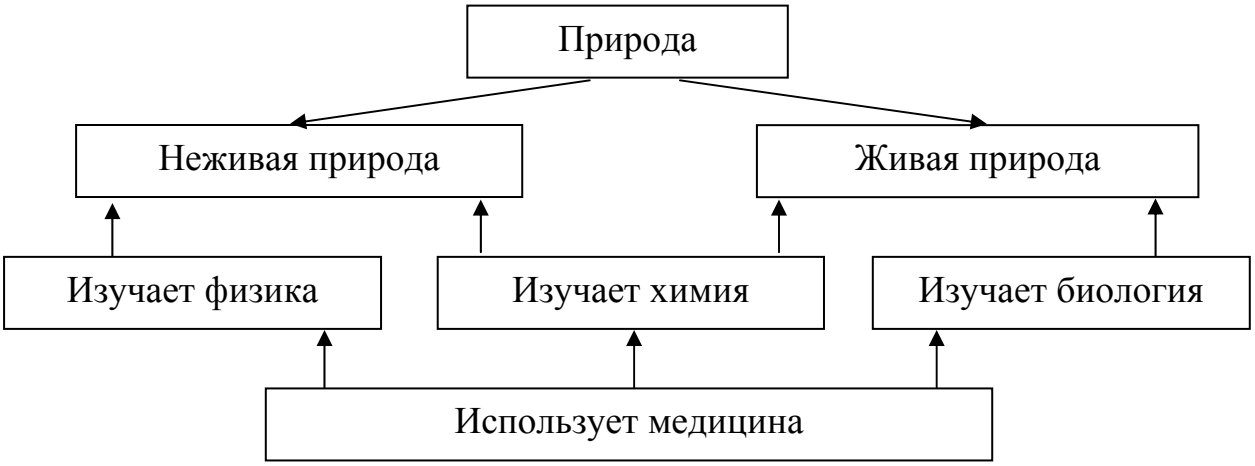
- отраслевые естественные науки или отраслевое естествознание;
- системные естественные науки или системное естествознание.

Отраслевые естественные науки показаны в столбцах, системные в строках табл. 1.1. Причем главные отраслевые естественные науки – физика, химия и биология изучают природу: физика – неживую природу, химия – живую природу (биоорганическая химия) и неживую природу (неорганическая химия), биология – живую природу.

Табл. 1.1. Структура естественных наук.

Отраслевые / Системные	Физика	Химия	Биология	Экология
Космология	Астрофизика	Астрохимия	Космическая биология	
Науки о Земле (геология)	Геофизика	Геохимия	Биогеография	
Науки о микромире	Атомная физика	Молекулярная химия	Молекулярная биология	
Науки о человеке	Медицина			

Условно связи между отраслевыми и системными естественными науками можно представить в виде следующей диаграммы:



Естествознание – раздел науки, основанный на воспроизводимой эмпирической проверке гипотез и создании теорий или эмпирических обобщений, описывающих природные явления. Основной принцип данной научной отрасли заключается в том, что знания о природе должны допускать эмпирическую проверку, т.е. в конечном итоге главным аргументом принятия естественнонаучной теории считается опыт.

Предметом изучения современного естествознания является окружающая действительность во всем многообразии ее проявлений.

Подумайте и ответьте:

1) Что составляет предмет естествознания?
2) Опишите классификации объектов природы.
3) Какие группы естественных наук Вы знаете.
4) Почему естествознание можно представить в виде интегрированной области человеческого знания?

ГЛАВА 2

§ 2.1. ПРИНЦИПЫ СИММЕТРИИ, ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Понятие «**симметрия**» пронизывает всю многовековую историю человеческого творчества. Люди сталкивались с симметрией в природе, начиная с истоков возникновения человеческого знания. Принципы симметрии играют важную роль в физике и математике, химии и биологии, технике и архитектуре, живописи и скульптуре, поэзии и музыке. Законы природы, в свою очередь, подчиняются принципам симметрии. Слово «симметрия» (греч. «συμμετρία») имеет греческое происхождение и означает «соразмерность». В повседневном языке под симметрией чаще всего понимают упорядоченность, гармонию, устойчивость, соразмерность и пропорциональность между отдельными частями целого. Гармоничная согласованность частей и целого является главным источником эстетической ценности симметрии. Симметричные мозаики, фрески, архитектурные ансамбли будят в людях чувство прекрасного. Именно своей гармоничностью музыкальные и поэтические произведения вызывают восхищение. Таким образом, в бытовом понимании можно говорить о принадлежности симметрии к категории прекрасного. В противоположность этому, понятие асимметрии может рассматриваться как нарушение порядка, равновесия, устойчивости, пропорциональности и соразмерности между частями целого, что является поставщиком развития, эволюции и образования нового.

Научное определение симметрии принадлежит крупному немецкому математику Герману Вейлю (1885-1955 гг.), который в своей книге «Симметрия» проанализировал переход от простого чувственного восприятия симметрии к ее научному пониманию. Согласно Вейлю, **под симметрией следует понимать инвариантность – неизменность какого-либо объекта при преобразованиях определенного рода.** Можно сказать, что

симметрия есть совокупность инвариантных свойств объекта. Например, кристалл может совмещаться с самим собой при определенных поворотах, отражениях, смещениях. Многие животные обладают приближенной зеркальной симметрией при отражении левой половины тела в правую и наоборот. Однако подчиняться законам симметрии может не только материальный, но и, к примеру, математический объект. Можно говорить об инвариантности функции, уравнения, оператора при тех или иных преобразованиях системы координат. Это в свою очередь позволяет применять понятие симметрии к законам физики. Так, симметрия входит в математику и физику, где она служит своеобразным источником красоты и изящества.

Выделяют две группы симметрий: **геометрические (внешние, пространственно-временные)** и **динамические (внутренние)**. К первой группе относятся симметрии положений, форм, структур, которые можно непосредственно наблюдать. Вторая группа характеризует свойства физических взаимодействий, а также симметрию физических явлений и законов природы. Эта группа симметрий лежит в самой основе естественнонаучной картины мира: их объединяют единым термином «**динамическая симметрия**» (перестановочная, калибровочная, унитарная и др.).

Простейшим примером природной симметрии является симметрия, характерная для кристаллов. Повторимся, что симметрия кристаллов выражается в их свойстве совмещаться с собой в различных положениях путём поворотов, отражений, параллельных переносов либо путем комбинации этих операций. Симметрия внешней формы (огранки) кристалла определяется симметрией его атомного строения, которая обусловливает также и симметрию физических свойств кристалла. Его характерной особенностью является периодичность внутренней структуры. Идеальный кристалл можно получить путем регулярного повторения примитивной ячейки в трех направлениях без изменения ориентации. В отношении макроскопических физических свойств (оптических, электрических,

механических и др.), кристаллы ведут себя как однородная анизотропная среда, т. е. дискретность их атомной структуры не проявляется. **Однородность означает, что свойства одинаковы в любой точке кристалла, однако при этом многие свойства зависят от направления (анизотропия).**

2.1.1. Симметрия в физике

Принципы симметрии играют очень важную роль в современной физике. С их помощью обоснованы старые и предсказаны новые законы сохранения, облегчается решение многих фундаментальных и прикладных задач и, что особенно важно, удается добиться успехов на пути объединения основных фундаментальных взаимодействий. Было обнаружено, что существует глубокая связь между симметрией и законами сохранения. **Если законы, устанавливающие соотношения между величинами, характеризующими физическую систему, или определяющие изменение этих величин со временем, не меняются при определенных операциях (преобразованиях), которым может быть подвергнута система, то говорят, что эти законы обладают симметрией (инвариантны) относительно данных преобразований.**

С пространственной симметрией связаны два закона сохранения физических величин. Еще Г. Гамель и Э. Нетер показали, что трансляционная симметрия (симметрия переноса, сдвига) пространства приводит для замкнутой системы к закону сохранения полного импульса, а вращательная симметрия (симметрия поворота) – к закону сохранения полного момента импульса. В свою очередь трансляционная симметрия связана с таким свойством пространства, как однородность. **Однородность пространства означает, что все точки пространства равноправны, поэтому любой рассматриваемый эксперимент не зависит от выбора точки отсчета.** Симметрия физических законов относительно сдвигов в пространстве означает эквивалентность всех точек пространства, т.е.

отсутствие в пространстве каких-либо выделенных точек (однородность пространства). Вращательная симметрия обусловлена изотропностью пространства**. Изотропность пространства означает, что все направления равноправны или пространство называется изотропным, если поворот системы отсчета на произвольный угол не приводит к изменению результатов измерений.** Симметрия физических законов относительно поворота системы как целого в пространстве означает эквивалентность всех направлений в пространстве (изотропия пространства). Таким образом, закон сохранения импульса вытекает из однородности пространства, а закон сохранения момента импульса – из изотропности пространства.

С инвариантностью уравнений механики относительно сдвигов во времени связан закон сохранения энергии. Выполнение этого закона сохранения обеспечивается таким свойством времени, как однородность. **Однородность времени, как и однородность пространства, означает, эквивалентность всех точек во времени и равноправность выбора любой из них в качестве начала отсчёта.** Симметрия физических законов относительно изменения начала отсчета времени (сдвига во времени) означает, что физические законы не меняются со временем. Закон сохранения энергии является следствием симметрии относительно обращения времени.

Сформулированы законы сохранения и для ряда других физических величин, которые связаны с динамической симметрией. Например, из калибровочной инвариантности уравнений электродинамики вытекает закон сохранения электрического заряда. Некоторые из этих законов сохранения выполняются для всех взаимодействий, другие – только для определенного вида взаимодействий. К первым можно отнести закон сохранения барионного заряда (применимость которого ко всем взаимодействиям, впрочем, подвергается сомнению). Ко вторым относятся, например, законы сохранения странности, изоспина, которые строго выполняются для процессов с сильным

взаимодействием, но нарушаются для процессов со слабым взаимодействием.

В начале XX века было установлено, что каждому виду симметрии отвечает свой закон сохранения. Это утверждение на сегодняшний день носит название «**теорема Нётер**». Теорема установлена в работах учёных гёттингенской школы Д. Гильберта, Ф. Клейна и Э. Нётер. В наиболее распространенной формулировке была доказана Эмми Нётер в 1918 г.

Принципы симметрии выражаются в свойствах инвариантности законов природы в целом, т.е. распространяются не только на физические законы, но и другие, например, химические, биологические. Примером биологического закона сохранения может служить закон наследования. В основе его лежат инвариантность биологических свойств по отношению к переходу от одного поколения к другому.

2.1.2. Симметрия в химии

Симметрия в химии проявляется в геометрической конфигурации молекул, что сказывается на специфике физических и химических свойств молекул в изолированном состоянии, во внешнем поле и при взаимодействии с другими атомами и молекулами.

Большинство простых молекул обладает элементами пространственной симметрии равновесной конфигурации: осями симметрии, плоскостями симметрии и т. д. Так, молекула аммиака NH_3 обладает симметрией правильной треугольной пирамиды, молекула метана CH_4 – симметрией тетраэдра. У сложных молекул симметрия равновесной конфигурации в целом, как правило, отсутствует, однако приближённо сохраняется симметрия отдельных её фрагментов (локальная симметрия).

Представления о симметрии имеют большое значение при теоретическом анализе строения комплексных соединений, их

свойств и поведения в различных реакциях. В 1965 г. Р. Вудворд и Р. Хоффман выдвинули принцип сохранения орбитальной симметрии при химических реакциях, подтвержденный впоследствии обширным экспериментальным материалом и оказавший большое влияние на развитие препаративной органической химии. Этот принцип (правило Вудворда – Хоффмана) утверждает, что отдельные элементарные акты химических реакций проходят с сохранением симметрии молекулярных орбиталей или орбитальной симметрии. Чем больше нарушается симметрия орбиталей при элементарном акте, тем труднее проходит реакция.

Учёт симметрии молекул важен при поиске и отборе веществ, используемых при создании химических лазеров и молекулярных выпрямителей, при построении моделей органических сверхпроводников, при анализе канцерогенных и фармакологически активных веществ и т. д.

2.1.3. Симметрия в живой природе

Наглядно и многообразно проявление симметрии в живой природе. В самых разнообразных объектах живой природы наблюдается такие виды симметрии, как повороты, переносы, отражения и их комбинации. Под **поворотами** понимают обычные повороты вокруг оси на 360°, в результате которых равные части симметричной фигуры обмениваются местами, а фигура совмещается с собой. Ось, вокруг которой происходит поворот, называется простой осью симметрии (п). Это название не случайное, так как в теории симметрии различают еще и сложные оси различного рода. Число совмещений фигуры с самой собой при одном полном обороте вокруг оси (п) называется порядком оси. На рис. 2.1 изображены объекты, которые имеют лишь одну простую ось симметрии того или иного порядка. Такой вид симметрии называется **осевой** или **аксиальной**.

Под **отражениями** понимают любые зеркальные отражения – в точке, линии, плоскости. Каждая из изображенных на рис. 2.2 фигур – рак, бабочка, лист растения – обладает лишь одной плоскостью симметрии, делящей ее на две зеркально равные части. Поэтому данный вид симметрии в биологии называется **двусторонней** или **билатеральной**. Любопытно, что двусторонняя симметрия в неживой природе не имеет преобладающего значения, но зато чрезвычайно богато представлена в живой природе. Она характерна для внешнего строения тела человека, млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных, рыб, многих моллюсков, ракообразных, насекомых, червей, а также многих растений, например цветков львиного зева.

На рис. 2.3 изображены тела, обладающие уже не одной, а четырьмя плоскостями симметрии, пересекающимися на оси четвертого порядка. В биологии такая симметрия называется **радиальной** (из-за целого веера пересекающихся на оси плоскостей). Билатеральная симметрия является частным случаем радиальной.

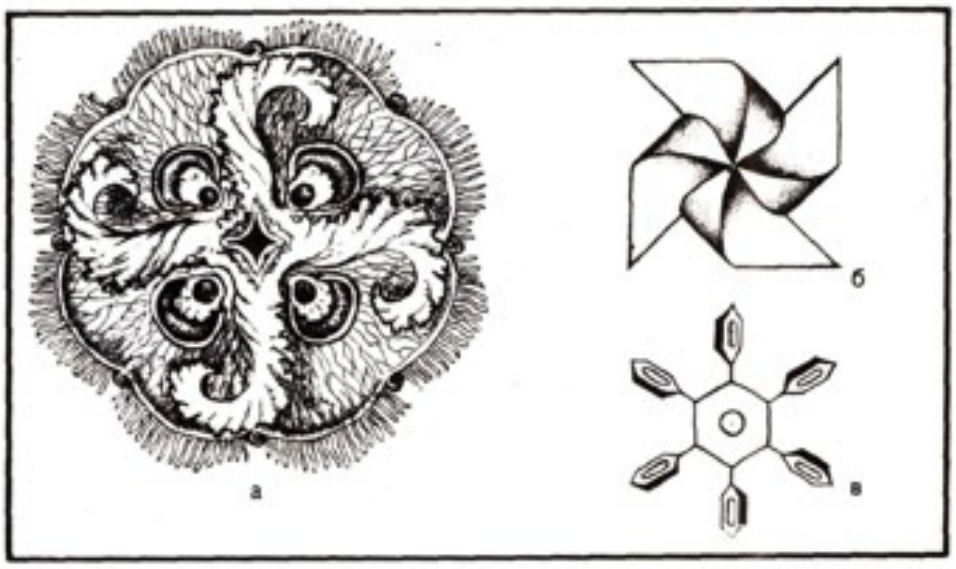


Рис. 2.1. *Аксиальная симметрия: а – медуза аурелия инсулинда, б – детская вертушка, в – молекула химического соединения. При повороте этих фигур на 360° равные части фигур совпадут друг с другом соответственно 4, 4, 6 раз.*

Переносы – это перемещения вдоль прямой *AB* на расстояние *a*. Такая операция применима лишь для объектов, вытянутых в одном

особенном направлении *AB*. Телам, не вытянутым бесконечно ни в одном особенном направлении (типа изображенных на рис. 2.1 – 2.4), присуща **нульмерная симметрия**; телам, вытянутым в одном особенном направлении, – **одномерная** симметрия, в двух – **двумерная** симметрия, в трех – **трехмерная** симметрия.

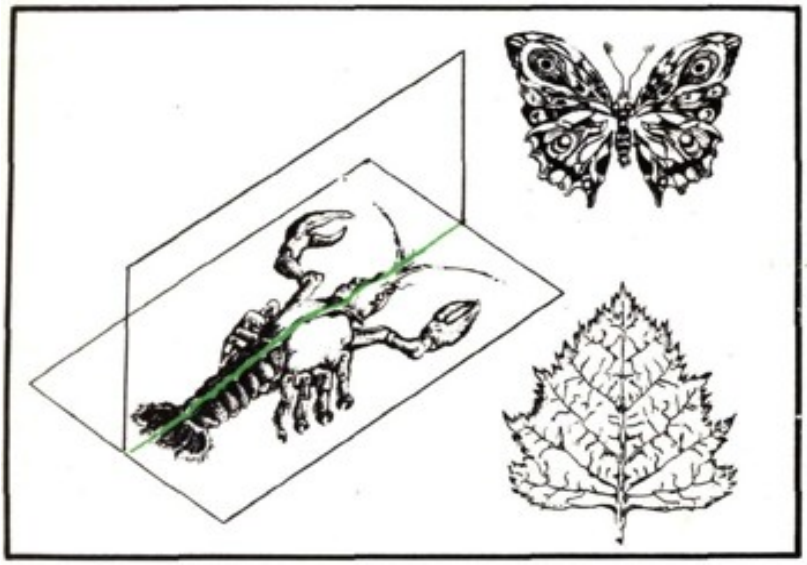


Рис. 2.2. *Двусторонняя или билатеральная симметрия. Через середины фигур – рака, бабочки, листа растения – проходит плоскость симметрии, делящая каждую из фигур на две зеркальные половины.*

Нульмерная симметрия, как уже говорилось, присуща телам, бесконечно не вытянутым ни в одном особенном направлении. Такова симметрия отдельного атома углерода *C*, листа растения, моллюска, человека, молекулы углекислого газа CO_2, воды H_2O, Земли, Солнечной системы. Сюда же относятся некоторые исключительно симметричные примитивные организмы (рис. 2.4).

Одномерная симметрия присуща наиболее важным для обмена веществ полимерным цепным молекулам белков, нуклеиновых кислот, целлюлозы, крахмала; вирусам табачной мозаики, побегам традесканции, отрезкам тела полихет и многим другим животных (рис. 2.5). Наконец заметим, что симметрия молекулы ДНК, вируса табачной мозаики обусловлена переносом + поворотом. Поэтому их симметрия и содержит винтовую ось соответствующего вида.

Симметрия же побега традесканции обусловлена переносом + отражением.

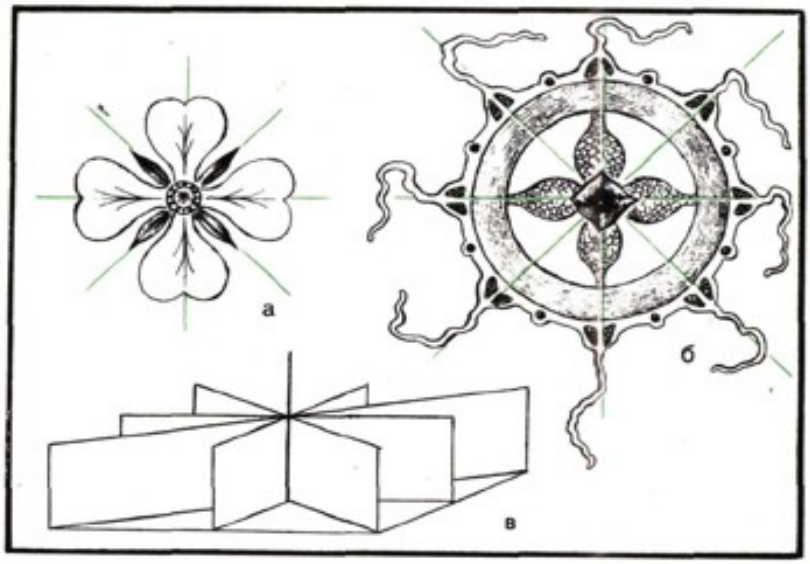


Рис. 2.3. *Радиальная симметрия: а – цветок растения, б – гидромедуза клиция, в – схема четырех плоскостей симметрии, проходящих через фигуры а и б. Указанные объекты имеют одну ось симметрии четвертого порядка и четыре пересекающиеся плоскости отражения.*

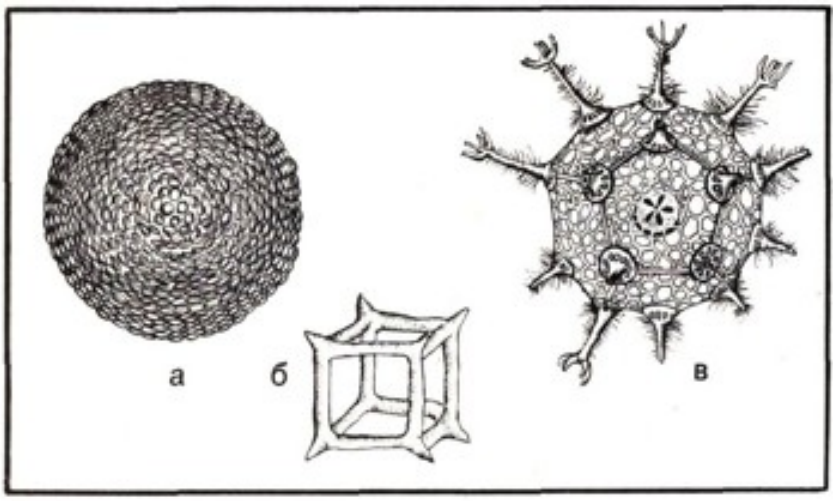


Рис. 2.4. *Совершенные нульмерно-симметричные примитивные организмы – радиолярии: а – шарообразная, содержащая бесконечное число осей бесконечного порядка + бесконечное число плоскостей симметрии + центр симметрии, б – кубическая, характеризующаяся симметрией куба, исчерпываемой 3 осями четвертого порядка + 4 осями третьего порядка + 6 осями второго порядка + 9 плоскостями + центром симметрии, в – додекаэдрическая, характеризующаяся симметрией правильных многогранников – додекаэдра и икосаэдра, исчерпываемой 6 осями пятого*

порядка + 10 осями третьего порядка +15 осями второго порядка + 15 плоскостями + центром симметрии.

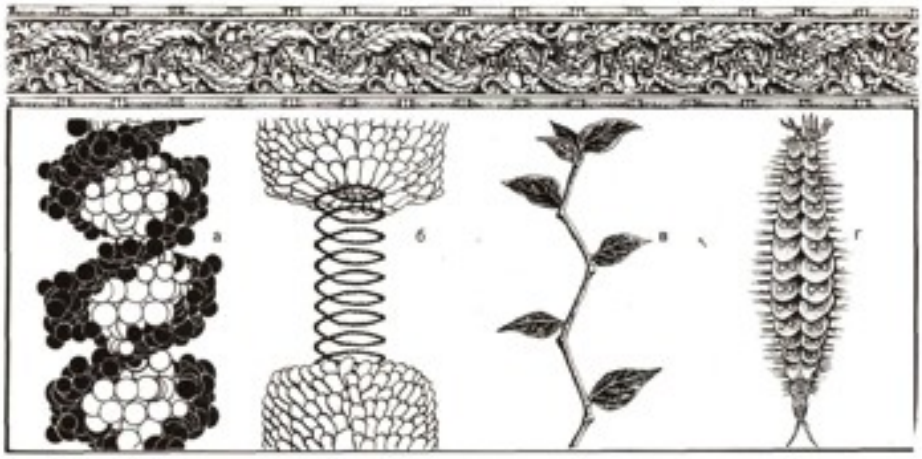


Рис. 2.5. *Одномерная симметрия: а – модель молекулы ДНК, б – модель вируса табачной мозаики, в – побег традесканции, г – полихета, наверху – бордюр.*

Двумерной симметрией обладают плоские орнаменты граней кристаллов ферментов, чешуи рыб, клеток в биологических срезах, мозаичного взаиморасположения листьев, «электронных картин» поперечного среза мышечной фибриллы, однородных сообществ организмов, складчатых слоев полипептидных цепей (рис. 2.6).

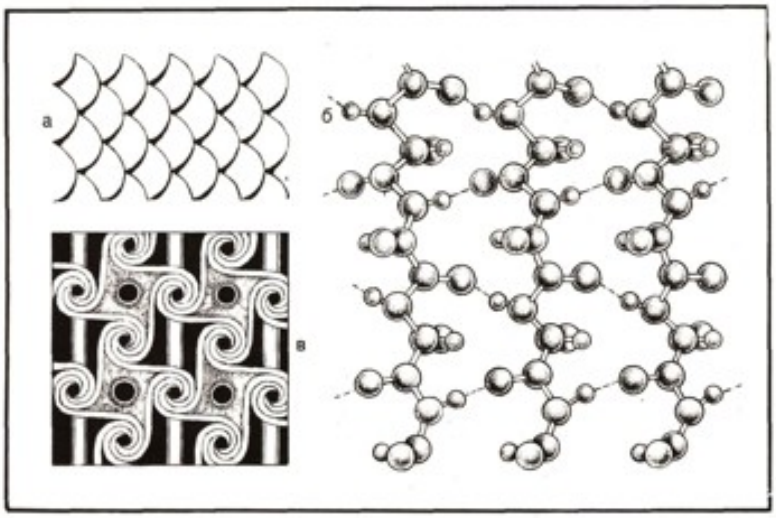


Рис. 2.6. *Двумерная симметрия (плоские орнаменты): а – чешуя рыб, б – складчатый слой полипептидных цепей, в – египетский орнамент.*

Трехмерная симметрия присуща биологическим кристаллам, построенным «бесконечным» повторением одних и тех же кристаллических ячеек – в длину, ширину и высоту (рис. 2.7).

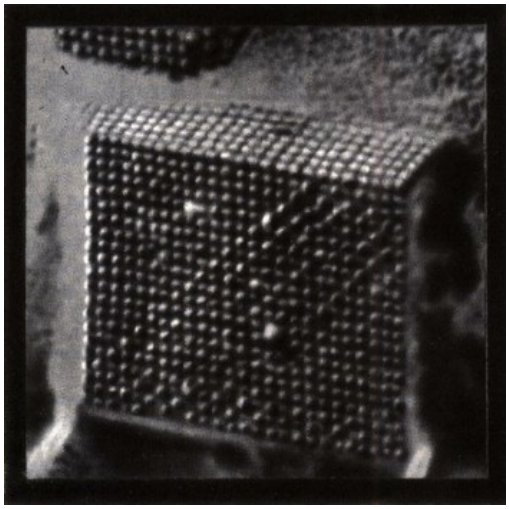


Рис. 2.7. *Трехмерная симметрия. Небольшой кристалл белка вируса некроза табака в электронном микроскопе (увеличение в 73 тыс. раз). Ясно видны аккуратно уложенные по трем различным направлениям молекулы белка.*

2.1.4. Биосимметрика

Объекты, симметрия которых исчерпывается лишь простыми (круговыми), или/и переносными (трансляционными), или/и винтовыми осями симметрии, называются **диссимметрическими**, т. е. расстроенной симметрии. К таким объектам относятся и тела аксиальной симметрии. От всех остальных объектов диссимметрические отличаются, в частности, очень своеобразным отношением к зеркальному отражению. Если тело речного рака (рис. 2.2) после зеркального отражения совсем не изменяет своей формы, то аксиальный цветок анютиных глазок (рис. 2.8), асимметрическая винтовая раковина моллюска, кристалл кварца, асимметрическая молекула после зеркального отражения изменяют свою фигуру, приобретая ряд противоположных признаков. Так, винтовая раковина брюхоногого моллюска, расположенного перед зеркалом, закручена слева вверх направо, а зеркального – справа вверх налево и т. д.

Уже из приведенных примеров нетрудно заметить, что диссимметрические объекты могут существовать в двух разновидностях: в виде оригинала и зеркального отражения (руки человека, раковины моллюсков, венчики анютиных глазок, кристаллы кварца). При этом одна из форм (неважно какая) называется правой – П, а другая левой – Л. Здесь очень важно уяснить себе, что правыми и левыми называются не только руки или ноги человека, но и любые диссимметрические тела – винты с правой и левой резьбой, организмы, неживые тела.

Обнаружение и в живой природе П- и Л-форм поставило перед биологией ряд новых и очень важных вопросов, многие из которых сейчас решаются сложными математическими и физико-химическими методами.

Первый – это вопрос о закономерностях формы и строения П- и Л-биологических объектов (биообъектов). Самое главное достижение здесь – создание теории строения П- и Л-биообъектов. На ее основе было предсказано много совершенно новых типов и классов изомерии, предсказана и открыта советскими учеными биологическая изомерия. **Изомерия – это множество объектов различного строения, но при одном и том же наборе составляющих эти объекты частей.** На рис. 2.9 показана изомерия венчиков, предсказанная, а затем и обнаруженная на многих десятках тысяч экземпляров венчиков цветков около 60 видов растений. Здесь для каждого случая число лепестков одно и то же – 5, различно лишь их взаимное расположение.

Второй вопрос: как часто встречаются П- и Л-формы биообъектов? Найдено, что частота встречаемости этих форм (Е) подчиняется следующей общей для всей живой природы закономерности: либо ЕП = ЕЛ, либо ЕП > ЕЛ, либо ЕП < ЕЛ форм – соответственно для одних, других, третьих биообъектов. Например, ЕП форм листьев бегонии и традесканции равна ЕЛ их форм. Нарцисс, ячмень, рогоз и многие другие растения – правши: их листья встречаются только в П-винтовой форме.

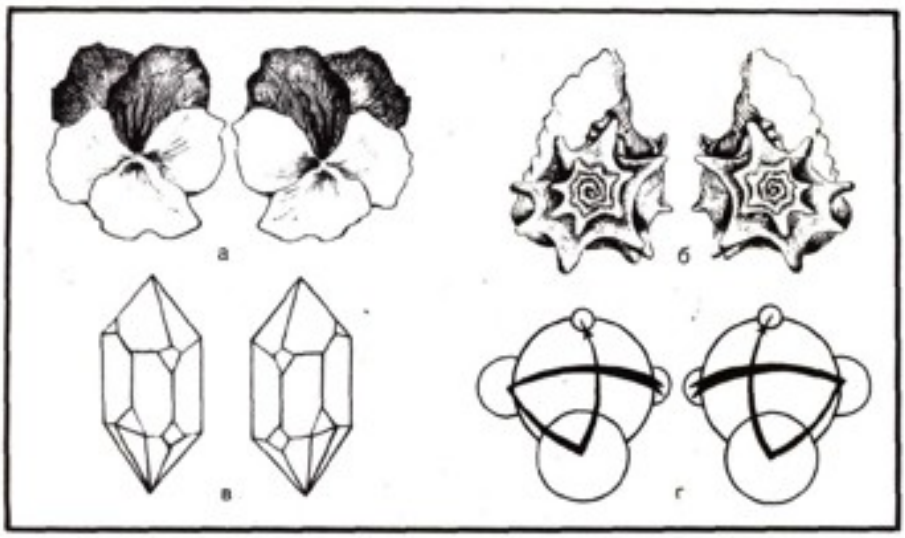


Рис. 2.8. *Диссимметрические объекты: а – цветки анютиных глазок, б – раковины моллюска, в – кристаллы кварца, г – модель асимметрической молекулы.*

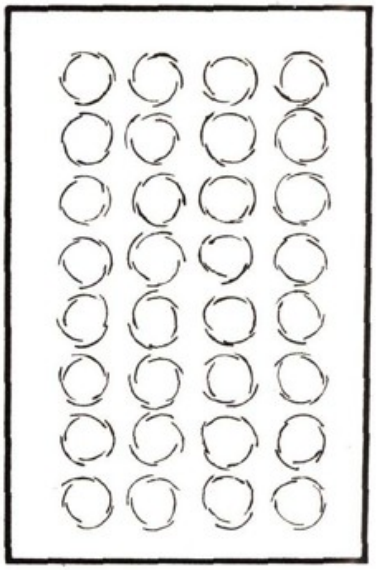


Рис. 2.9. *Изомерия венчиков цветков растений.*

Зато фасоль – левша, листья первого яруса до 2-3 раз чаще бывают Л-формы. Задняя часть тела волков и собак при беге несколько заносится вбок, поэтому их разделяют на право- и левобегающих. Птицы-левши складывают крылья так, что левое крыло накладывается на правое, а правши – наоборот. Некоторые голуби при полете предпочитают кружиться вправо, а другие – влево. За это голубей издавна в народе делят на «правухов» и «левухов». Раковина моллюска фрутицикола лантци встречается главным

образом в П-закрученной форме. Замечено, что при питании морковью преобладающие П-формы этого моллюска прекрасно растут, а их антиподы – Л-моллюски резко теряют в весе. Инфузория-туфелька из-за спирального расположения ресничек на ее теле передвигается в капельке воды, как и многие другие простейшие, по левозавивающемуся штопору. Инфузории, вбуравливающиеся в среду по правому штопору, встречаются редко.

Много интересных фактов может сообщить наука о симметрии и о человеке. Как известно, в среднем на земном шаре примерно 3% левшей и 97% правшей. Интересно отметить, что центры речи в головном мозгу у правшей расположены слева, а у левшей – справа (по другим данным – в обоих полушариях). Правая половина тела управляется левым, а левая – правым полушарием, и в большинстве случаев правая половина тела и левое полушарие развиты лучше. У людей, как известно, сердце на левой стороне, печень – на правой. Но на каждые 7—12 тыс. человек встречаются индивиды, у которых все или часть внутренних органов расположены зеркально, т. е. наоборот. Но самое важное в этой области открытие было сделано на молекулярно-химическом уровне. Знаменитый французский ученый Л. Пастер и многие другие ученые обнаружили, что клетки организмов состоят в основном только или преимущественно из Л-аминокислот, Л-белков, П-нуклеиновых кислот, П-сахаров, Л-алкалоидов. Такую особенность протоплазмы Л. Пастер назвал диссимметрией протоплазмы.

Третий вопрос – о свойствах П- и Л-форм. Основное достижение здесь – это открытие диссимметрии жизни. Оказывается, ряд свойств П- и Л-форм биообъектов качественно различаются. Вот некоторые примеры. Широкоизвестный антибиотик пенициллин вырабатывается грибком только в П-форме; искусственно приготовленная Л-форма его антибиотически неактивна. В аптеках продается антибиотик левомицетин, а не его антипод – правомицетин, так как последний по своим лечебным свойствам значительно уступает первому. В табаке содержится алкалоид Л-никотин. Он в несколько раз более ядовит,

чем искусственно приготовленный П-никотин. Чаще встречающиеся винтообразные Л-корнеплоды сахарной свеклы содержат на 0,5 – 1 % больше сахара, чем П-корнеплоды. Чаще встречающиеся (на 2 – 3%) левовинтовые по расположению листьев кокосовые пальмы более урожайны (в среднем на 12%), чем П-пальмы. Семена Л-растений подсолнечника более масличны (на 1,4%), чем семена П-растений. Коробочки льна, полученные с различных по изомерии венчиков цветков, различаются и количественно и качественно по содержанию жирных кислот.

Таковы лишь некоторые вопросы **биосимметрики – науки о симметрии и диссимметрии в живой природе**.

Подумайте и ответьте:

1) Каково повседневное и научное понимание симметрии? Какие группы симметрий Вы знаете?
2) Какими видами симметрии обладают пространство и время?
3) Сформулируйте теорему Нётер. С какими видами симметрии пространства и времени связаны законы сохранении: энергии, импульса, момента импульса?
4) Приведите примеры симметрии в физике, химии, биологии?
5) Опишите круг проблем, которые рассматриваются в биосимметрике.

§ 2.2. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

В обыденной жизни мы постоянно сталкиваемся с понятием пространства и времени, для нас это нечто привычное, известное и даже в какой-то мере очевидное. Однако современное научное понимание пространства и времени сложилось в итоге длительного исторического процесса познания, содержанием которого, в частности, была борьба двух противоположных взглядов на их сущность: **субстанциальной** (от лат. substantia – то, что лежит в

основе; сущность) и **реляционной** (от лат. relatio – отношение) концепций пространства и времени. Согласно первой концепции пространство и время трактовались как самостоятельные сущности, существующие наряду с материей и независимо от нее. Соответственно, отношение между пространством, временем и материей представлялось как отношение между двумя видами самостоятельных субстанций. Это вело к выводу о независимости свойств пространства и времени от характера протекающих в них материальных процессов. Сторонники второй концепции определяли пространство и время не как самостоятельные сущности, а как системы отношений, образуемых взаимодействующими материальными объектами. Вне этой системы взаимодействий пространство и время считались несуществующими. В этой концепции пространство и время выступали как общие формы координации материальных объектов и их состояний. Соответственно допускалась и зависимость свойств пространства и времени от характера взаимодействия материальных систем.

Прежде чем приступить к разговору об эволюции взглядов на отношение пространства и времени к материи следует рассмотреть основные свойства пространства и времени.

2.2.1. Свойства пространства и времени

Пространство и время хотя и являются в равной степени формами существования материи, однако между ними есть и различия. А поэтому они имеют ряд свойств, как общих, так и отличающих их друг от друга.

Общие свойства, характеризующие пространство и время, вытекают из их характеристик как основных, коренных форм существования материи. К свойствам пространства относятся:

- протяженность,
- однородность,
- изотропность,

- трехмерность.

Время обычно характеризуется такими свойствами, как:

- длительность,
- однородность,
- необратимость,
- одномерность.

Что касается таких свойств, как **длительность времени** и **протяженность пространства**, то их трудно называть свойствами, поскольку они совпадают с самой сущностью пространства и времени. Ведь протяженность и проявляется в способности тел существовать одно возле другого, а длительность в способности существовать одного после другого, что и выражает сущность пространства и времени как форм существования материи.

К наиболее характерным свойствам пространства относится его **трехмерность**. Положение любого объекта может быть определено с помощью трех независимых величин. Время **одномерно**, ибо для фиксации положения события во времени достаточно одной величины. Под заданием положения события, объекта в пространстве или времени имеется в виду определение его координат по отношению к другим событиям и объектам. Факт трехмерности реального физического пространства не противоречит существованию в науке понятия многомерного пространства с любым числом измерений. Понятие многомерного пространства является чисто математическим понятием, которое может быть использовано для описания взаимосвязи различного рода физических величин, характеризующих реальные процессы. Если же речь идет о фиксации события в реальном физическом пространстве, то при использовании любой системы координат трех измерений всегда будет достаточно. И хотя до сих пор вопрос об обосновании трехмерности пространства остается открытым, решение его должно лежать в установлении связи трехмерности с фундаментальными физическими процессами.

К специфическим свойствам пространства также относятся **однородность** и **изотропность**. **Однородность пространства,** как уже было сказано выше, означает отсутствие в нем каких-либо выделенных точек, а **изотропность** – равноправность всех возможных направлений. В отличие от пространства время обладает только свойством **однородности**, заключающимся в равноправии всех его моментов. Свойства однородности пространства и времени и изотропности пространства теснейшим образом связаны с фундаментальными физическими законами и, прежде всего, с законами сохранения. Они и лежат в основании самого принципа физической относительности.

Характерным специфическим свойством времени является его **необратимость**, которая проявляется в невозможности возврата в прошлое. Время течет от прошлого через настоящее к будущему и обратное течение его невозможно. Необратимость времени связана с необратимостью протекания фундаментальных материальных процессов. Некоторые философы усматривают связь необратимости времени с необратимостью термодинамических процессов и с действием закона возрастания энтропии. В физике микромира необратимость времени связывается с характером законов квантовой механики. Существуют также космологические подходы к обоснованию необратимости времени. Наиболее широкое распространение получила причинная концепция времени: ее сторонники считают, что при обратном течении времени причинно-следственная связь оказывалась бы нарушенной.

Специфично использование понятий времени и пространства в микромире, живой природе, в социальной действительности, в связи с чем, специально анализируются биологическое время, психологическое время, социальное пространство-время; вводятся и другие виды времени и пространства.

2.2.2. Субстанциальная концепция пространства и времени

Древнегреческие философы Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар и др. **пришли к пониманию пространства как пустоты исходя из своего атомистического учения.** Они считали, что для существования и движения атомов требуется пустота – некое вместилище, где атомы, сочетаясь различным образом в движении, образуют многообразие тел. С развитием классической физики идеи Демокрита о сущности пространства и времени были развиты в трудах Бруно, Галилея, Декарта и др. Особенно большой вклад в этом отношении был сделан Ньютоном. Ньютон выделял **абсолютные (истинные)** и **относительные (кажущиеся) пространство** и **время.** Он писал: «Абсолютное пространство, в силу своей природы, безотносительно к чему-нибудь внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным. Относительное пространство представляет собой некоторое подвижное измерение или меру абсолютных пространств; его мы определяем с помощью своих чувств через взаимное расположение тел, его вульгарно и истолковывают как неподвижное пространство...». «Абсолютное истинное или математическое время, – писал Ньютон, – само по себе и в силу своей внутренней природы течет одинаково, безотносительно к чему-либо внешнему и иначе зовется длительностью; относительное, кажущееся или обычное время представляет собой некоторого рода чувственную, или внешнюю (каким бы оно ни было точным и несравнимым), меру длительности, определяемую с помощью движения, которое обычно используется вместо истинного времени; это – час, день, месяц, год...»

Таким образом, абсолютное время и абсолютное пространство по Ньютону представляют собой как бы вместилища материальных тел и процессов и не зависят не только от этих тел и процессов, но и друг от друга. Ньютоновские представления о пространстве и времени удовлетворяли потребностям классической физики, так как была найдена универсальная система отсчета, относительно которой

совершалось любое механическое движение – это и есть абсолютное пространство.

2.2.3. Релятивистская концепция пространства и времени

Итак, в XVII-XIX вв. господствовало мнение, что вещество и пустое пространство (пустота) представляют собой два фундаментально различающихся понятия, на которых и был построен атомизм Демокрита и механистическая картина Ньютона. Теперь рассмотрим противоположную концепцию. Еще Аристотель, выступал против демокритской идеи атомистического строения мира, т.е. против пустого пространства, заполненного атомами. Он утверждал, что пространство сплошь заполнено и что природа «боится пустоты». С точки зрения Аристотеля, **пространство представляет собой совокупность мест занимаемых телами.** Иными словами, пространство – это порядок взаимного расположения множества различных тел, а время – порядок сменяющих друг друга явлений и состояний тел, т.е. время связывалось с движением, изменением тел. Дальнейшее развитие релятивистская концепция получила в трудах Лейбница, Гюйгенса, Дидро и др. Согласно Лейбницу, пространство и время не могут существовать вне материи и процессов, происходящих в ней. Лейбниц критиковал ньютоновские представления об абсолютности пространства и времени, считая, что бытие вне времени есть такая же величайшая бессмыслица, как бытие вне пространства, пространство и время без материи – пустые представления, абстракции, существующие только в нашей голове.

Дальнейшее отражение релятивистские взгляды на пространство и время находят в знаменитых работах А. Эйнштейна по специальной теории относительности (СТО, 1905 г.) и общей теории относительности (ОТО, 1916 г.). СТО показала, что многие пространственно-временные свойства, считавшиеся до сих пор неизменными, абсолютными, фактически являются относительными.

Так, в СТО утратили свой абсолютный характер такие пространственно-временные характеристики, как длина, временной интервал, понятие одновременности. Все эти характеристики оказались зависящими от взаимного движения материальных объектов. В ОТО было установлено, что геометрические свойства пространства-времени зависят от распределения в них гравитационных масс. Вблизи тяжелых объектов геометрические свойства пространства начинают отклоняться от эвклидовых, а темп течения времени замедляется.

Экспериментальной предпосылкой для создания Эйнштейном СТО послужили результаты известного опыта американского учёного А. Майкельсона (1881 г.), в котором была произведена неудачная попытка доказать существование мирового эфира. В античные времена эфир понимался как «заполнитель пустоты». **Эфир** – некоторая универсальная всепроникающая среда, которая в науке XIX в. считалась переносчиком электромагнитных взаимодействий. На представления об эфире как переносчике электромагнитных взаимодействий в это время опиралась вся электродинамика и оптика.

Непосредственно гипотеза светоносного эфира была выдвинута в 1618 г. французским философом, физиком и математиком Р. Декартом. В рамках этой гипотезы эфир выступал в качестве механической среды, подобной упругому телу. Соответственно, распространение световых волн уподоблялось распространению звука в упругой среде. Гипотеза механического эфира встретилась с большими трудностями. Так, свойства световых волн требовали от эфира обладания свойствами абсолютно твердого тела, тогда как наблюдалось полное отсутствие сопротивления эфира движению небесных тел. В течение долгого времени поколения математиков и физиков пытались внести свой вклад в решение проблемы эфира. В результате попыток построить модель эфира была, например, тщательнейшим образом разработана механика сплошных сред и ее аппарат, однако адекватную модель эфира построить, так и не удалось. Проблема эфира приобрела фундаментальный характер,

поскольку эта среда заняла в физике чрезвычайно важное место. Оказывалось, что физика покоится на зыбких основаниях. Они были пересмотрены в процессе создания теории относительности.

2.2.4. Опыт Майкельсона-Морли

В 1887 г. американские учёные А. Майкельсон и Г. Морли провели повторный эксперимент по обнаружению эфирного ветра, призванный раз и навсегда доказать скептикам, что светоносный эфир реально существует, наполняет Вселенную и служит средой, в которой распространяются свет и прочие электромагнитные волны. Майкельсон обладал непререкаемым авторитетом как конструктор оптических приборов, а Морли славился как неутомимый и непогрешимый физик-экспериментатор.

Майкельсон и Морли использовали интерферометр (рис. 2.10) – оптический измерительный прибор, в котором луч света расщепляется надвое полупрозрачным зеркалом (стеклянная пластина посеребрена с одной стороны ровно настолько, чтобы частично пропускать поступающие на нее световые лучи, а частично отражать их; аналогичная технология сегодня используется в зеркальных фотоаппаратах). В итоге луч расщепляется и два получившихся когерентных луча расходятся под прямым углом друг к другу, после чего отражаются от двух равноудаленных от полупрозрачного зеркала зеркал-отражателей и возвращаются на полупрозрачное зеркало. Результирующий пучок света позволяет наблюдать интерференционную картину и выявлять малейшую десинхронизацию двух лучей (запаздывание одного луча относительно другого).

Опыт Майкельсона – Морли был принципиально направлен на то, чтобы подтвердить (или опровергнуть) существование мирового эфира посредством выявления «эфирного ветра» (или факта его отсутствия). Действительно, двигаясь по орбите вокруг Солнца, Земля совершает движение относительно гипотетического эфира

полгода в одном направлении, а следующие полгода в другом. Следовательно, полгода «эфирный ветер» должен обдувать Землю и, как следствие, смещать показания интерферометра в одну сторону, полгода – в другую. Итак, наблюдая в течение года за своей установкой, Майкельсон и Морли не обнаружили никаких смещений в интерференционной картине (современные эксперименты подобного рода, проведенные с максимально возможной точностью, включая эксперименты с лазерными интерферометрами, дали аналогичные результаты). **Вывод: эфирного ветра, а стало быть, и эфира не существует**. Анализ результатов опыта Майкельсона-Морли и ряда других экспериментов позволил сделать вывод о том, что представления об эфире как среде, в которой распространяются световые волны, ошибочно. Следовательно, для света не существует избранной (абсолютной) системы отсчета. Движение Земли по орбите не оказывает влияния на оптические явления на Земле.

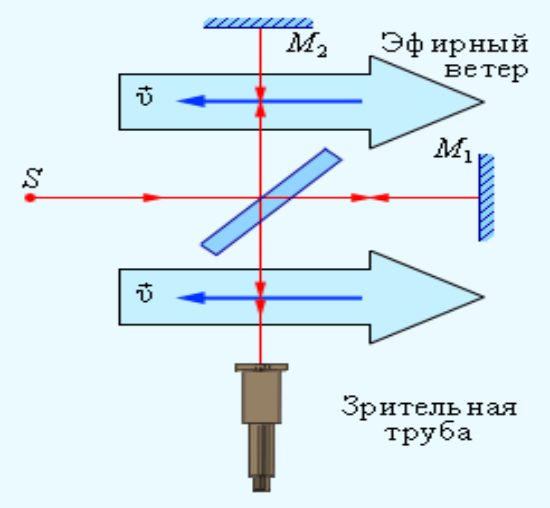


Рис. 2.10. *Упрощенная схема интерференционного опыта Майкельсона–Морли. $\vec{v}$ – орбитальная скорость Земли. В этом опыте одно из плеч интерферометра Майкельсона устанавливалось параллельно направлению орбитальной скорости Земли (v = 30 км/с). Затем прибор поворачивался на 90° и второе плечо оказывалось ориентированным по направлению орбитальной скорости. Расчеты показывали, что если бы неподвижный эфир существовал, то при повороте прибора интерференционные полосы должны были сместиться на расстояние, пропорциональное $(v/c)^2$.*

Хотя Эйнштейн впоследствии и утверждал, что вообще не обращал внимания на результаты экспериментальных исследований при разработке теории относительности, сомневаться в том, что результаты опытов Майкельсона – Морли способствовали быстрому восприятию столь радикальной теории, теории относительности, научной общественностью всерьез, вряд ли приходится.

Тем не менее, невозможно говорить о том, что теория эфира отвергнута наукой раз и навсегда, правильнее будет сказать, что до настоящего времени попытки объяснения физических законов на основе представлений о мировом эфире не увенчались успехом, но предпринимаются и по сей день. Среди наиболее известных можно отметить работы В.А. Ацюковского, энтузиаста и популяризатора идеи подвижного мирового эфира. Однако современные теории эфира так же отличаются от теории релятивизма научной неконкурентоспособностью в описании экспериментальных фактов.

Подумайте и ответьте:

1) Какими свойствами обладают пространство и время?
2) Опишите представления на пространство и время Аристотеля, Ньютона.
3) Опишите отличия реляционной концепции пространства и времени от субстанциональной?
4) Что такое мировой эфир? В каких экспериментах доказывается несостоятельность концепции мирового эфира?

§ 2.3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Современные представления о пространстве и времени формулируются в теории относительности (ТО). Выделяют специальную (частную) и общую теории относительности.

Специальная теория относительности (СТО) (**частная теория относительности**; **релятивистская механика**) – теория, описывающая движение объектов, а также определяющая

пространственно-временные отношения, при скоростях, близких к скорости света (скорость света в вакууме, обозначаемая буквой *c*, составляет 299 792 458 м/с; в дальнейшем скорость света в вакууме будем принимать округленной до 300 000 км/с. Скорость света в материальных средах меньше, чем в вакууме). В рамках специальной теории относительности классическая механика Ньютона является приближением в случае низких скоростей, т.е. **предсказания обеих теорий совпадают в случае, когда скорости объектов много меньше скорости света**. Фактически СТО описывает законы физических процессов при скоростях движения, близких к скорости света, но без учета гравитационных эффектов. При уменьшении скоростей движения она сводится к классической механике, которая, таким образом, оказывается ее частным случаем. С другой стороны, обобщение СТО на случай рассмотрения гравитационных эффектов и явлений составляет общую теорию относительности.

В современной физике СТО вместе с квантовой механикой (которая в окончательном виде была сформулирована к 1925 г.) играет такую же роль, какую раньше играла механика Ньютона. Ньютоновская механика хорошо описывала поведение объектов средних размеров, движущихся со скоростями, намного меньшими скорости света, но не могла описать движение очень малых объектов, таких, как атомы и входящие в состав атомов частицы. Эти несоответствия стали проявляться в начале XX в., и средства их преодоления оказались поистине революционными: квантовая механика, рассматривающая поведение очень малых частиц, отвергла ньютоновский детерминизм, а СТО, применимая к быстро движущимся телам, отвергла ньютоновское представление об абсолютном времени.

Отклонения в протекании физических процессов, описываемые теорией относительности, от эффектов, предсказываемых классической механикой Ньютона, называют **релятивистскими**

эффектами, а скорости, при которых такие эффекты становятся существенными – **релятивистскими скоростями**.

2.3.1. История возникновения специальной теории относительности

Истоки возникновения СТО определяются противоречиями между ньютоновской механикой и электродинамикой, а точнее максвелловской электромагнитной теорией света. Уравнения Дж. Максвелла, появившееся в XIX в., явились результатом обобщения и теоретического осмысления экспериментальных фактов и закономерностей в областях электричества и магнетизма и описывали свойства электромагнитного поля и его взаимодействие с зарядами и токами. Развитие электродинамики ознаменовало, прежде всего, переход от **ньютоновской концепции дальнодействия**, согласно которой взаимодействующие на расстоянии тела воздействуют друг на друга через пустоту, причём взаимодействие осуществляется с бесконечной скоростью, то есть «мгновенно», к **концепции близкодействия**, предложенной М. Фарадеем, в которой взаимодействие передаётся с помощью промежуточных агентов – полей, заполняющих пространство. При этом встал вопрос о скоростях распространения как взаимодействий, переносимых полями, так и самих полей. Скорость распространения электромагнитного поля в пустоте вытекала из уравнений Максвелла и оказалась постоянной и равной скорости света. Однако в связи с этим возник вопрос – относительно чего постоянна скорость света? В максвелловской электродинамике скорость распространения электромагнитных волн оказалась не зависящей от скоростей движения, как источника этих волн, так и наблюдателя.

Экспериментальной основой для создания СТО послужил опыт Майкельсона, который дал результат измерения, неожиданный для классической физики своего времени: независимость скорости света от системы отсчёта. Попытка проинтерпретировать этот результат в

начале XX в. вылилась в пересмотр классических представлений не только механики, но и электромагнетизма и привела к созданию СТО. Возникновение СТО часто связывается с именем А. Эйнштейна, однако не стоит забывать и о Г. Лоренце и А. Пуанкаре. Именно Лоренц и Пуанкаре в 1904-1905 гг. создали математический аппарат частной теории относительности. Благодаря Эйнштейну (1905 г.), глубоко постигшему ее физический смысл, частная теория относительности получила быстрое и всеобщее признание.

Среди более поздних исследователей, внесших существенный вклад в развитие частной теории относительности, необходимо упомянуть Г. Минковского (1864-1909 гг.). Минковский развил концепцию четырехмерного пространственно-временного континуума, в котором временная координата t рассматривается как равноправная с пространственными координатами x, y, z; он предложил также удобную геометрическую интерпретацию уравнений частной теории относительности.

2.3.2. Содержание специальной теории относительности: постулаты Эйнштейна

Физическое понимание СТО базируется на постулатах, предложенных А. Эйнштейном:

1) **Справедливость принципа относительности Эйнштейна** – обобщение классического принципа относительности Галилея.

Создателем принципа относительности считается Г. Галилей, который обратил внимание на то, что находясь в замкнутой физической системе, невозможно определить, покоится эта система или равномерно движется. Во времена Галилея люди имели дело в основном с чисто механическими явлениями. В своей книге «Диалоги о двух системах мира» Галилей сформулировал принцип относительности следующим образом:

Для предметов, захваченных равномерным движением, это последнее как бы не существует и проявляет своё действие только на вещах, не принимающих в нём участия.

Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой.

Галилей разъяснял это положение различными наглядными примерами. Представим себе путешественника в закрытой каюте спокойно плывущего корабля. Находясь в каюте, путешественник не замечает никаких признаков движения корабля. Если провести простой механический опыт, к примеру, подбросить к верху мячик, то он упадет прямо вниз. Из принципа относительности следует, что между покоем и движением – если оно равномерно и прямолинейно – нет принципиальной разницы. Разница в данном случае состоит в разном выборе систем отсчета. Например, путешественник в каюте корабля с полным основанием считает, что книга, лежащая на столе, покоится. Но человек на берегу видит, что корабль плывет, а вместе с ним движется и книга с той же скоростью, что и корабль. Так движется или покоится книга? Спор между путешественником и человеком на берегу был бы пустой тратой времени, если бы каждый из них отстаивал свою точку зрения, не вникая в доводы оппонента. На самом деле они оба правы, и чтобы согласовать свои рассуждения, им нужно только признать, что книга покоится относительно корабля и движется относительно берега вместе с кораблем. Таким образом, движение и покой – это всегда движение и покой относительно чего-то, что служит нам системой отсчета. Понятие покоя и движения приобретают смысл только тогда, когда указана точка отсчета.

Фактически принцип относительности, предложенный Галилеем, утверждал инвариантность (неизменность) законов механики во всех инерциальных системах отсчета.

Идеи Галилея нашли развитие в механике Ньютона. Если система отсчета покоится или находится в состоянии равномерного прямолинейного движения по отношению к абсолютному

пространству, то она называется **инерциальной**, галилеевской или ньютоновской. **Инерциальная система отсчета** – система отсчета, в которой выполняется **закон инерции**: тело, на которое не действуют внешние силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

В любой инерциальной системе отсчета законы механики имеют одну и ту же форму, в чем и выражается принцип относительности Галилея (галилеевская инвариантность). К примеру, согласно второму закону Ньютона, в любой инерциальной системе отсчета скорость изменения импульса любого тела пропорциональна приложенной к нему силе. Из принципа относительности Галилея следует, что путем одних лишь механических экспериментов невозможно установить, находится ли данное тело в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения по отношению к абсолютному пространству. Если же система отсчета движется ускоренно по отношению к абсолютному пространству, то для удовлетворения законов Ньютона нужно ввести фиктивные силы инерции, типичными примерами которых являются центробежная сила и сила Кориолиса.

В XIX в. оказалось, что законы электромагнетизма и законы механики (в частности, механическая формулировка принципа относительности) плохо согласуются друг с другом, так как уравнения механики в известном тогда виде не менялись после преобразований Галилея, а уравнения Максвелла при применении этих преобразований к ним самим или к их решениям – меняли свой вид и, главное, давали другие предсказания (например, изменение скорости света). Эти противоречия привели к открытию преобразований Лоренца, которые делали применимым принцип относительности к электродинамике, и к постулированию их применимости также в механике. После этого обобщённый принцип относительности (подразумевающий применимость и к механике, и к электродинамике, а также к возможным новым теориям) стал называться **принципом относительности Эйнштейна**, а его

механическая формулировка – **принципом относительности Галилея.**

Принцип относительности, включающий электродинамические и оптические явления, был впервые введен А. Пуанкаре в 1889 г., когда было высказано предположение о принципиальной ненаблюдаемости движения относительно эфира, а в 1895-1902 гг. принцип относительности был уже сформулирован детально, практически в современном виде, и получены многие принципиальные результаты. Пуанкаре также, по признанию Лоренца, был человеком, вдохновившим введение принципа относительности как точного (а не приближенного) принципа в работе Лоренца в 1904 г., а впоследствии внёс необходимые исправления в некоторые формулы этой работы, в которых обнаружились ошибки. Затем, в работе 1904 г. Пуанкаре дополнительно обобщил результаты Лоренца, донеся значение принципа относительности до довольно широких кругов физиков и математиков. Дальнейшее развитие практического использования принципа относительности для построения новой физической теории было сделано в 1905 г. в статье А. Пуанкаре «О динамике электрона», называвшего его в этой работе «постулатом относительности Лоренца», и в практически одновременной статье А. Эйнштейна. В своей основополагающей статье «К электродинамике движущихся сред» Эйнштейн предложил два постулата: специальный принцип относительности и постоянство скорости света; из них выводились формулы преобразования Лоренца, относительность одновременности, ненужность эфира, новая формула суммирования скоростей, возрастание инерции со скоростью и т. д. Позднее в 1912 г. Г. Лоренц писал: «Заслуга Эйнштейна состоит в том, что он первый высказал принцип относительности в виде всеобщего строго и точно действующего закона».

Принцип относительности Эйнштейна – фундаментальный физический принцип, согласно которому все физические процессы в инерциальных системах отсчета протекают

одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения. Отсюда следует, что все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.

2) **Справедлив принцип постоянства скорости света** – инвариантность скорости света. Скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя во всех инерциальных системах отсчёта.

Для понимания данного принципа проведем мысленный эксперимент: с космического спутника испускается луч света по направлению его движения. Относительно спутника, откуда он испущен, свет распространяется со скоростью света. Какой будет скорость распространения света относительно Земли? Ответ: она остается такой же. Это утверждение справедливо и в случае, когда свет испускается не по направлению движения спутника, а в противоположном направлении.

Эксперимент, который должен был показать изменение скорости света в движущихся телах, как уже было сказано выше, был выполнен в 1881 г. Майкельсоном. Результаты эксперимента оказались отрицательными. На поверхности Земли свет движется с одной и той же скоростью во всех направлениях. Позднее был проведен ряд наблюдений и экспериментов, результаты которых можно свести к следующему положению: наблюдаемая скорость света, испускаемого движущимся в вакууме источником, не зависит от движения наблюдателя. Это положение противоречит ньютоновской механике, в частности, классическому правилу сложения скоростей Галилея.

Данное противоречие было разрешено частной теорией относительности, основные положения которой следуют из эмпирического заключения об инвариантности скорости света, принципа относительности и модифицированного второго закона Ньютона. В СТО были модифицированы и уравнения преобразований Галилея.

Таким образом, скорость света – это верхний предел для скорости перемещения любых тел в природе, скорости распространения любых волн и сигналов. Это предельная скорость передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую.

Представленные выше постулаты выступают как проявление симметрий пространства и времени: пространство и время однородны, пространство является изотропным.

Все эти принципы следует рассматривать как обобщение совокупности опытных фактов. Следствия из теории, созданной на основе этих принципов, подтверждались большим количеством экспериментальных проверок. СТО позволила разрешить все проблемы «доэйнштейновской» физики и объяснить «противоречивые» результаты известных к тому времени экспериментов в области электродинамики и оптики. В последующее время СТО была подкреплена экспериментальными данными, полученными при изучении движения быстрых частиц в ускорителях, атомных процессов, ядерных реакций.

2.3.3. Концепция пространства-времени (четырехмерный пространственно-временной континуум)

То, каким образом пространственные координаты x, y, z и время t входят в уравнения преобразований Лоренца, навело Минковского на мысль, что пространство и время в СТО следует рассматривать не так, как в механике Ньютона с ее трехмерным евклидовым пространством и совершенно обособленной временной координатой, а совместно, в виде некой четырехмерной комбинации. Новая концепция оказалась очень плодотворной, и благодаря наглядной геометрической интерпретации во многом способствовала развитию теории. **Такая четырехмерная комбинация получило название пространства-времени или пространства Минковского. Пространство-время** – физическая модель, дополняющая

трехмерное пространство равноправным временным измерением и, таким образом, создающая новую теоретико-физическую конструкцию, которая называется пространственно-временным континуумом. В соответствии с теорией относительности, Вселенная имеет три пространственных измерения и одно временное измерение. Согласно идее Минковского, вместо того, чтобы рассматривать физическую систему как совокупность частиц в пространстве, ее следует представить как совокупность мировых линий частиц в пространстве-времени, которая описывает полную историю системы. Как и евклидово пространство в механике Ньютона, пространство-время Минковского однородно, изотропно и обладает дополнительными свойствами симметрии, вытекающими из преобразований Лоренца.

В 1908 г. Минковский представил теорию относительности в форме четырехмерной геометрии. Он назвал пребывание частицы в точке, определенной четырьмя координатами, **событием**, так как под событием в механике понимается нечто определенное в пространстве и времени – пребывание частицы в определенной пространственной точке в определенный момент времени. Совокупность событий – пространственно-временное многообразие – было названо **миром**. Линию, изображающую движение частицы – четырехмерную линию, каждая точка которой определяется четырьмя координатами, Минковский обозначил **мировой линией**.

Каждому событию соответствует точка пространства Минковского, в лоренцевых (или галилеевых) координатах, три координаты которой представляют собой декартовы координаты трёхмерного евклидова пространства, а четвёртая – координату ct, где c – скорость света, t – время события. Связь между пространственными расстояниями и промежутками времени, разделяющими события, характеризуется квадратом интервала:

$$s^2 = c^2(t_1 - t_0)^2 - (x_1 - x_0)^2 - (y_1 - y_0)^2 - (z_1 - z_0)^2 .$$

Здесь (x_0, y_0, z_0, t_0) и (x_1, y_1, z_1, t_1) – пространственно-временные координаты двух событий.

С помощью преобразований Лоренца можно доказать, что пространственно-временной интервал между двумя событиями не изменяется при переходе из одной инерциальной системы в другую. Инвариантность интервала означает, что, несмотря на относительность расстояний и промежутков времени, протекание физических процессов носит объективный характер и не зависит от системы отсчета. Интервал в пространстве Минковского играет роль, аналогичную роли расстояния в геометрии евклидовых пространств. Он инвариантен при замене одной инерциальной системы отсчета на другую, так же, как расстояние инвариантно при поворотах, отражениях и сдвигах начала координат в евклидовом пространстве. Роль, аналогичную роли вращений координат в случае евклидова пространства, играют для пространства Минковского преобразования Лоренца.

Интервал аналогичен квадрату расстояния в евклидовом пространстве. В отличие от последнего интервал не всегда положителен, также между различными событиями интервал может быть равен нулю. Вследствие этого пространство Минковского также называют псевдоевклидовым пространством.

Как уже было сказано, признание однородности пространства привело к формулированию закона сохранения импульса, что показало отсутствие в пространстве каких-либо выделенных точек; однородность времени – закону сохранения энергии, что определило независимость природных процессов от их смещения во времени и отсутствие выделенного начала отсчета времени. **В рамках СТО постулируется однородность пространства-времени.** Однородность пространства-времени означает, что в природе нет выделенных пространственно-временных мировых точек. Нет события, которое было бы абсолютным началом четырехмерной, пространственно-временной системы отсчета. Таким образом, четырехмерное расстояние между мировыми точками,

пространственно-временной интервал не будет меняться при совместном переносе этих точек вдоль мировой линии. Это означает, что пространственно-временная связь двух событий не зависит от того, какая мировая точка выбрана в качестве начала отсчета, и что любая мировая точка может играть роль подобного начала.

2.3.4. Следствия из постулатов Эйнштейна (основные релятивисткие эффекты)

Как мы помним СТО часто называют релятивистской теорией, а специфические явления, описываемые этой теорией, – релятивистскими эффектами. Эти эффекты наиболее отчетливо проявляются при скоростях движения тел, близких к скорости света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

Классическая механика Ньютона описывает движение макротел, движущихся с малыми скоростями ($\upsilon << c$). В нерелятивистской физике принималось как очевидный факт существование единого мирового времени t, одинакового во всех системах отсчета. В основе классической механики лежит механический принцип относительности (или принцип относительности Галилея): законы динамики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета. Этот принцип означает, что законы динамики инвариантны (т. е. неизменны) относительно преобразований Галилея, которые позволяют вычислить координаты движущегося тела в одной инерциальной системе (K), если заданы координаты этого тела в другой инерциальной системе (K'). В частном случае, когда система K' движется со скоростью υ вдоль положительного направления оси x системы K (рис. 2.11), преобразования Галилея имеют вид:

$$x = x' + \upsilon t,\ y = y',\ z = z',\ t = t'.$$

Предполагается, что в начальный момент оси координат обеих систем совпадают.

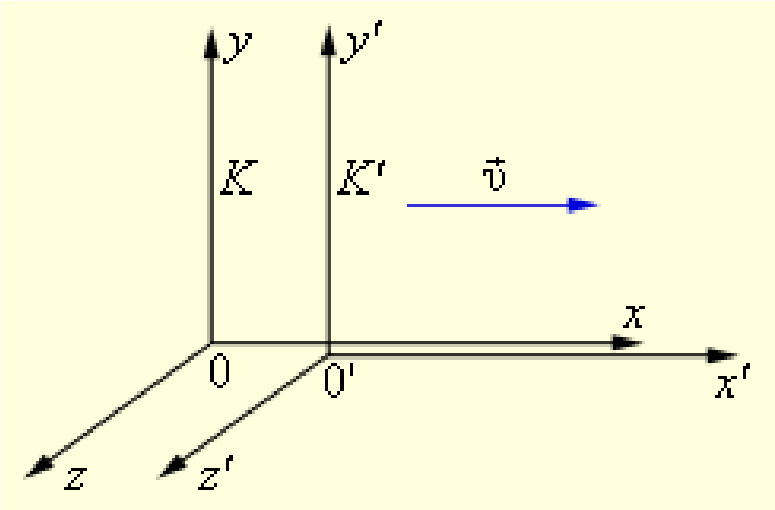


Рис. 2.11. *Две инерциальные системы отсчета K и K'.*

Из преобразований Галилея следует классический закон преобразования скоростей при переходе от одной системы отсчета к другой:

$$\upsilon_x = \upsilon'_x + \upsilon, \upsilon_y = \upsilon'_y, \upsilon_z = \upsilon'_z.$$

Ускорения тела во всех инерциальных системах оказываются одинаковыми:

$$a_x = a'_x, a_y = a'_y, a_z = a'_z,$$

$$\vec{a} = \vec{a}'.$$

Следовательно, уравнение движения классической механики (второй закон Ньютона) не меняет своего вида при переходе от одной инерциальной системы к другой.

Классические преобразования Галилея несовместимы с постулатами СТО и, следовательно, должны быть заменены другими преобразованиями.

Кинематические формулы преобразования координат и времени в СТО называются преобразованиями Лоренца. Они были предложены в 1904 г. еще до появления СТО как преобразования, относительно которых инвариантны уравнения электродинамики. Для случая, когда система K' движется относительно K со скоростью υ вдоль оси x, преобразования Лоренца имеют вид:

$$K' \to K,$$

$$x = \frac{x' + \upsilon t'}{\sqrt{1-\beta^2}}, y = y', z = z',$$

$$t = \frac{t' + \upsilon x'/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

$$\beta = \frac{\upsilon}{c}.$$

Из преобразований Лоренца вытекает целый ряд следствий. **В частности, из них следует релятивистский эффект замедления времени и лоренцево сокращение длины.**

Пусть, например, в некоторой точке x' системы K' происходит процесс длительностью $\tau_0 = t'_2 - t'_1$ (собственное время), где t'_1 и t'_2 – показания часов в K' в начале и конце процесса. Длительность τ этого процесса в системе K будет равна

$$\tau = t_2 - t_1 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Таким образом, промежуток времени между двумя событиями зависит от системы отсчета, т. е. является относительным. Собственное время τ_0 всегда меньше, чем промежуток времени между этими же событиями, измеренный в любой другой системе отсчета. Этот эффект называют **релятивистским замедлением времени**. Замедление времени является следствием инвариантности скорости света.

С релятивистским эффектом замедления времени связан так называемый «**парадокс близнецов**». Предполагается, что один из близнецов остается на Земле, а второй отправляется в длительное космическое путешествие с субсветовой скоростью. С точки зрения земного наблюдателя, время в космическом корабле течет медленнее, и когда астронавт возвратится на Землю, он окажется гораздо моложе своего брата-близнеца, оставшегося на Земле. Парадокс заключается в том, что подобное заключение может сделать и второй из близнецов, отправляющийся в космическое путешествие. Для него медленнее течет время на Земле, и он может ожидать, что по

возвращению после длительного путешествия на Землю он обнаружит, что его брат-близнец, оставшийся на Земле, гораздо моложе его. Чтобы разрешить «парадокс близнецов», следует принять во внимание неравноправие систем отсчета, в которых находятся оба брата-близнеца. Первый из них, оставшийся на Земле, все время находится в инерциальной системе отсчета, тогда как система отсчета, связанная с космическим кораблем, принципиально неинерциальная. Космический корабль испытывает ускорения при разгоне во время старта, при изменении направления движения в дальней точке траектории и при торможении перед посадкой на Землю. Поэтому заключение брата-астронавта неверно. СТО предсказывает, что при возвращении на Землю он действительно окажется моложе своего брата, оставшегося на Земле.

Аналогичным образом, можно показать, что из преобразований Лоренца вытекает релятивистское сокращение длины:

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Таким образом, длина стержня зависит от системы отсчета, в которой она измеряется, т. е. является относительной величиной. Длина стержня оказывается наибольшей в той системе отсчета, в которой стержень покоится. Движущиеся относительно наблюдателя тела сокращаются в направлении своего движения. Этот релятивистский эффект носит название **лоренцева сокращения длины**.

Следует обратить внимание, что при малых скоростях движения ($\upsilon << c$) формулы СТО переходят в классические соотношения: $l \approx l_0$ и $\tau \approx \tau_0$.

Одним из важнейших следствий из преобразований Лоренца является вывод об относительности одновременности. Пусть, например, в двух разных точках системы отсчета K' ($x'_1 \neq x'_2$) одновременно с точки зрения наблюдателя в K' ($t'_1 = t'_2 = t'$) происходят два события. Согласно преобразованиям Лоренца, наблюдатель в системе K будет иметь

$$x_1 = \frac{x_1' + \upsilon t'}{\sqrt{1-\beta^2}}, x_2 = \frac{x_2' + \upsilon t'}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow x_1 \neq x_2,$$

$$t_1 = \frac{t' + \upsilon x_1' / c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}, t_2 = \frac{t' + \upsilon x_2' / c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow t_1 \neq t_2.$$

Следовательно, в системе K эти события, оставаясь пространственно разобщенными, оказываются неодновременными. Более того, знак разности $t_2 - t_1$ определяется знаком выражения $\upsilon(x'_2 - x'_1)$, поэтому в одних системах отсчета первое событие может предшествовать второму, в то время как в других системах отсчета, наоборот, второе событие предшествует первому. Этот вывод СТО не относится к событиям, связанным причинно-следственными связями, когда одно из событий является физическим следствием другого. **В СТО не нарушается принцип причинности (инвариантность причинно-следственных связей) и порядок следования причинно-следственных событий одинаков во всех инерциальных системах отсчета.**

Относительность одновременности пространственно-разобщенных событий можно проиллюстрировать на следующем примере.

Пусть в системе отсчета K' вдоль оси x' неподвижно расположен длинный жесткий стержень. В центре стержня находится импульсная лампа B, а на его концах установлена пара синхронизованных часов (рис. 2.12(a)), система K' движется вдоль оси x системы K со скоростью υ. В некоторый момент времени лампа посылает короткие световые импульсы в направлении концов стержня. В силу равноправия обоих направлений свет в системе K' дойдет до концов стержня одновременно, и часы, закрепленные на концах стержня, покажут одно и то же время t'. Относительно системы K концы стержня движутся со скоростью υ так, что один конец движется навстречу световому импульсу, а другой конец свету приходится догонять. Так как скорости распространения световых импульсов в

обоих направлениях одинаковы и равны c, то, с точки зрения наблюдателя в системе K, свет раньше дойдет до левого конца стержня, чем до правого (рис. 2.12(b)).

Преобразования Лоренца выражают относительный характер промежутков времени и расстояний. Однако в СТО наряду с утверждением относительного характера пространства и времени важную роль играет установление инвариантных физических величин, которые не изменяются при переходе от одной системе отсчета к другой. Одной из таких величин является скорость света c в вакууме, которая в СТО приобретает абсолютный характер. Другой важной инвариантной величиной, отражающей абсолютный характер пространственно-временных связей, является интервал между событиями.

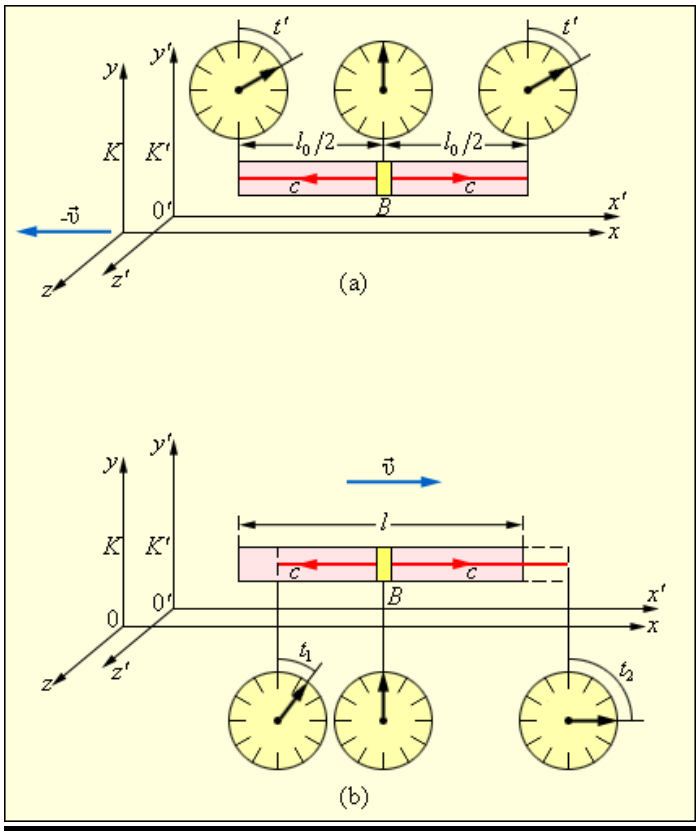


Рис. 2.12. *Относительность одновременности. Световой импульс достигает концов твердого стержня одновременно в системе отсчета K' (a) и не одновременно в системе отсчета K (b).*

Релятивистский закон сложения скоростей для случая, когда частица движется параллельно относительной скорости $\bar{\upsilon}$ систем отсчета K и K'

$$u_x = \frac{u'_x + \upsilon}{1 + \frac{\upsilon}{c^2} u'_x}, u_y = 0, u_z = 0.$$

При $\upsilon << c$ релятивистские формулы переходят в формулы классической механики:

$$\upsilon_x = \upsilon'_x + \upsilon, \upsilon_y = \upsilon'_y, \upsilon_z = \upsilon'_z.$$

Если в системе K' вдоль оси x' распространяется со скоростью $u'_x = c$ световой импульс, то для скорости u_x импульса в системе K получим

$$u_x = \frac{c + \upsilon}{1 + \frac{\upsilon}{c}} = c, u_y = 0, u_z = 0.$$

Таким образом, в системе отсчета K световой импульс также распространяется вдоль оси x со скоростью c, что согласуется с постулатом об инвариантности скорости света.

2.3.5. Эквивалентность массы и энергии

Принцип относительности Эйнштейна утверждает инвариантность всех законов природы по отношению к переходу от одной инерциальной системе отсчета к другой. Это значит, что все уравнения, описывающие законы природы, должны быть инвариантны относительно преобразований Лоренца. К моменту создания СТО теория, удовлетворяющая этому условию, уже существовала – это электродинамика Максвелла. Однако уравнения классической механики Ньютона оказались неинвариантными относительно преобразований Лоренца, и поэтому СТО потребовала пересмотра и уточнения законов механики. Решая данную задачу, Эйнштейн вывел универсальную зависимость – закон взаимосвязи массы и энергии:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}.$$

Не следует путать полную энергию E движущейся частицы и энергию покоя E_0. Только в случае покоящихся частиц $E=E_0=m_0c^2$.

Закон пропорциональности массы и энергии является одним из самых важных выводов СТО. Масса и энергия являются различными свойствами материи. Масса тела характеризует его инертность, а также способность тела вступать в гравитационное взаимодействие с другими телами. Важнейшим свойством энергии является ее способность превращаться из одной формы в другую в эквивалентных количествах при различных физических процессах – в этом заключается содержание закона сохранения энергии. Пропорциональность массы и энергии является выражением внутренней сущности материи. Формула Эйнштейна выражает фундаментальный закон природы, который принято называть **законом взаимосвязи массы и энергии**.

В заключение параграфа отметим, что СТО описывает негравитационные физические явления с высокой точностью. При описании гравитационных явлений и эффектов СТО дополняется общей теорией относительности. Однако развитие специальной теории относительности продолжается. В частности ее синтез с квантовой механикой привели к созданию квантовой теории поля.

Подумайте и ответьте:

1) Каковы причины возникновения и проблемы, рассматриваемые специальной теорией относительности? Опишите соответствие и различие специальной теории относительности и классической механики.
2) Сформулируйте постулаты специальной теории относительности.
3) Изложите основные понятия четырехмерной геометрии Минковского? Как Вы понимаете, что такое однородность пространства-времени?

4) Опишите основные релятивистские эффекты:
   а) в чем заключается релятивистский эффект замедления времени;
   б) в чем состоит лоренцево сокращение длины;
   в) что такое относительность одновременности;
   г) в чем состоит принцип причинности в специальной теории относительности;
   д) в чем заключается эквивалентность массы и энергии?

§ 2.4. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Общая теория относительности (ОТО) создала физические основания для неевклидовой геометрии, и связала кривизну пространства и отступление его от евклидовой метрики, с гравитационными полями, образованными массами тел. ОТО исходит из принципа эквивалентности инерционной (инертной) и гравитационной (тяжелой) масс, количественное равенство которых было установлено еще в классической механике. Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности следующим образом: **Физически невозможно отличить действие однородного гравитационного поля и поля, порожденного равноускоренным движением.** Кинематические эффекты, возникающие под действием гравитационных сил, эквивалентны эффектам, возникающим под действием ускорения. К примеру, если ракета взлетает с ускорением, равным удвоенному ускорению свободного падения, то экипаж ракеты будет чувствовать себя так, как будто он находится в удвоенном поле тяжести Земли. Обнаруженный принцип эквивалентности помог сформулировать основные принципы, на которых базируется общая теория относительности: была раскрыта геометрическая природа гравитации, обнаружена связь геометрии пространства-времени и материи. **В дальнейшем на основе принципа эквивалентности масс был обобщен принцип относительности, утверждающий в общей теории**

относительности инвариантность законов природы в любых системах отсчета, как инерциальных, так и неинерциальных.

Общая теория относительности – геометрическая теория тяготения, развивающая специальную теорию относительности (СТО), опубликованная А. Эйнштейном в 1915-1916 гг. В рамках ОТО, как и в других метрических теориях, постулируется, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана, в частности, с присутствием массы-энергии.

ОТО в настоящее время – успешная теория, подтверждённая многочисленными наблюдениями. Первый успех ОТО состоял в объяснении аномальной прецессии перигелия Меркурия. Затем в 1919 г. Артур Эддингтон сообщил о наблюдении отклонения света вблизи Солнца в момент полного затмения, что качественно и количественно подтвердило предсказания общей теории относительности. С тех пор большое число наблюдений и экспериментов подтвердили многие предсказания теории, включая гравитационное замедление времени, гравитационное красное смещение, задержку сигнала в гравитационном поле и, пока лишь косвенно, гравитационное излучение. Кроме того, многочисленные наблюдения интерпретируются как подтверждения существования одного из самых таинственных и экзотических предсказаний ОТО – чёрных дыр.

2.4.1. Принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс

Рассмотрим принцип эквивалентности инертной и гравитационной (тяжелой) масс.

В нерелятивистской механике выделяют два понятия массы: первое относится ко второму закону Ньютона, а второе – к закону всемирного тяготения. **Первая масса – инертная (или**

инерционная) – есть отношение негравитационной силы, действующей на тело, к его ускорению. Данная масса фигурирует в законах движения, ньютоновских и релятивистских, которые описывают действие заданных сил, масса характеризует сопротивляемость тела – его инерцию – по отношению к силам, стремящимся изменить его движение. **Вторая масса – гравитационная – определяет силу притяжения тела другими телами и его собственную силу притяжения.** Данная масса фигурирует в ньютоновском законе всемирного тяготения и выступает как фактор, определяющий гравитационные силы, вызываемые данными телами. Вообще говоря, эти две массы измеряются, как видно из описания, в различных экспериментах, поэтому совершенно не обязаны быть пропорциональными друг другу. Их строгая пропорциональность позволяет говорить о единой массе тела, как в негравитационных, так и в гравитационных взаимодействиях.

Сам принцип был выдвинут ещё Исааком Ньютоном, а равенство масс было проверено им экспериментально с относительной точностью 10^{-3}. Позднее принцип эквивалентности был подтвержден с еще большей точностью.

Эйнштейн проиллюстрировал данный принцип знаменитым мысленным экспериментом в лифте. Осуществить такой эксперимент было бы технически сложно, но он помогает понять суть принципа. Этот эксперимент проводит ученый, который, находясь в лифте, выполняет четыре опыта (рис. 2.13):

1. Лифт стоит на поверхности Земли. Ученый в лифте выпускает из руки груз и видит, что он с ускорением падает на пол.
2. Лифт свободно падает в лифтовой шахте (из которой откачан воздух для устранения его сопротивления). Ученый снова выпускает из рук груз, но, поскольку теперь и лифт, и груз находятся в состоянии свободного падения, груз «зависает» где-то между полом и потолком лифта (силами притяжения груза к лифту и телу ученого можно пренебречь).

Следующие два опыта выполняются в космическом пространстве, далеко от Земли, где всеми гравитационными полями можно пренебречь.

3. Лифт ускоряется вверх в вертикальном направлении с прикрепленным к нему ракетным двигателем. Если ускорение лифта равно 9,8 м/с^2, то, когда ученый выпускает груз, он обнаруживает, что груз падает с таким же ускорением, как и в первом опыте. В отсутствие сил груз не должен приобретать ускорения, но благодаря ускоренному движению лифта ученый видит, что груз с ускорением падает вниз.

4. Лифт находится в космосе без ускорения, но по-прежнему далеко от Земли. Поскольку заметные гравитационные поля отсутствуют, когда ученый выпускает из рук второй груз, последний «зависает», как это было во втором опыте.

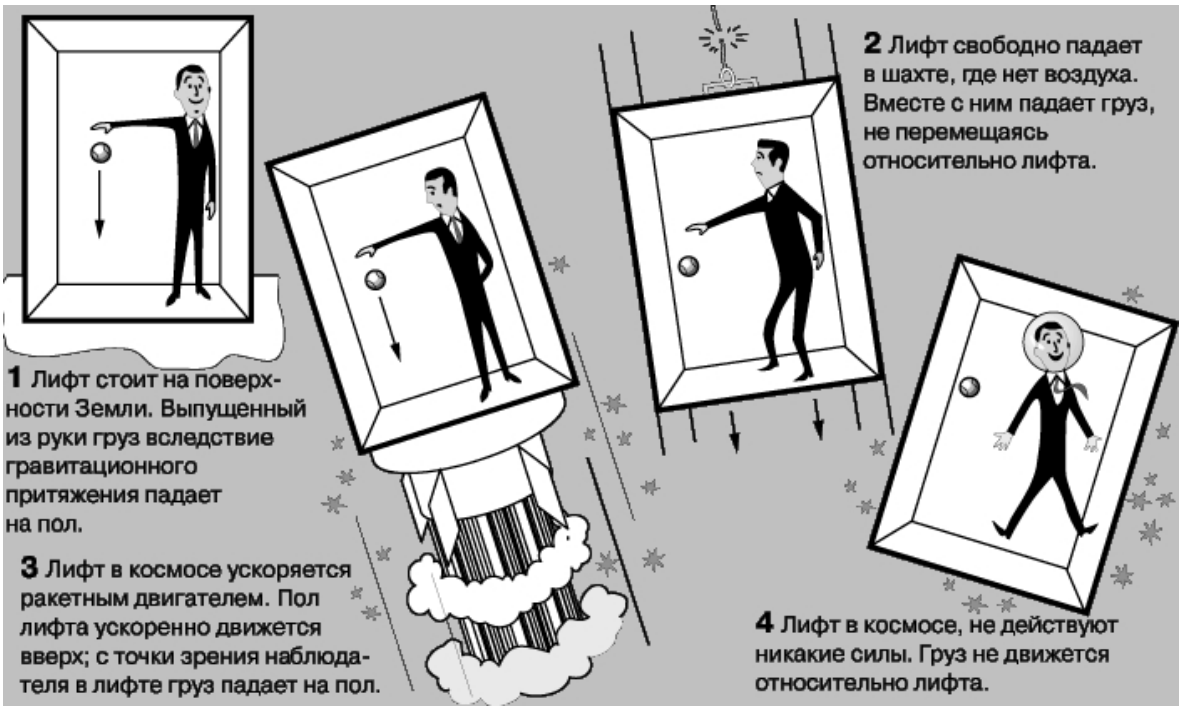


Рис. 2.13. *Мысленный эксперимент, который привел Эйнштейна к принципу эквивалентности. Согласно этому принципу, лежащему в основе ОТО, явления, вызванные гравитационным полем Земли, и явления, обусловленные силами инерции вследствие ускоренного движения, тождественны и неразличимы. Явление 1 на рисунке эквивалентно явлению 3, а явление 2 – явлению 4.*

Таким образом, как следует из опытов, действие гравитационного поля, точно такое же, как и сил инерции, обусловленных ускоренным движением лифта. Это и есть непосредственное выражение принципа эквивалентности. **Согласно принципу эквивалентности, никакими наблюдениями, используя любые законы природы, нельзя отличить ускорение, создаваемого однородным полем тяготения, от ускорения движущейся системы координат.**

2.4.2. Кривизна пространства-времени

Для знакомства с понятием кривизны пространства-времени необходимо представить следующий мысленный эксперимент. Если запустить из двух близких точек два тела параллельно друг другу, то в гравитационном поле они постепенно начнут, либо сближаться, либо удаляться друг от друга. Аналогичный эффект можно наблюдать непосредственно, если запустить два шарика параллельно друг другу по резиновой мембране, на которую в центр положен массивный предмет. Шарики разойдутся: тот, который был ближе к предмету, продавливающему мембрану, будет стремиться к центру сильнее, чем более удалённый шарик. Это расхождение (девиация) обусловлено кривизной мембраны (рис. 2.14*а*).

В ОТО под **кривизной пространства-времени** понимается величина, характеризующая меру отклонения свойств пространства-времени от свойств, так называемого плоского пространства-времени специальной теории относительности. Понятие кривизны пространства-времени возникло по аналогии с понятием полной кривизны в геометрии поверхностей. Кривизна пространства-времени описывается тензором кривизны.

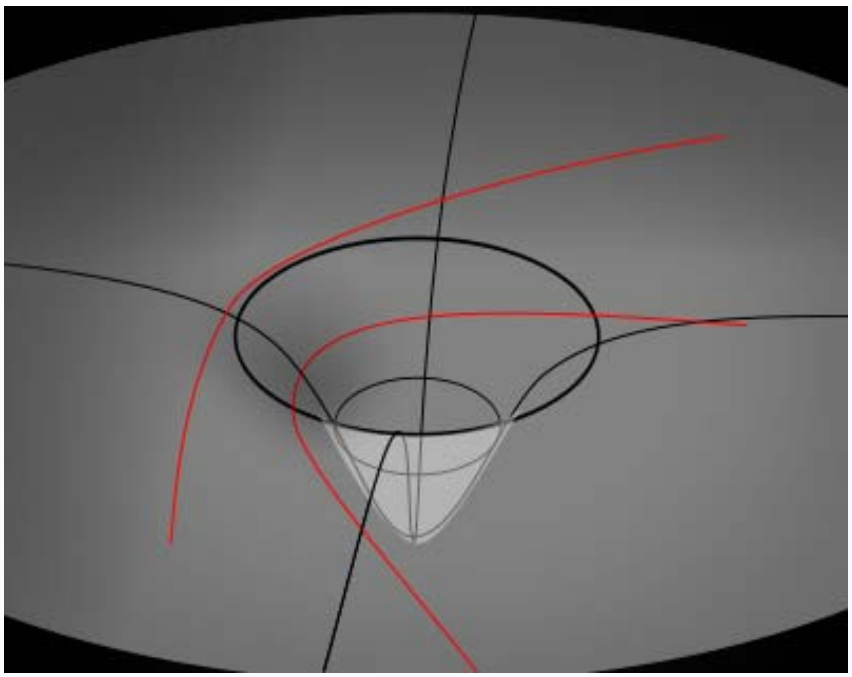


Рис. 2.14а. *Схематическое изображение расхождения (девиации) линий вблизи массивного тела.*

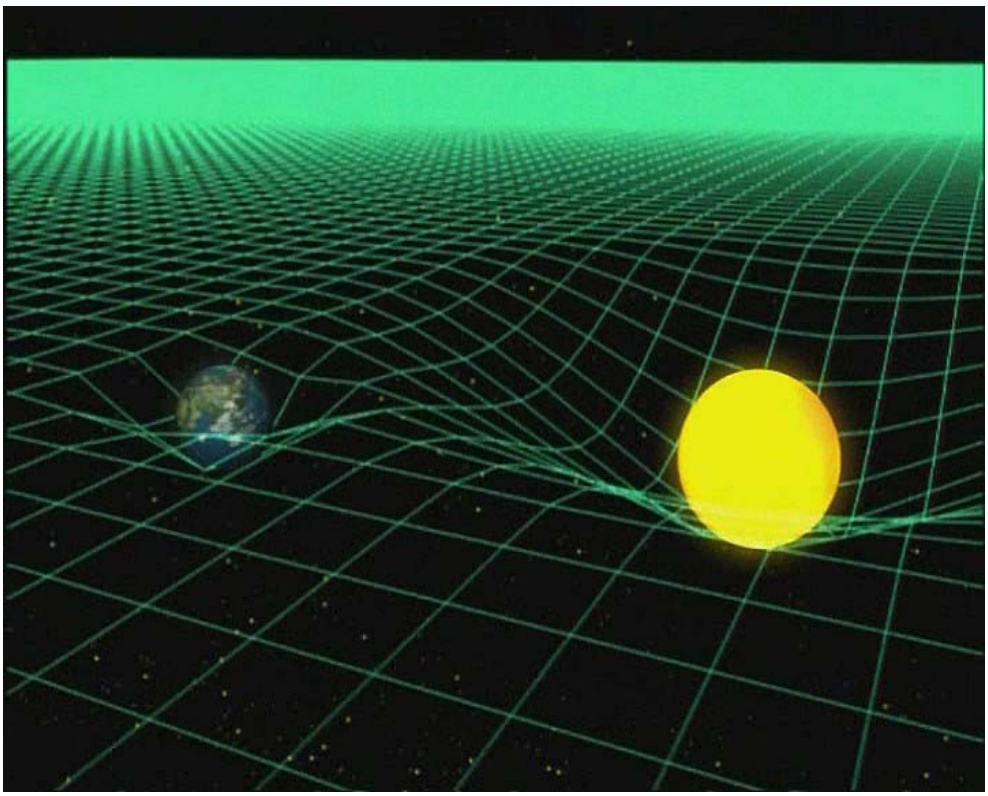


Рис. 2.14б. *Искривление пространства-времени вблизи Земли и Солнца.*

2.4.3. Сингулярности пространства-времени. Черные дыры

С понятием кривизны пространства-времени часто связывают понятие гравитационной сингулярности. Под сингулярностью в математике подразумевается точка, в которой математическая функция стремится к бесконечности или имеет какие-либо иные «нерегулярности» поведения. **Гравитационная сингулярность** – область пространства-времени, в которой кривизна пространственно-временного континуума обращается в бесконечность или терпит разрыв, либо метрика обладает иными патологическими свойствами, не допускающими физической интерпретации. Одним из примеров гравитационной сингулярности является **космологическая сингулярность** – состояние Вселенной в начальный момент большого взрыва, характеризующееся бесконечной плотностью и температурой вещества.

Еще в 1795 г. великий французский математик Пьер-Симон Лаплас теоретическим путем пришел к выводу, что свет не может уйти от тела, если оно достаточно массивно или достаточно сильно сжато. Даже из ньютоновской теории следует, что если скорость убегания для какого-либо объекта превышает величину скорости света, то этот объект для внешнего наблюдателя будет казаться абсолютно черным. Но на протяжении почти двухсот лет никому не приходило в голову, что в природе могут действительно существовать черные дыры. Однако к середине 1960-х годов астрофизикам удалось рассчитать подробно структуру звезд и ход их эволюции.

Черная дыра – область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света (рис. 2.15). Для находящихся там тел вторая космическая скорость (скорость убегания) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Граница этой области называется

горизонтом событий, а её характерный размер — **гравитационным радиусом**. Термин «горизонт событий» – очень удачное название для той поверхности в пространстве-времени, из которой ничто не может выбраться. Это действительно «горизонт», за которым все «события» пропадают из виду. Иногда горизонт событий, окружающий черную дыру, называют ее поверхностью.

В простейшем случае гравитационный радиус сферически симметричной чёрной дыры равен радиусу Шварцшильда:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2},$$

где c – скорость света, M — масса тела, G — гравитационная постоянная.

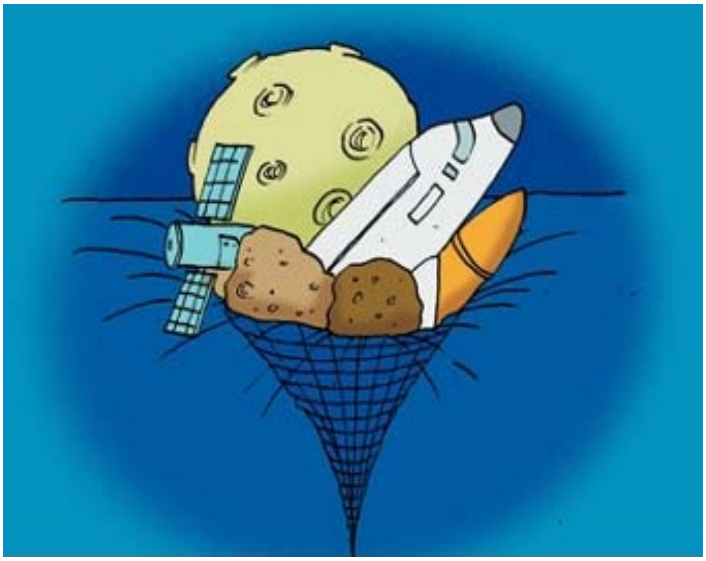


Рис. 2.15. *Ироничное изображение поглощения объектов черной дырой.*

Теоретически возможность существования таких областей пространства-времени следует из некоторых точных решений уравнений Эйнштейна, первое из которых было получено Карлом Шварцшильдом в 1915 г. Точный изобретатель термина неизвестен, но само обозначение было популяризовано Джоном Арчибальдом Уилером и впервые публично употреблено в популярной лекции «Наша Вселенная: известное и неизвестное (Our Universe: the Known and Unknown)» 29 декабря 1967 г. Ранее подобные астрофизические

объекты называли «сколлапсировавшие звёзды» или «коллапсары», а также «застывшие звёзды».

Вопрос о реальном существовании чёрных дыр тесно связан с тем, насколько верна теория гравитации, из которой их существование следует. В современной физике стандартной теорией гравитации, лучше всего подтверждённой экспериментально, является ОТО, уверенно предсказывающая возможность образования чёрных дыр. Поэтому наблюдательные данные анализируются и интерпретируются, прежде всего, в контексте ОТО, хотя, строго говоря, теория не является экспериментально подтверждённой для условий, соответствующих области пространства-времени в непосредственной близости от чёрных дыр.

Исследовать свойства черных дыр лучше всего, изучая, как движутся в этих сильно искривленных областях пространства-времени объекты – малые тела (материальные точки) и лучи света. Рассмотрим прохождение лучей света вблизи черной дыры (рис. 2.16). Лучи света, проходящие ближе к черной дыре, отклоняются на более значительные углы. Когда свет распространяется через область пространства-времени с большей кривизной, его мировая линия становится все более искривленной. Можно даже направить луч света точно в таком направлении относительно черной дыры, чтобы этот свет оказался пойман на круговую орбиту вокруг дыры. Эта сфера вокруг черной дыры иногда называется «фотонной сферой» или «фотонной окружностью»; она образована светом, обегающим вокруг черной дыры по всевозможным круговым орбитам. Каждая звезда во Вселенной посылает хоть немного света именно на такое расстояние от черной дыры, что этот свет захватывается на фотонную сферу. Наконец, те лучи света, которые нацелены почти прямо на черную дыру, «всасываются» в нее. Такие лучи навсегда уходят из внешнего мира – черная дыра их буквально поглощает.

Что касается человека, падающего на черную дыру, то следует уделить внимание следующим любопытным эффектам. Предположим, что человек падает вниз ногами к черной дыре. Его

падение все время свободное, так что человек находится в состоянии невесомости. Однако при сближении с черной дырой человек начнет ощущать нечто необычное, поскольку его ноги оказываются ближе к черной дыре, чем голова. Дело в том, что ноги будут падать быстрее, чем голова. В результате тело человека станет вытягиваться в длинную тонкую нить. К моменту пересечения горизонта его длина может достичь сотни километров.

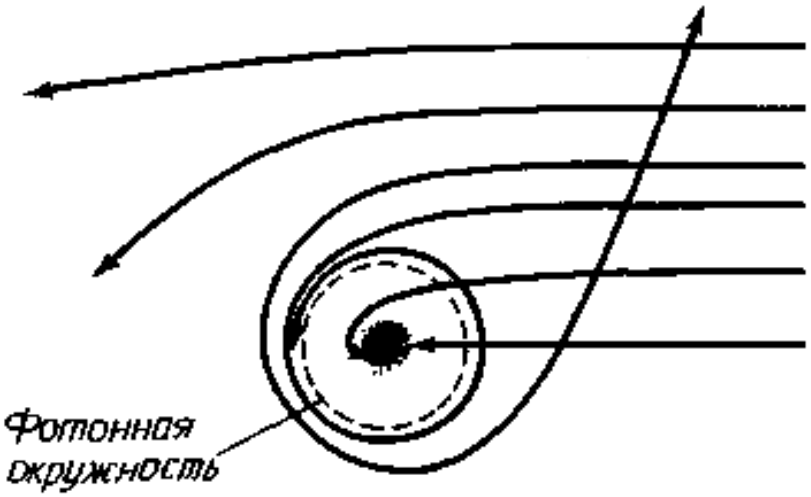


Рис. 2.16. *Лучи света отклоняются мощным гравитационным полем, окружающим черную дыру. Вдали от дыры лучи искривляются слабо. Если же луч проходит совсем рядом с дырой, она может захватить его на круговую орбиту или засосать в себя совсем.*

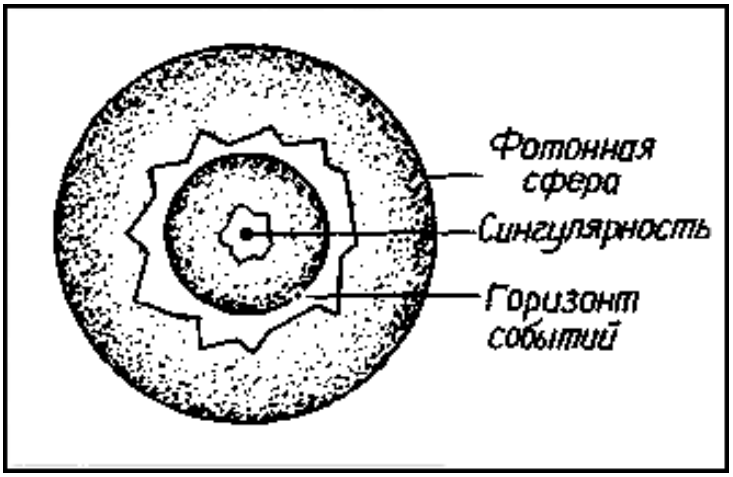


Рис. 2.17. *Шварцшильдовская черная дыра. Простейшая идеальная черная дыра (незаряженная и невращающаяся) окружена фотонной сферой. Сферический горизонт событий представляет собою «поверхность» черной дыры. В центре дыры находится сингулярность.*

Падение на черную дыру – занятие не из приятных. В самом деле, еще задолго до того, как человек приближается к фотонной сфере, его тело будет разорвано приливными силами невероятной мощи (рис. 2.18).

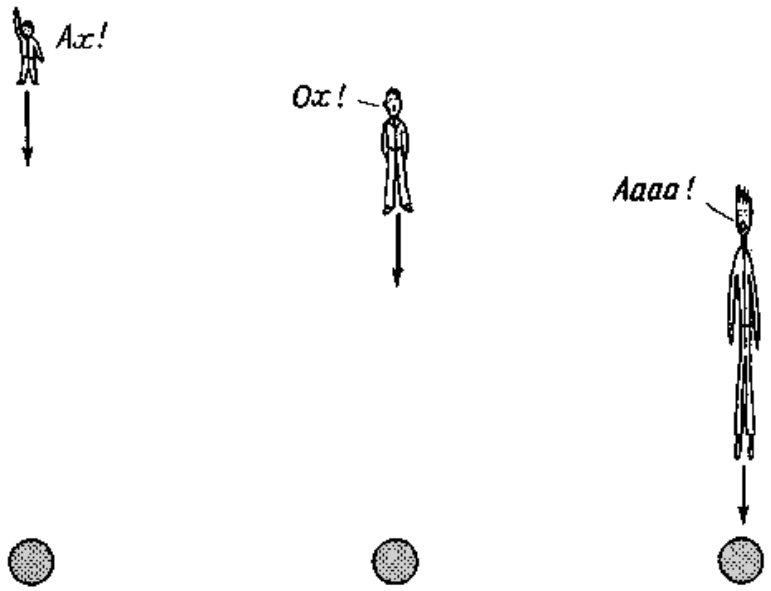


Рис. 2.18. *Схематическое изображение падения человека на черную дыру. При падении на черную дыру наблюдатель растягивается и разрывается на части огромными приливными силами.*

2.4.3.1. Образование черных дыр

Черные дыры звездных масс. Самый очевидный путь образования черной дыры – коллапс ядра массивной звезды. Пока в недрах звезды не истощился запас ядерного топлива, ее равновесие поддерживается за счет термоядерных реакций (превращение водорода в гелий, затем в углерод, и т.д., вплоть до железа у наиболее массивных звезд). Выделяющееся при этом тепло компенсирует потерю энергии, уходящей от звезды с ее излучением и звездным ветром. Термоядерные реакции поддерживают высокое давление в недрах звезды, препятствуя ее сжатию под действием собственной гравитации. Однако со временем ядерное топливо истощается и звезда начинает сжиматься. Наиболее быстро сжимается ядро звезды, при этом оно сильно разогревается (его гравитационная энергия

переходит в тепло) и нагревает окружающую его оболочку. В итоге звезда теряет свои наружные слои в виде медленно расширяющейся планетарной туманности или катастрофически сброшенной оболочки сверхновой. А судьба сжимающегося ядра зависит от его массы. Расчеты показывают, что если масса ядра звезды не превосходит трех масс Солнца, то она «выигрывает битву с гравитацией»: его сжатие будет остановлено давлением вырожденного вещества, и звезда превратится в белый карлик или нейтронную звезду. Но если масса ядра звезды более трех солнечных, то уже ничто не сможет остановить его катастрофический коллапс, и оно быстро уйдет под горизонт событий, став черной дырой.

Астрономические наблюдения хорошо согласуются с этими расчетами: все компоненты двойных звездных систем, проявляющие свойства черных дыр (в 2005 г. их было известно около 20), имеют массы от 4 до 16 масс Солнца. Теория звездной эволюции указывает, что за 12 млрд. лет существования нашей Галактики, содержащей порядка 100 млрд. звезд, в результате коллапса наиболее массивных из них должно было образоваться несколько десятков миллионов черных дыр.

Сверхмассивные черные дыры. Черные дыры очень большой массы (от миллионов до миллиардов масс Солнца) могут находиться в ядрах крупных галактик, в том числе, и нашей. Об этом свидетельствуют астрономические наблюдения, хотя пути формирования этих гигантских черных дыр не вполне ясны.

Первичные черные дыры. Если в нашу эпоху высокая плотность вещества, необходимая для рождения черной дыры, может возникнуть лишь в сжимающихся ядрах массивных звезд, то в далеком прошлом, сразу после большого взрыва, с которого около 14 млрд. лет назад началось расширение Вселенной, высокая плотность материи была повсюду. Поэтому небольшие флуктуации плотности в ту эпоху могли приводить к рождению черных дыр любой массы, в том числе и малой. Но самые маленькие из них в силу квантовых

эффектов должны были испариться, потеряв свою массу в виде излучения и потоков частиц.

Квантовые черные дыры. Наконец, существует гипотетическая возможность рождения микроскопических черных дыр при взаимных соударениях быстрых элементарных частиц.

2.4.3.2. Изучение черных дыр. Свойства черных дыр

Изучая фундаментальные свойства материи и пространства-времени, физики считают исследование черных дыр одним из важнейших направлений, поскольку вблизи них проявляются скрытые свойства гравитации. Для поведения вещества и излучения в слабых гравитационных полях различные теории тяготения дают почти неразличимые прогнозы, однако в сильных полях, характерных для черных дыр, предсказания различных теорий существенно расходятся, что дает ключ к выявлению лучшей среди них. В рамках наиболее популярной сейчас теории гравитации – ОТО – свойства черных дыр изучены весьма подробно. Вот некоторые важнейшие из них:

1) Вблизи черной дыры время течет медленнее, чем вдали от нее. Если удаленный наблюдатель бросит в сторону черной дыры зажженный фонарь, то увидит, как фонарь будет падать все быстрее и быстрее, но затем, приближаясь к поверхности Шварцшильда, начнет замедляться, а его свет будет тускнеть и краснеть (поскольку замедлится темп колебания всех его атомов и молекул). С точки зрения далекого наблюдателя фонарь практически остановится и станет невидим, так и не сумев пересечь поверхность черной дыры. Но если бы наблюдатель сам прыгнул туда вместе с фонарем, то он за короткое время пересек бы поверхность Шварцшильда и упал к центру черной дыры, будучи при этом разорван ее мощными приливными гравитационными силами, возникающими из-за разницы притяжения на разных расстояниях от центра.

2) Каким бы сложным ни было исходное тело, после его сжатия в черную дыру внешний наблюдатель может определить только три его параметра: полную массу, момент импульса (связанный с вращением) и электрический заряд. Все остальные особенности тела (форма, распределение плотности, химический состав и т.д.) в ходе коллапса «стираются». То, что для стороннего наблюдателя структура черной дыры выглядит чрезвычайно простой, Джон Уилер выразил шутливым утверждением: «Черная дыра не имеет волос».

3) Если исходное тело вращалось, то вокруг черной дыры сохраняется «вихревое» гравитационное поле, увлекающее все соседние тела во вращательное движение вокруг нее. Поле тяготения вращающейся черной дыры называют полем Керра (математик Рой Керр в 1963 г. нашел решение соответствующих уравнений). Этот эффект характерен не только для черной дыры, но для любого вращающегося тела, даже для Земли. По этой причине размещенный на искусственном спутнике Земли свободно вращающийся гироскоп испытывает медленную прецессию относительно далеких звезд. Вблизи Земли этот эффект едва заметен, но вблизи черной дыры он выражен гораздо сильнее: по скорости прецессии гироскопа можно измерить момент импульса черной дыры, хотя сама она не видна.

4) Все вещество внутри горизонта событий черной дыры непременно падает к ее центру и образует сингулярность с бесконечно большой плотностью. Английский физик Стивен Хокинг определяет сингулярность как «место, где разрушается классическая концепция пространства и времени так же, как и все известные законы физики, поскольку все они формулируются на основе классического пространства-времени».

5) Кроме этого С. Хокинг открыл возможность очень медленного самопроизвольного квантового «испарения» черных

дыр. В 1974 г. он доказал, что черные дыры (не только вращающиеся, но любые) могут испускать вещество и излучение, однако заметно это будет лишь в том случае, если масса самой дыры относительно невелика. Мощное гравитационное поле вблизи черной дыры должно рождать пары частица-античастица. Одна из частиц каждой пары поглощается дырой, а вторая испускается наружу. Идея об «испарении» черных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

2.4.3.3. Поиск черных дыр

Расчеты в рамках ОТО указывают лишь на возможность существования черных дыр, но отнюдь не доказывают их наличия в реальном мире. Открытие черной дыры стало бы важным шагом в развитии физики. Поиск изолированных черных дыр в космосе невероятно труден: требуется заметить маленький темный объект на фоне космической черноты. Но есть надежда обнаружить черную дыру по ее взаимодействию с окружающими астрономическими телами, по ее характерному влиянию на них.

Учитывая важнейшие свойства черных дыр (массивность, компактность и невидимость) астрономы постепенно выработали стратегию их поиска. Проще всего обнаружить черную дыру по ее гравитационному взаимодействию с окружающим веществом, например, с близкими звездами. Попытки обнаружить невидимые массивные спутники в двойных звездах не увенчались успехом. Но после запуска на орбиту рентгеновских телескопов выяснилось, что черные дыры активно проявляют себя в тесных двойных системах, где они отбирают вещество у соседней звезды и поглощают его, нагревая при этом до температуры в миллионы градусов и делая его на короткое время источником рентгеновского излучения (рис. 2.19).

Поскольку в двойной системе черная дыра в паре с нормальной звездой обращается вокруг общего центра массы, используя эффект

Доплера, удается измерить скорость звезды и определить массу ее невидимого компаньона. Астрономы выявили уже несколько десятков двойных систем, где масса невидимого компаньона превосходит 3 массы Солнца и заметны характерные проявления активности вещества, движущегося вокруг компактного объекта, например, очень быстрые колебания яркости потоков горячего газа, стремительно вращающегося вокруг невидимого тела.

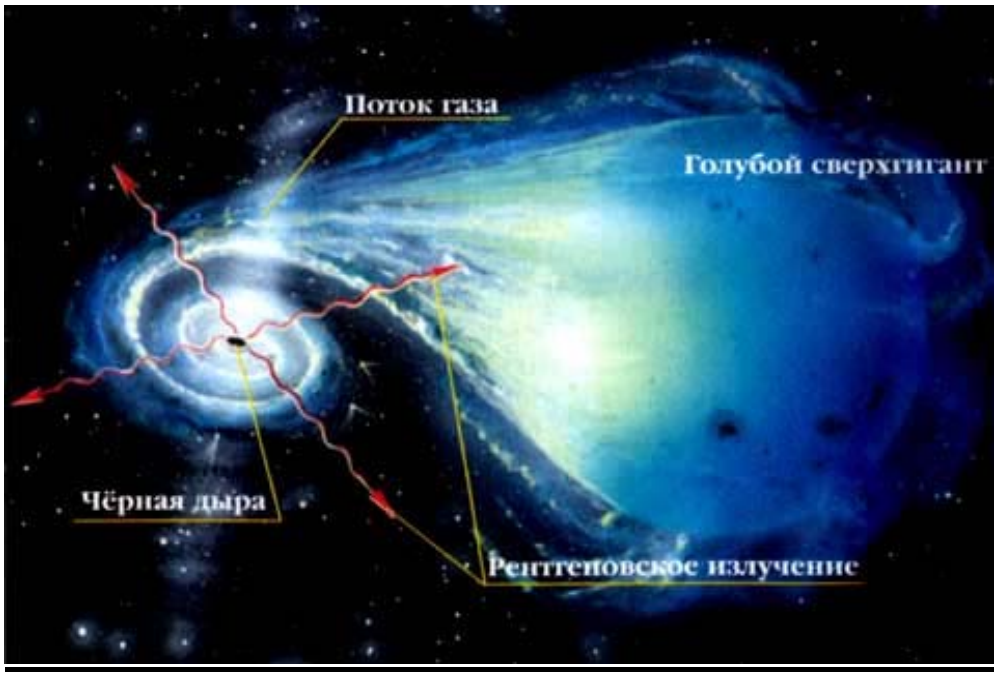


Рис. 2.19. *Схематическое изображение двойной системы звезд, в которой на черную дыру перетекает вещество с соседней оптической звезды.*

Другим направлением поиска черных дыр служит изучение ядер галактик. В них скапливаются и уплотняются огромные массы вещества, сталкиваются и сливаются звезды, поэтому там могут формироваться сверхмассивные черные дыры, превосходящие по массе Солнце в миллионы раз. Они притягивают к себе окружающие звезды, создавая в центре галактики пик яркости и разрушают близко подлетающие к ним звезды, вещество которых образует вокруг черной дыры аккреционный диск и частично выбрасывается вдоль оси диска в виде быстрых струй и потоков частиц. Это не умозрительная теория, а процессы, реально наблюдаемые в ядрах некоторых галактик и указывающие на присутствие в них черных дыр с массами до нескольких миллиардов масс Солнца. В последнее

время получены весьма убедительные доказательства того, что и в центре нашей Галактики есть черная дыра с массой около 2,5 млн. масс Солнца.

2.4.4. Экспериментальные доказательства и следствия общей теории относительности

В слабых гравитационных полях предсказания ОТО совпадают с результатами применения ньютоновского закона всемирного тяготения с небольшими поправками, которые растут по мере увеличения напряжённости поля.

Первыми предсказанными и проверенными экспериментальными следствиями ОТО считаются три классических эффекта, перечисленных ниже в хронологическом порядке их первой проверки:

- Дополнительный сдвиг перигелия орбиты Меркурия по сравнению с предсказаниями механики Ньютона.
- Отклонение светового луча в гравитационном поле Солнца.
- Гравитационное красное смещение или замедление времени в гравитационном поле.

Смещение перигелиев планетных орбит. Согласно законам И. Кеплера, планеты Солнечной системы движутся по эллипсам, в общем фокусе которых находится Солнце. Планеты не только притягиваются Солнцем, но и притягиваются друг к другу, хотя и гораздо слабее, чем к Солнцу, поскольку их массы намного меньше массы Солнца. Если учесть эти малые взаимные возмущения, то наблюдаемое движение планет хорошо согласуется с предсказаниями ньютоновской теории, за исключением малых деталей. Наиболее известное расхождение между теорией и экспериментом – так называемое смещение перигелия Меркурия.

Перигелий – точка орбиты максимального приближения планеты к Солнцу. Из-за возмущающего действия других планет положение перигелия слегка изменяется при каждом орбитальном

прохождении планеты через эту точку (рис. 2.20). Однако, наблюдаемое смещение перигелия Меркурия, регистрируемое с начала XIX в., на 43 угловые секунды за сто лет больше предсказываемого ньютоновской теорией. Теория Эйнштейна объяснила дополнительное смещение перигелия Меркурия тем, что вблизи перигелия гравитация Солнца сильнее, чем на самой дальней точке орбиты планеты. В связи с этим у самой близкой к Солнцу планеты этот эффект проявляется сильнее всего.

Позже релятивистское смещение перигелиев наблюдалась также у Венеры, Земли, астероида Икар и как более сильный эффект в системах двойных пульсаров.

Другой эффект – изменение орбиты, связанное с гравитационным излучением двойной и более кратной системы тел. Этот эффект наблюдается в системах с близко расположенными звёздами и заключается в уменьшении периода обращения. Он играет важную роль в эволюции близких двойных и кратных звёзд.

Отклонение света. Другим предсказанием ОТО является искривление светового луча или другого электромагнитного излучения при прохождении вблизи массивного объекта, например Солнца. Аналогичное отклонение следует и из ньютоновской теории тяготения, но ОТО предсказывает вдвое больший эффект.

Первые наблюдения по проверке предсказаний Эйнштейна проводились в период полного затмения Солнца 29 мая 1919 г. двумя британскими экспедициями, одна из которых базировалась на о. Принсипи вблизи западного побережья Африки, а другая – в Бразилии (рис. 2.21). Результаты наблюдений подтвердили предсказания ОТО, а весть об этом успехе сделала с той поры имя Эйнштейна всемирно известным.

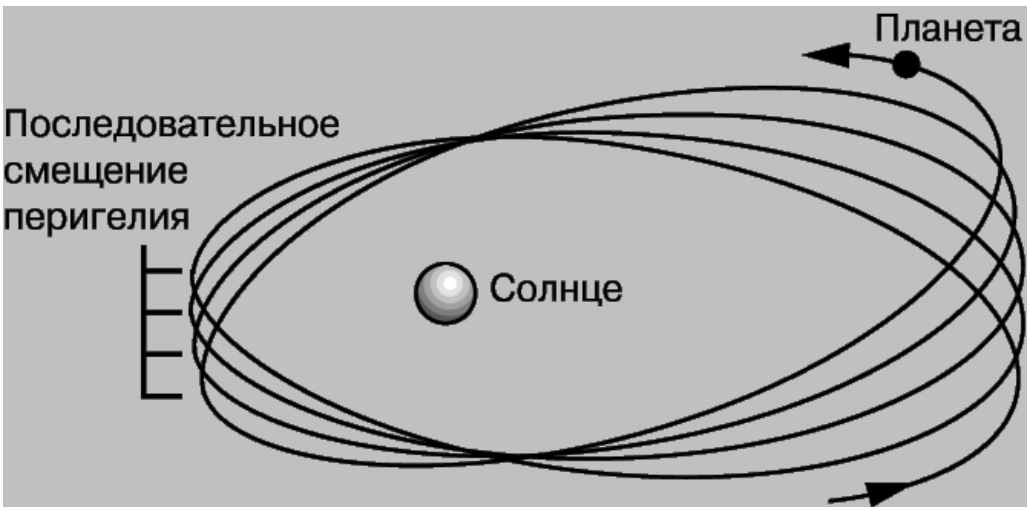


Рис. 2.20. *Смещение перигелия планеты – это изменение положения ее эллиптической орбиты относительно Солнца. С давних пор известно расхождение между предсказаниями ньютоновской теории и результатами наблюдений за перигелием Меркурия. То, что это отклонение удалось объяснить воздействием на планету сильного гравитационного поля Солнца, явилось одним из важнейших свидетельств в пользу общей теории относительности.*

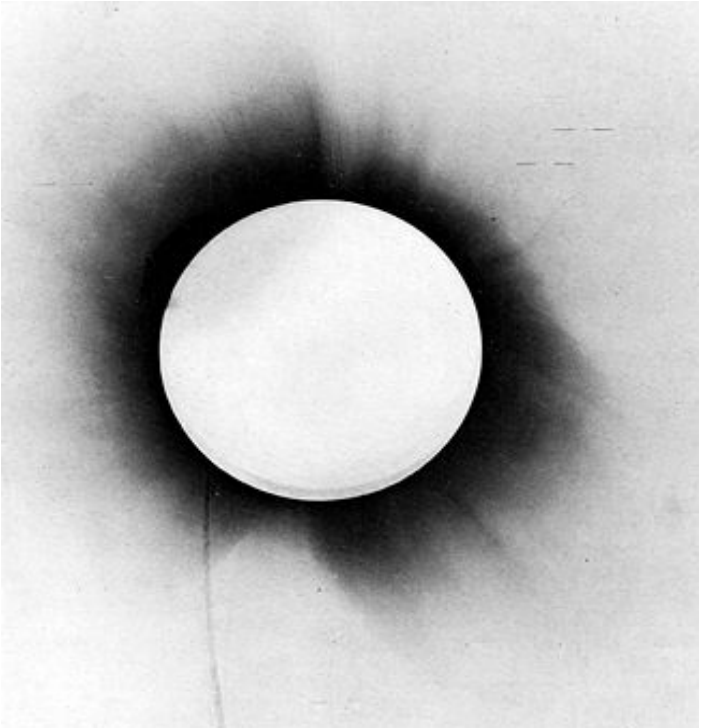


Рис. 2.21. *Самая известная ранняя проверка общей теории относительности стала возможна благодаря полному солнечному затмению 1919 года. Артур Эддингтон показал, что свет от звезды искривлялся вблизи Солнца в точном соответствии с предсказаниями общей теории относительности.*

Еще один эффект, связанный с отклонением света получил название **гравитационное линзирование**. Оно происходит, когда один отдалённый массивный объект находится вблизи или непосредственно на линии, соединяющей наблюдателя с другим объектом, намного более удалённым. В этом случае искривление траектории света более близкой массой приводит к искажению формы удалённого объекта, к примеру, к увеличению его совокупной яркости. Первым примером гравитационного линзирования было получение в 1979 г. двух близких изображений одного и того же квазара *QSO 0957+16 A, B* английскими астрономами Д. Уолшем и др. Вскоре нашли и саму линзу – далёкую галактику, лежащую между Землей и квазаром. С тех пор было найдено много других примеров отдалённых галактик и квазаров, затрагиваемых гравитационным линзированием. Например, известен так называемый «крест Эйнштейна», когда галактика учетверяет изображение далёкого квазара в виде креста. Когда наблюдаемый объект находится непосредственно позади другого объекта со сферически-симметричным полем тяготения, то изображение более отдалённого объекта наблюдается как кольцо вокруг более близкого объекта. Если удалённый объект будет немного смещён в одну сторону и/или поле тяготения не сферически-симметричное, то вместо этого появятся части кольца – дуги. Наконец, у любой звезды может увеличиваться яркость, когда перед ней проходит компактный массивный объект. В этом случае увеличенные и искажённые из-за гравитационного отклонения света изображения дальней звезды не могут быть разрешены (они находятся слишком близко друг к другу) и наблюдается просто повышение яркости звезды.

Гравитационное красное смещение и замедление времени. **Гравитационное красное смещение** – красное смещение, обусловленное влиянием сильного гравитационного поля. Фотоны теряют часть своей энергии на преодоление тяготения, становятся

менее энергичными, т.е. «краснеют». Гравитационное красное смещение было обнаружено в спектрах звёзд и Солнца.

Из-за **гравитационного замедления времени** любые часы будут идти тем медленнее, чем глубже в гравитационной яме (ближе к гравитирующему телу) они находятся.

Гравитационное замедление времени влечёт за собой ещё один эффект, названный эффектом Шапиро (также известный как **гравитационная задержка сигнала**). Из-за этого эффекта в поле тяготения электромагнитные сигналы идут дольше, чем в отсутствие этого поля. Данное явление было обнаружено при радиолокации планет солнечной системы и космических кораблей, проходящих позади Солнца, а также при наблюдении сигналов от двойных пульсаров.

Гравитационные волны. Гравитационная волна – это колебания гравитационного поля, которые, подобно свету и другим электромагнитным волнам, могут переносить энергию. В теории Ньютона нет ничего подобного, но ОТО предсказывает существование гравитационных волн, распространяющихся со скоростью света.

Любое вращающееся несимметричное тело, а также система двух или более тел, движущихся одно относительно другого, должны излучать гравитационные волны. Однако из-за малости гравитационных сил по сравнению с электромагнитными, а отчасти из-за некоторых следствий технического характера, вытекающих из принципа эквивалентности, обнаружить гравитационные волны современными техническими средствами намного сложнее, чем электромагнитные. Существует, однако, убедительное косвенное подтверждение существования гравитационных волн, а также предсказаний ОТО, касающихся количества энергии, переносимой гравитационными волнами. Эти данные получены в процессе исследования знаменитого астрономического объекта – двойного пульсара *PSR 1913+16*, открытого в 1975 г. Р. Халсом и Д. Тейлором в обсерватории Аресибо (Пуэрто-Рико). Пульсар представляет собой

быстро вращающуюся нейтронную звезду, генерирующую направленный пучок радиоволн, подобный лучу вращающегося прожектора. При регистрации их на Земле фиксируется импульсное излучение с периодом, равным периоду вращения нейтронной звезды. Двойной пульсар состоит из двух вращающихся вокруг общего центра масс звезд, при этом одна звезда – радиопульсар, а другая – либо тоже нейтронная звезда, либо белый карлик. Движение пульсара по его орбите может быть с большой точностью прослежено путем измерения времени прихода радиоимпульсов. Согласно ОТО, если система излучает гравитационные волны, то орбита пульсара должна немного изменяться. Регулярные наблюдения за пульсаром *PSR 1913+16* убедительно показывают, что он излучает гравитационные волны с предсказываемой ОТО интенсивностью.

В завершение параграфа следует отметить, что, несмотря на ошеломляющий успех общей теории относительности, в научном сообществе существует дискомфорт, связанный, во-первых, с тем, что её не удаётся переформулировать как классический предел квантовой теории, а во-вторых, с тем, что сама теория указывает границы своей применимости, так как предсказывает появление неустранимых физических расходимостей при рассмотрении чёрных дыр и вообще сингулярностей пространства-времени. Для решения этих проблем был предложен ряд альтернативных теорий, некоторые из которых являются квантовыми.

Подумайте и ответьте:

1) В чем состоит суть общей теории относительности как обобщения специальной теории относительности на случай рассмотрения гравитационных эффектов и явлений?
2) На мысленном эксперименте Эйнштейна продемонстрируйте принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс?
3) Как связано понятие черной дыры с сингулярностью пространства-времени? Опишите основные типы и свойства

черных дыр. Как в настоящее время осуществляется поиск черных дыр во Вселенной?

4) Опишите ключевые экспериментальные подтверждения общей теории относительности:

а) смещение перигелиев планетных орбит,

б) отклонение света,

в) гравитационное красное смещение,

г) гравитационное замедление времени.

ГЛАВА 3

§ 3.1. МИКРО-, МАКРО-, МЕГАМИРЫ

3.1.1. Пространственно-временные масштабы материи

Весь окружающий нас материальный мир условно можно разделить на три уровня объектов, которые отличаются друг от друга пространственно-временными масштабами: микромир, макромир и мегамир.

Микромир – мир предельно малых, непосредственно не наблюдаемых человеком микрообъектов, пространственная размерность которых исчисляется от 10^{-8} до 10^{-18} м, а время жизни – до 10^{-24} с (хотя время жизни протона превышает $3 \cdot 10^{29}$ лет). К объектам микромира можно отнести разнообразные элементарные частицы, ядра атомов и атомы.

Макромир – мир макрообъектов, размерность которых соотносима с масштабами человеческого опыта: пространственные величины выражаются в миллиметрах, сантиметрах и километрах, а время – в секундах, минутах, часах, годах. Все наблюдаемые на нашей планете процессы и объекты относятся к макромиру (молекулы и комплексы молекул; макрофизические комплексы: кристаллы, коллоидные системы, различные тела от песчинки до материка; клетки и комплексы клеток; живые организмы и их сообщества – популяции, виды, экологические системы и биосфера)

Мегамир – мир значительных космических масштабов и скоростей, расстояния в котором измеряются внесистемными величинами (астрономическими единицами, световыми годами и парсеками), а время существования космических объектов – миллионами и миллиардами лет. К объектам мегамира относятся все космические тела – планеты и планетные системы, звезды и газово-звездные комплексы, галактики, Метагалактика и вся Вселенная.

Расстояния между отдельными объектами мегамира многократно превышают их размеры.

Масштабы объектов микромира и мегамира, а также происходящие в них процессы, настолько несоизмеримы с обыденным миром человека (макромиром), что часто он просто не может представить такие тела и явления, они потрясают его воображение и кажутся совершенно удивительными и необычными. Кроме того, в микромире выполняются законы квантовой физики и специальной теории относительности, в мегамире – законы классической физики и общей теории относительности, тогда как в «нашем» макромире действуют лишь законы классической физики. Также в микромире господствуют силы сильного и слабого взаимодействий, в макромире подавляющее большинство процессов определяются электромагнитным взаимодействием, а в мегамире основную роль играет гравитационное взаимодействие.

Для измерения расстояний в мегамире, которые в километрах составляют величины со многими нулями (поэтому такие числа и называются астрономическими), используют особые внесистемные единицы измерения. Мерой расстояний в Солнечной системе служит **астрономическая единица** (а.е.) – это среднее расстояние от Земли до Солнца:

$$1 \text{ а.е.} \cong 1.5 \cdot 10^{11} \text{ м или } 150 \text{ млн. км.}$$

Эту величину можно использовать лишь при определении расстояний между объектами Солнечной системы. Средний размер планетной системы – около 40 а.е., а самые внешние границы находятся на расстояниях до 100 000 а.е. Поэтому при определении расстояний до звезд нашей Галактики применяют понятия световой год и парсек. **Световой год** (св. год) равен расстоянию, которое луч света со скоростью около 300 000 км/с проходит за один земной год:

$$1 \text{ св. год} =$$

$$300\,000\,000 \text{ м/с} \cdot 365 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} \cong 9.5 \cdot 10^{15} \text{ м.}$$

Так от Солнца до Земли свет летит около 8 мин, а самая близкая к Солнцу звезда – Проксима в созвездии Центавра находится на

расстоянии 4,2 св. лет. В профессиональной астрономической литературе расстояния обычно выражают в **парсеках** (пк) (рис. 3.1) – это расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом 1″:

$$1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.е.} \cong 3.1 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3{,}26 \text{ св. лет.}$$

Расстояния до звезд достигают десятков, сотен и тысяч световых лет, от Солнца до центра нашей Галактики около 8 000 пк, а размеры Галактики составляют 30 000 пк или более 90 000 св. лет.

До галактик, которые находятся далеко за пределами нашей Галактики, расстояния уже выражаются в миллионах парсек (Мпк) или миллиардах световых лет.

Рис. 3.1. *Определение парсека.*

3.1.2. Структура мегамира

Структурные объекты мегамира, изучаемые в астрономии по своим характеристикам и пространственно-временным масштабам можно разделить на планеты, звезды и галактики.

Планета – каменное или газообразное небесное тело чаще шарообразной формы, которое двигается по орбите вокруг звезды и светит за счет отражения света этой звезды. Характерными примерами планет являются большие и малые планеты Солнечной

системы. В августе 2006 г. на XXVI Ассамблее Международного Астрономического Союза понятие планеты было уточнено и было принято, что, кроме вышеуказанных свойств, планета должна иметь достаточную массу, чтобы под действием своего тяготения стать шарообразной и «расчистить» свою траекторию движения от других тел близкой массы. Максимальные диаметры планет достигают десятков тысяч километров.

Гораздо большими по размерам и совершенно другими по физическому состоянию, химическому составу и свойствам являются звезды. **Любая звезда представляет собой небесное тело, в котором естественным образом происходили ранее, происходят сейчас или будут происходить реакции термоядерного синтеза.** Звезды совершенно разнообразны по своим свойствам (см. § 5.2) и входят в состав более крупных самостоятельных систем – **галактик**.

Все видимые на небе звезды образуют гигантскую единую систему – Галактику, которая называется Млечный Путь. **Млечный Путь** – грандиозная система звезд, видимая на небе как светлая туманная полоса. На древнегреческом языке слово «γαλαξίας» означает «млечный», поэтому Млечный Путь и похожие на него звездные системы называют галактиками. Галактика содержит не менее 300 млрд. звезд, межзвездное вещество (газ и пыль), космические лучи и частицы, магнитные поля и т.д. Общая масса Галактики оценивается в $3 \cdot 10^{12}$ масс Солнца. Большинство ее звезд находится внутри плоского линзообразного диска размером около 100 000 св. лет, погруженного в более разреженное звездное облако сферической формы – гало. Таким образом, Галактика похожа на двояковыпуклую линзу (см. рис. 3.2).

Одной из самых интересных областей Галактики считается ее центр (ядро), который находится в направлении созвездия Стрельца на расстоянии около 25 000 св. лет от Земли. Солнце вместе со своей системой планет расположено вблизи галактической плоскости, движется вокруг центра галактики со скоростью около 220 км/с и совершает один оборот за 250 млн. лет. Видимое излучение

центральных областей Галактики полностью скрыто от нас мощными слоями поглощающей свет пыли. Учеными предполагается существование в ядре очень массивной черной дыры массой в миллион раз превышающей солнечную. В галактическом ядре и окружающей его сферической подсистемы галактики (балдж) сосредоточены самые старые звезды, возраст которых приближается к возрасту галактики. Звезды среднего и молодого возраста расположены в галактическом диске.

Еще один тип объектов Галактики – **звездные скопления** – группы звезд, связанных силами тяготения и имеющих совместное происхождение и близкий химический состав. Наблюдения в XIX в. позволили установить, что скопления звезд разделяются на шаровые и рассеянные. Шаровые скопления звезд – старейшие объекты нашей Галактики: они образовались почти одновременно с ней. Расстояния до этих скоплений очень велики и содержат они до миллиона звезд. Сейчас известно свыше 500 шаровых скоплений, всего же их в Галактике может быть около тысячи. Рассеянные скопления состоят из нескольких сот или тысяч звезд. Масса рассеянных скоплений невелика, и их гравитационное поле не в состоянии долго противостоять разрушению скоплений. Просуществовав миллионы лет, их звезды «рассеиваются» среди других звезд Галактики из-за ее вращения.

Пространство между звездами в Галактике – **межзвездная среда** – не пустое, оно заполнено газом, пылью, электромагнитными полями и космическими лучами. Основную массу газа составляет водород и, совсем немного, атомы других химические элементов, кроме этого наблюдаются различные органические соединения, которые могут играть важную роль для возникновения жизни во Вселенной. Вся наша Галактика погружена в корону – невидимое межзвездное вещество, которое, вероятно, состоит из элементарных частиц.

Таким образом, **галактика представляет собой гравитационно-связанную систему из миллиардов звезд,**

межзвездных газа и пыли, а также темной материи, состоящей из остатков эволюции звезд (черных дыр, нейтронных звезд), а также разнообразных элементарных частиц. Все объекты галактики вращаются вокруг ее центра и имеют общее происхождение.

Рис. 3.2. *Схема строения нашей Галактики «с ребра» и «сверху».*

Млечный Путь относится к числу крупных галактик, хотя известны гораздо большие по размерам системы. Самые маленькие галактики содержат в миллионы раз меньше звезд. Ближайшими к нам и самыми яркими на небе галактиками являются Магеллановы Облака (видны в южном полушарии Земли). Они относятся к самым крупным видимым на небе астрономическим объектам.

Внешний вид и структура звездных систем весьма различны, и в соответствии с этим галактики делятся на морфологические типы, разделение на которые впервые предложил в 30-е годы XX в. Эдвин Хаббл:

- **эллиптические**, имеющие круглую или эллиптическую форму, они не содержат молодых звезд, пыль и газовые туманности и являются наиболее простыми по структуре: распределение звезд равномерно убывает от центра, примерами

являются гигантские эллиптические галактики в центрах скоплений галактик (галактика *М 87* в созвездии Девы);

- **спиральные**, включающие в себя звезды различного возраста, пыль и облака газа, которые образуют спиральную структуру, это самый многочисленный вид галактик, к ним относятся Млечный Путь, большая галактика *М 31* в созвездии Андромеды;
- **неправильные**, обладающие большим количеством молодых звезд (сверхгигантов), газовыми и пылевыми туманностями и не имеющие определенную форму и центральное ядро, например Магеллановы Облака.

Кроме того существует большое число необычных галактик, например, галактики с активными ядрами, взаимодействующие друг с другом и пр.

Галактики редко наблюдаются поодиночке. Более 90% ярких галактик входят либо в небольшие группы, содержащие лишь несколько крупных членов, либо в скопления галактик, в которых их насчитывается многие тысячи. В окрестностях нашей Галактики, расположены еще около 40 галактик, которые образуют Местную группу галактик. **Скопления галактик, разбросанные по всей Метагалактике и образующие крупномасштабную ячеистую структуру – это самые крупные устойчивые системы во Вселенной.** Только в известных скоплениях насчитывают миллионы разнообразных галактик, причем расстояния между соседними объектами во много раз превышает их размеры.

По человеческим меркам галактики невообразимо огромны, но в масштабах Вселенной они ничтожно малы. Расстояние до одной из самых близких – галактики *М 31* достигает двух млн. св. лет. То есть мы видим ее такой, какой она была 2 млн. лет назад. С помощью крупнейших телескопов у границы Метагалактики астрономы обнаруживают объекты, свет от которых идет несколько миллиардов лет.

Метагалактика – часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследований — представляет собой совокупность сотен миллиардов галактик, подобных нашей звездных систем, в которых звезды связаны друг с другом силами гравитации. Ее структура определяется их распределением в пространстве, заполненном чрезвычайно разреженном межгалактическим газом и пронизываемом энергичными межгалактическими частицами. Согласно современным представлениям, Метагалактика на больших масштабах в сотни Мпк имеет ячеистую (сетчатую, пористую) структуру. Возраст Метагалактики близок к возрасту Вселенной, и по современным данным оценивается в 13,7 млрд. лет. Метагалактика – это лишь видимая наблюдаемая часть Вселенной. Предполагается, что реальная Вселенная значительно больше по размерам.

Подумайте и ответьте:

1) Что собой представляют микро-, макро- и мегамиры? Приведите примеры объектов указанных структурных уровней.
2) Каковы масштабы объектов Вселенной (планет, звезд, галактик) и расстояния между ними?
3) Сформулируйте понятия астрономическая единица, световой год и парсек. Для каких объектов они используются?
4) Что такое галактика? Опишите ее строение и типы объектов, входящих в ее состав.
5) Какие морфологические типы галактик существуют?
6) Что такое Вселенная? Какова ее структура?

§ 3.2. СИСТЕМНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

3.2.1. Материя и ее структурные уровни

Материя (лат. «materia» – вещество) – это обозначение объективной реальности, которая дана человеку в его ощущениях и

существует независимо от нас. Материя представляет собой бесконечное множество всех существующих в мире объектов и систем, включая их свойства, связи и формы движения. Материя включает в себя не только все непосредственно наблюдаемые сейчас природные объекты и тела, но и все те, которые будут познаны в будущем на основе совершенствования средств наблюдения и эксперимента. Понятие материи основано на принципе материального единства мира, первичности материи по отношению к человеческому сознанию и принципа познаваемости мира на основе последовательного изучения конкретных свойств, связей и форм движения материи.

Материя как объективная реальность включает в себя **вещество** в четырех его агрегатных состояниях (твердом, жидком, газообразном, плазменном) и **физические поля** (сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное), а также их свойства, отношения, продукты взаимодействия. В понятие материи входит и антивещество (совокупность античастиц: позитрон или антиэлектрон, антипротон, антинейтрон и т.д.). Нужно понимать, что антивещество это не антиматерия, а также непосредственно материя.

Материя и движение всецело связаны друг с другом: нет движения без материи, как нет и материи без движения. Одни формы или виды сменяются другими. Абсолютный покой равнозначен несуществованию. Реальность это неделимая движущаяся непрерывность. И движение, и покой можно идентифицировать только по отношению к какой-то определенной системе отсчета.

Движущаяся материя существует в пространстве и во времени. Понятие пространства служит для выражения свойства протяженности и порядка сосуществования материальных систем и их состояний. Оно объективно, универсально (всеобщая форма) и необходимо. В понятии времени определяется длительность и последовательность смены состояний материальных систем. Время объективно, неотвратимо и необратимо. Следует различать философские и естественнонаучные представления о пространстве и

времени. Философский подход включает четыре концепции пространства и времени: субстанциальную и реляционную, статическую и динамическую.

Весь окружающий нас мир представляет собой движущуюся материю в её бесконечно разнообразных формах и проявлениях, со всеми её свойствами, связями и отношениями.

Современная наука выделяет три структурных уровня материи: микро-, макро- и мегамир. Данные уровни рассматриваются в других параграфах настоящей главы.

Кратко основные этапы эволюции картин мира и взглядов на движущуюся материю можно описать следующим образом. В рамках механической картины мира, разработанной И. Ньютоном и его последователями, сложилась дискретная (корпускулярная) модель реальности. Природа рассматривалась как сложная механическая система. Материя рассматривалась как вещественная субстанция, состоящая из отдельных частиц – атомов или корпускул. Атомы абсолютно прочны, неделимы, непроницаемы, характеризуются наличием массы и веса. Существенной характеристикой ньютоновского мира было трехмерное пространство евклидовой геометрии, которое абсолютно постоянно и всегда пребывает в покое. Время представлялось как величина, не зависящая ни от пространства, ни от материи. Движение рассматривалось как перемещение в пространстве по непрерывным траекториям в соответствии с законами механики. Итогом ньютоновской картины мира явился образ Вселенной как гигантского и полностью детерминированного механизма, где события и процессы являют собой цепь взаимозависимых причин и следствий.

Механистический подход к описанию природы оказался необычайно плодотворным. Вслед за ньютоновской механикой были созданы гидродинамика, теория упругости, механическая теория тепла, молекулярно-кинетическая теория и целый ряд других научных направлений, в русле которых физика достигла огромных успехов. Однако оптические и электромагнитные явления не могли

быть полностью объяснены в рамках механистической картины мира. Это привело к созданию электромагнитной картины мира, в рамках которой была открыта качественно новая, своеобразная форма материи – физическое поле.

Следующие этапы эволюции картины мира связаны с теорией относительности Эйнштейна и квантовой механикой. Физика пришла к выводу, что материя существует в двух формах: дискретного вещества и непрерывного поля. В результате последующих революционных открытий в физике оказались разрушенными представления классической физики о веществе и поле как двух качественно своеобразных формах материи.

3.2.2. Развитие и эволюция материального мира

Развитие – это необратимое, направленное, закономерное изменение материи и сознания, их универсальное свойство. В результате развития возникает качественно новое состояние объекта, его состава или структуры. Развитие является всеобщим принципом объяснения явлений природы, общества и познания, как исторически протекающих событий.

Различают две формы развития, между которыми существует диалектическая связь: **эволюционную**, связанную с постепенными количественными изменениями объекта (эволюция), и **революционную**, характеризующуюся качественными изменениями в структуре объекта (революция).

Также выделяют прогрессивную, восходящую линию развития (прогресс) и регрессивную, нисходящую линию (регресс). **Прогресс** – это направленное развитие, для которого характерен переход от низшего к высшему, от менее совершенного к более совершенному. Развитие, как бы повторяет уже пройденные ступени, но повторяет их иначе, на более высоком уровне, как бы по спирали, а не по прямой линии. Развитие – скачкообразное, катастрофическое, революционное превращение количества в качество. Внутренние импульсы к

развитию, даваемые противоречием, сталкиванием различных сил и тенденций, действуют на данное тело или в пределах данного явления. Существует непрерывная связь всех сторон каждого явления, дающая единый, закономерный мировой процесс движения.

Основным отличием развития от других динамических процессов, например, от процесса роста, является качественное изменение во времени переменных, характеризующих состояние развивающейся системы. Причем качественное изменение носит скачкообразный характер. Постепенное монотонное изменение некоторого параметра в течение заметного времени сопровождается соответствующим постепенным изменением состояния системы, но в определенный момент происходит разрыв постепенности: состояние системы меняется скачком, система переходит на новый качественный уровень, количество переходит в качество. Затем повторяется все заново, но уже на новом качественном уровне. Данные процессы изучает синергетика, наука о самоорганизации сложных систем.

Термин «**эволюция**» имеет несколько значений, однако чаще всего он используется как синоним развития. Эволюция и революция рассматриваются как взаимообусловленные стороны развития, выступая против абсолютизации какой-либо из них. В любых процессах развития естественно наличие чередующихся участков эволюционных и революционных. Эволюция понимается как изменения в природе и обществе, их направленность, порядок и закономерности, определенное состояние какой-либо системы; рассматривается как результат более или менее длительных изменений ее предшествовавшего состояния, в более узком смысле как представление о медленном постепенном количественном изменении. Например, эволюцию в биологии можно определить как необратимое историческое развитие живой природы, которое определяется изменчивостью, наследственностью и естественным отбором организмов и сопровождается приспособлением их к

условиям существования, образованием видов, преобразованием биогеоценозов и биосферы в целом.

В XX в. идею гармонии природы сменила идея эволюции. Принцип гармонии природы, теория типов и представление об устойчивости вида отодвинулись в сознании людей на задний план, а многим казались опровергнутыми. Однако с течением времени полное обоснование эволюционной идеи породило свою противоположность. В науке XX в. вновь возродилась идея устойчивости. В.И. Вернадский сумел раскрыть на уровне биосферы в целом взаимодействие эволюционного процесса и идеи устойчивости живой природы. В 1928 г. он писал: «В геохимическом аспекте, входя как часть в мало изменяющуюся, колеблющуюся около неизменного среднего состояния биосферу, жизнь, взятая как целое, представляется устойчивой и неизменной в геологическом времени. В сложной организованности биосферы происходили в пределах живого вещества только перегруппировки химических элементов, а не коренные изменения их состава и количества – перегруппировки, не отражавшиеся на постоянстве и неизменности геологических – в данном случае геохимических процессов, в которых эти живые вещества принимали участие. Устойчивость видовых форм в течение миллионов лет, миллионов поколений, может, даже составляет самую характерную черту живых форм». Главными выводами теории Вернадского являются учения о биосфере и эволюционном переходе ее под влиянием человеческого разума в новое состояние – ноосферу: «Масса живого вещества, его энергия и степень организованности в геологической истории Земли непрерывно эволюционировали, никогда не возвращаясь в прежнее состояние. Преобразования в поверхностной оболочке планеты под влиянием деятельности человека стали естественным этапом этой эволюции. Вся биосфера, изменившись коренным образом, должна перейти в новое качественное состояние, сферу действия человеческого разума».

Переводя теорию Дарвина на язык кибернетики, И.И. Шмальгаузен показал, что само преобразование органических форм закономерно осуществляется в рамках относительно стабильного механизма, лежащего на биогеоценотическом уровне организации жизни и действующего по статистическому принципу. Это и есть высший синтез идеи эволюции органических форм с идеями устойчивости и постоянства геохимической функции жизни в биосфере. Так воедино оказались слитыми и вместе с тем поднятыми на новый современный уровень концепции Кювье, Дарвина и Вернадского.

Движение является основным свойством материи. С одной стороны предполагают, что движение является более общим подходом, а развитие есть частный случай движения, т.е. развитие не является атрибутом материи. Сторонники другой точки зрения считают, что развитие атрибут материи. Ответ связан с тем содержанием, которое вкладывается в понятие «развитие». Обычно выделяют три подхода:

– развитие как круговорот;

– развитие как необратимое качественное изменение;

– развитие как бесконечное движение от низшего к высшему.

Эти подходы справедливы, когда речь идет не о материи вообще, а о каком-либо материальном образовании. К материи в целом понятие развития сопоставимо, но не в том смысле, в каком мы говорим о развитии отдельных предметных областей. Материя как объективная реальность это именно вся совокупность вещей и явлений окружающего нас мира. Она непрерывно развивается, и это развитие не означает ничего иного, кроме непрерывного развития всех ее конкретных проявлений. Второе начало термодинамики является одним из естественнонаучных выражений принципа развития, определяющим эволюцию материи. Увеличение энтропии отражает необратимость всех реальных процессов и тем самым означает необратимое изменение всех известных форм материи, то есть их переход в какие-то иные формы, для которых уже будут

недействительны существующие законы. Второе начало имеет тот же статус, что и первое начало (закон сохранения и превращения энергии), и его действие не противоречит развитию Вселенной.

В настоящее время все более интенсивно выявляются контуры единого процесса эволюции природы. Практика современной научно-исследовательской деятельности выдвигает новые задачи в понимании эволюционных процессов и формируется некий слой знаний, не имеющий статуса отдельной науки, но составляющий важный компонент мышления современного ученого. Этот слой знания является связующим звеном между философией, диалектикой как общей теорией развития и конкретно-научными эволюционными концепциями, отражающими специфические закономерности эволюции живых организмов, химических систем, земной коры, планет и звезд.

Существует нескольких взаимосвязанных и соподчиненных понятий эволюции, сформированных в рамках естественнонаучной картины мира. Наиболее общим из них и применимым практически в пределах всей доступной исследованию области неживой и живой природы следует считать понятие эволюции как необратимого изменения структуры природных объектов. Можно определить и общую схему иерархического ступенчатого строения материи, связанную с признанием существования относительно самостоятельных и устойчивых уровней, узловых точек в ряду делений материи. Согласно этой схеме дискретные объекты определенного уровня материи, вступая в специфические взаимодействия, служат исходными при образовании и развитии принципиально новых типов объектов с иными свойствами и формами взаимодействия. При этом большая устойчивость и самостоятельность исходных, относительно элементарных объектов обусловливает повторяющиеся и сохраняющиеся свойства, отношения и закономерности объектов более высокого уровня. Это положение едино для систем различной природы. Все сложные природные эволюционные системы имеют иерархическую

организацию. И природная, и искусственная сложная система может считаться организованной, только в том случае, если она основана на некоей иерархии или связи нескольких иерархий. Не известны другие организованные системы, устроенные иначе. Одна из важных задач в области изучения иерархии структурных уровней природы состоит в поисках границ этой иерархии как в мегамире, так и в микромире. Иерархичность уровней отражается в иерархичности классификационных понятий, характерных для различных наук. С наличием определенных уровней материи связано и существование ряда самостоятельных научных дисциплин.

Спиральный ход развития возможен только при наличии преемственности, без которой могут проявляться лишь хаотические смены круговоротов изменений. Таким образом «развитие развития» возможно только на основе обогащения форм преемственности, которая позволяет в той или иной мере сохранять достигнутые эволюционные изменения. Возникновение нового без преемственности приводит к необходимости начинать развитие с «самого начала».

В ходе эволюции число взаимосвязанных уровней возрастает и системы объектов становятся все более многоуровневыми. Системы объектов каждой последующей ступени возникают и развиваются в результате объединения и дифференциации определенных множеств систем объектов предыдущей ступени. Все это, в свою очередь, приводит к образованию новых взаимосвязей между уровнями и средой, общей для таких объектов и объединений.

3.2.3. Классификация систем организации материи

К настоящему времени создана целостная концепция устройства окружающего материального мира на основе принципа системности. Вселенная рассматривается как иерархическая система сложноподчиненных объектов, каждый их которых также

представляет собой отдельную систему. Особый интерес представляют при этом эмерджентные свойства таких систем, которые присущи непосредственно самой системе и отсутствуют у ее составляющих. Например, целое практически всегда «больше» составляющих его частей. Также отдельные части самолета не могут взлететь и рука человека не может совершать движения сама по себе без связи со всем сложным человеческим организмом. Все вышесказанное базируется на взаимодействии частей внутри целого и способе построения связей между составляющими. Выявление таких, так называемых, **эмерджентных свойств** и является основой системного подхода. Только анализируя тот факт, что из 8 миллионов известных нынешней химии соединений, 96% являются органическими на основе углерода, можно сделать вывод о том, что неисчерпаемость материи лежит не в разнообразии ее составляющих атомов и элементарных частиц, а в неограниченных возможностях структурных построений.

Соответственно, современная наука имеет в своем арсенале системный анализ, который является одним из главных средств изучения и построения структурных и организационных моделей материального мира. Базовые понятия системного анализа: система, структура, элемент. **Система** – это любое упорядоченное множество элементов, взаимосвязи между которыми сильнее их связей с внешней средой. К примеру, Вселенная представляет собой целостную систему и состоит из огромного количества взаимосвязанных друг с другом элементов (подсистем), каждый из которых также может рассматриваться как целостная система, имеющая свои свойства и элементы. **Элемент** представляет неделимый и минимальный компонент системы. Необходимо отметить, что данные определения относительны и соотносительны. Человека, например, можно рассматривать и как элемент системы «общество», и как самостоятельную систему, состоящую в свою очередь из множества собственных элементов. **Структура** – это способ устойчивой и инвариантной связи элементов системы между

собой. При этом образовывается иерархия или соподчиненность элементов системы, где одни составляющие могут быть много важнее других. Например, человек может лишиться руки, но его основная жизненная структура в целом сохраняется, что и обеспечивает стабильность ее основных свойств.

Определенное множество материальных объектов, имеющих одинаковую структуру, определяется как **подсистема** внутри основной системы. Например, несмотря на то, что атомы отличаются друг от друга, структура у них одинаковая: положительно заряженное ядро, окруженное электронными оболочками, и это позволяет рассматривать эти материальные объекты как относящиеся к одному классу. Это касается и молекул, так как их многообразие базируется на одинаковой структуре, в которой ядра атомов стягиваются общими электронными оболочками.

Классы материальных объектов, имеющих одинаковую структуру, называются структурными уровнями организации материи. По сложности организации выделяются три больших группы систем:

1) системы неживой природы;
2) биологические системы;
3) социальные системы.

В состав систем неживой природы входят: физический вакуум, элементарные частицы, поля, атомы, молекулы, макроскопические тела, планеты, звезды, галактики и Метагалактика, вся Вселенная.

Биологические системы включают: нуклеиновые кислоты и белки, клетки, ткани, органы, многоклеточные организмы, популяции, виды, биоценозы, биогеоценозы, экосистемы и всю биосферу в целом.

Социальные системы и подсистемы представляют собой разнообразные сообщества людей: семья, род, этнос и человечество в целом.

Существуют определенные закономерности образования и взаимосвязей структурных уровней материи:

1) более высокий уровень возникает и существует только на основе более низких: Солнечная система состоит из Солнца, планет, их спутников и других малых тел; атомы из элементарных частиц и т.д.;

2) высшие уровни организации материи принципиально несводимы к относительно низшим, поскольку на каждом новом уровне возникают новые эмерджентные свойства материальных объектов, отсутствующие у их исходных составляющих: свойства атомов кислорода и водорода отличаются от свойств молекулы воды;

3) на каждом структурном уровне существуют свои специфические законы взаимодействия материальных объектов и свойства функционирования систем высшего порядка невозможно объяснить характером взаимодействия систем нижележащих уровней: человек состоит из клеток, но взаимодействия клеток не объясняют специфику человеческих взаимоотношений;

4) разнотипность материальных систем разных уровней не отменяет факта их общности (хотя бы по происхождению или принадлежности к единому материальному миру) и, следовательно, не препятствует поиску единых, универсальных закономерностей строения и функционирования всех систем вообще; кроме того, в силу системно-структурного подобия, определенной соразмерности всех материальных объектов, поэтому открытие законов микромира неизбежно приводит к пониманию крупномасштабных структур Вселенной, равно как и наоборот. Наибольшее сходство и взаимозависимость наблюдается у систем, принадлежащих к «соседним» структурным уровням, например, биологическому и социальному.

Современная системно-структурная организация Вселенной сложилась в результате ее длительной эволюции, в процессе которой последовательно рождались все известные на сегодня структурные

уровни материи. Таким образом, наблюдаемая ныне организация материального мира есть результат его эволюции. Соответственно, материальный мир сохраняет свою системно-структурную стабильность и неизменность именно потому, что он эволюционирует, так как любая система существует только благодаря взаимодействию и движению составляющих ее элементов. Существование как любого объекта, так и всего материального мира в целом, возможно лишь в движении.

Подумайте и ответьте:

1) Что представляет собой материя и каковы ее составляющие?
2) Что можно сказать о движении материи?
3) Опишите основные структурные уровни материи.
4) Какие основные этапы эволюции картин мира, связанные со свойствами материи, Вы знаете?
5) В чем состоит общность и разница понятий развития и эволюции материи?
6) Каковы основы эволюционного подхода материи?
7) В чем заключается системный анализ природных систем?
8) Определите связь материи с пространством и временем.
9) Что такое иерархия природных систем?
10) Опишите основные группы систем материальных объектов.

§ 3.3. ПРОЦЕССЫ И СТРУКТУРА МИКРОМИРА

3.3.1. Эволюция представлений о микромире

Впервые понятие об атоме как последней и неделимой частице возникло еще в Древней Греции в рамках натурфилософской картины мира. Согласно учению Левкиппа и Демокрита в мире существуют только атомы и пустота. Атомы могут комбинироваться и образовывать самые разнообразные видимые тела. Сами тела могут возникать и исчезать, но атомы, из которых они состоят, остаются

неизменными. Античная гипотеза об атомах была лишь гениальной догадкой и не основывалась на каких-либо экспериментальных данных, но, тем не менее, она определила все дальнейшее развитие естествознания на многие столетия вперед. Сейчас мы знаем, что атом вовсе не является последней и неделимой частицей материи и имеет более сложное строение. Концепция атомизма помогает объяснить свойства и структуру сложных тел с помощью свойств более простых элементов и частиц. Такой подход достигается на основе **редукции** – сведения сложного к простому, составного – к элементарному. Однако трудно согласиться с тем, что сложное и качественное многообразие Вселенной может быть сведено к ограниченному числу свойств небольшого числа простых элементарных частиц – первичные, основные частицы, которые не содержат каких-либо других элементов. Иногда называют элементарными и такие частицы, которые не являются атомами или частями атомных ядер, за исключением протона и нейтрона. Часто элементарные частицы называют также субъядерными частицами.

В конце XIX в. была открыта первая элементарная частица *электрон*, которая представляет собой наименьшую единицу электрического заряда. В 1919 г. при бомбардировке атомов альфа-частицами Э. Резерфорд открыл вторую частицу, входящую в состав атома, названную *протоном*. Масса протона почти в 2000 раз превосходит массу электрона и имеет положительный заряд. Третья частица была открыта в составе космического излучения и названа *нейтроном*, так как является нейтральной, т.е. не несет электрического заряда. Четвертая частица, *фотон*, введенная для объяснения явления фотоэффекта, является квантом излучения света. Все эти частицы и составили первоначальный список элементарных частиц.

Исследования космических лучей, начавшиеся в 1930-х гг., позволили открыть множество новых элементарных частиц, входящих в их состав. В 1932 г. был открыт *позитрон* — первая античастица, которая оказалась равной по массе электрону, но

заряженной положительно. Теоретически она была предсказана известным английским физиком Полем Дираком (1902 – 1984 гг.), но впервые обнаружена в космических лучах. *Нейтрино*, всепроницающая и широко распространенная легкая частица, также была предсказана видным швейцарским физиком Вольфгангом Паули (1900 – 1958 гг.) в 1936 г., и экспериментально открыта в 1953 г. *Пионы* (старое название – *пи-мезоны*) были предсказаны японским физиком Хидоки Юкавой (1907 – 1981 гг.) и обнаружены в 1947 г. Также были открыты *мюоны*, которые раньше называли *мю-мезонами*. Эти частицы по массе занимают промежуточное положение между массой электрона, которую они превышают примерно в 200 раз, и массой протона. Также были открыты K^+ и K^- – *мезоны* (современное название – *каоны*) и частицы обладающие необычными свойствами — *лямбда-гипероны*.

С 1950-х гг. основным средством обнаружения и исследования элементарных частиц становятся ускорители, с помощью которых было открыто множество нестабильных и короткоживущих резонансных частиц: в 1955 г. – *антипротон*, в 1956 г. – *антинейтрон*. В 1970-80-е гг. обнаружено большое количество «*очарованных*» частиц, которые в 3 – 310 раз превосходят массу протона.

В настоящее время число элементарных частиц достигает 400, что явно приводит к мысли о более сложном строении и самих элементарных частиц.

3.3.2. Основные свойства элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия

Все элементарные частицы имеют очень малые размеры: порядка 10^{-13} см и массы сравнимые с массой протона: $1{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг. Масса электрона еще меньше и составляет $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

По той причине, что различные взаимодействия частиц проходят с разной интенсивностью, выделяют четыре основных типа

физических взаимодействий. Согласно силе взаимодействий элементарных частиц между собой располагаются и основные физические взаимодействия: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

Сильное взаимодействие обусловливает связь между протонами и нейтронами в атомных ядрах, благодаря чему достигается стабильность ядра, и является наиболее интенсивным. В свободном состоянии нейтрон является нестабильной частицей и распадается с образованием электрона, нейтрино и протона. Однако в связанном состоянии в границах ядра по своим свойствам он становится сходным с протоном. Сильное взаимодействие является короткодействующим с радиусом взаимодействия 10^{-15} м. Если вещество находится в стабильном состоянии при невысокой температуре взаимодействие между протонами и нейтронами способствует только укреплению связи между ними. Однако при столкновении ядер или их частей нуклонов, обладающих достаточно высокой энергией, происходят различные ядерные реакции, например реакция термоядерного синтеза, проходящая с выделением огромного количества энергии.

Электромагнитное взаимодействие имеет меньшую интенсивность, чем сильное и определяется связями между электронами и ядрами в атоме, и между атомами в молекуле. На основе электромагнитного взаимодействия осуществляется взаимодействие между положительно заряженным ядром и обращающимися вокруг него отрицательно заряженными электронами, а также между атомами в молекулах вещества. Большинство сил, встречающихся в природе, связаны с электромагнитными взаимодействиями, это силы поверхностного натяжения, упругости, химические превращения, изменения агрегатного состояния тел, магнитные и оптические явления и т.д. Таким образом, большинство явлений макромира могут быть объяснены на основе механизма электромагнитных взаимодействий.

Слабое взаимодействие слабее и сильного, и

электромагнитного. Оно связано с медленно протекающими процессами в мире элементарных частиц, в частности с распадом квазичастиц. Скорости этих процессов гораздо медленнее, чем при сильных или электромагнитных взаимодействиях. Слабое взаимодействие играет очень важную роль в природе, без него были бы невозможен распад радиоактивных атомных ядер, эволюция звезд, излучение нашего Солнца, и многие другие процессы.

Гравитационное взаимодействие является самым слабым среди всех остальных и по причине крайней малости масс частиц не учитывается при описание процессов в микромире, но его влияние значительно возрастает при взаимодействии больших масс. Согласно закону Ньютона сила гравитационных взаимодействия прямо пропорциональна произведению масс двух элементарных частиц и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Если сравнить силу гравитационного взаимодействия между двумя протонами на расстоянии 10^{-15} м, то она будет в 10^{36} раз меньше электростатического взаимодействия между ними на таком же расстоянии, определяемого законом Кулона.

Однако приведенная выше классификация взаимодействий имеет относительный характер, так как существенно зависит от энергии частиц.

Характерным свойством элементарных частиц также является их способность взаимодействовать друг с другом и превращаться в иные частицы. Например, при ядерных реакциях происходит превращение одних атомов в другие, что имеет место как в искусственных условиях, когда ядро атома бомбардируется нейтронами, так и в естественных, когда один радиоактивный элемент преобразуется в другой.

Другой характерной особенностью элементарных частиц является способность «рождаться» и «умирать», т.е. испускаться и поглощаться при ядерных реакциях. Типичным примером может служить реакция превращения пары «электрон – позитрон» в пару фотонов. Так как в этой и аналогичных реакциях происходит

превращение вещества в излучение, ее называют «**аннигиляцией**».

3.3.3. Классификация элементарных частиц

Классификацию элементарных частиц можно проводить по массе, среднему времени жизни (существования) частиц, электрическому заряду и т.д. Однако научная классификация опирается на фундаментальные взаимодействия, которые позволяют разделить частицы на две основные группы.

К первой группе относятся **адроны** (от греч. – сильный, большой), которые в свою очередь, делятся на барионы и мезоны. Адроны, помимо слабого и электромагнитного участвуют также в сильном взаимодействии (как было указано выше, при описании объектов микромира гравитационное взаимодействие не учитывают). Частицы, обладающие полуцелым спином и массой не меньше массы протона называются **барионами** (от греч. – тяжелый). Наиболее известные барионы — *протон* и *нейтрон*. Самый легкий из барионов, *протон*, в 1836 раз тяжелее электрона. Барионами также являются *гипероны*, часть *резонансов* и «*очарованных*» частиц, но единственная стабильная частица среди них – *протон*. *Нейтрон* в свободном состоянии распадается и стабилен только при взаимодействии с протонами внутри ядра. Все остальные барионы нестабильны и быстро распадаются, превращаясь в конечном итоге в протоны и легкие частицы. Характерным свойством барионов является сохранение разности между числом барионов и антибарионов, которое нередко формулируют в виде закона сохранения барионного заряда, если приписать таковой бариону. **Мезоны** (от греч. – средний, промежуточный) представляют собой нестабильные адроны, обладающие целочисленным или нулевым спином. Большинство из них обладают массами, промежуточными между массами электрона и протона. Первыми открытыми частицами с промежуточной массой были *пи-мезоны* и *ка-мезоны* (современные названия *пионы* и *каоны*) с разными зарядами. В дальнейшем были найдены другие частицы

данного «семейства», в том числе и те, масса которых превышает массу протона.

Ко второй группе элементарных частиц принадлежат **лептоны** (от греч. – легкий, тонкий), которые участвуют только в электромагнитном и слабом взаимодействиях. К лептонам относятся *электрон*, *мюон*, *нейтрино* и тяжелый *τ-лептон* (*таон*), открытый в 1975 г.

При дальнейшей классификации частиц учитывают другие их индивидуальные признаки, которые характеризуются их квантовыми числами: масса частицы, время ее жизни, спин и электрический заряд. По массе частицы делятся на тяжелые, промежуточные и легкие; по времени жизни на – стабильные, квазистабильные и нестабильные частицы (стабильные электрон, протон, фотон и нейтрино; квазистабильные частицы распадаются вследствие электромагнитного и слабого взаимодействии; нестабильные частицы распадаются за счет сильного взаимодействия). Собственный момент количества движения частицы характеризуется ее спином и измеряется целым или полуцелым числом, кратным постоянной Планка. У протона и электрона спин равен 1/2, у фотона – нулю. Электрические заряды элементарных частиц являются кратными заряду электрона как наименьшего заряда.

3.3.4. Основы кварковой модели вещества

Кварки – это материальные частицы, не существующие в свободном состоянии, из которых состоят адроны. Гипотезу о кварках впервые сформулировали Джордж Цвейг и Мюррей Гелл-Манн. Из кварков состоят барионы и мезоны, а также многочисленные нестабильные (резонансные) элементарные частицы. Барионы содержат три кварка, мезоны состоят из кварка и антикварка.

На основе кварковой модели была объяснена динамика различных процессов с участием адронов и упорядочен накопленный

при исследовании элементарных частиц большой экспериментальный материал. Было также открыто, что реакции, в которых участвуют некоторые адроны, можно объяснить с помощью кварков. В шестидесятые годы прошлого века был поставлен эксперимент по бомбардировке протонов электронами высоких энергий, и по рассеянию электронов было сделано предположение, что протон обладает кварковой структурой.

В настоящее время предполагается существование шести кварков, которые обозначаются символами *u, d, c, s, t, b*. Учитывая закон симметрии, им соответствует такое же число антикварков, которые обозначаются теми же символами, но с черточкой наверху. В дальнейшем выяснилось, что каждый кварк может быть носителем трех разных зарядов сильного взаимодействия, которые сейчас принято называть синим, зеленым и красным «цветами». При объединении таких кварков в единое целое, их заряды или цвета дают общий белый цвет. Эта аналогия заимствована из оптики, где соединение синего, зеленого и красного цветов образует белый свет. Тяжелые адроны, в частности протон и нейтрон, также состоят из кварков трех основных цветов. Так как мезоны состоят из одного кварка и одного антикварка используется другая аналогия из оптики, состоящая в том, что основной и дополнительный цвет также дают белый свет. Таким образом, благодаря аналогиям из оптики, исследование, связанное с кварками, получило название хромодинамики. В хромодинамике цветовой заряд, как и в электродинамике, порождает особое поле, названное глюонным (от англ. glue – клей). Кванты такого поля называются глюонами и по свойствам схожи с фотонами, так как лишены массы покоя и зарядов.

В кварковой модели для описания свойств элементарных частиц допускается существование 6 кварков каждого из 3-х цветов (всего 18 кварков) и 6 антикварков каждого из 3-х дополнительных цветов (всего 18 антикварков). Так как лептоны подобно кваркам также являются бесструктурными объектами, то к общему числу кварков и антикварков следует добавить число всех лептонов (электрон, мюон,

три сорта нейтрино, тяжелый лептон) и их антилептонов. Таким образом, получится 44 фундаментальные частицы.

Для создания теории элементарных частиц без противоречивых составляющих, как, например, появление бесконечностей в качестве значений некоторых физических величин, неясность механизма определения массы «истинных» элементарных частиц и ряд друг проблем, в последние годы наметилась тенденция отказа от представления об элементарных частицах как о точечных образованиях и признания их конечной протяженности, а также принятия новой геометрии на весьма малых расстояниях. Также перспективным является учет влияния гравитации на сверхмалых расстояниях и включения гравитационного взаимодействия в общую структуру взаимодействия элементарных частиц.

В итоге можно сделать вывод, что атомистическая концепция опирается на представление о дискретном строении материи, согласно которому объяснение свойств физического тела можно в конечном итоге свести к свойствам составляющих его мельчайших частиц, которые на определенном этапе познания считаются неделимыми, в процессе эволюции такими частицами сначала признавались атомы, далее элементарные частицы, в настоящее время кварки. Однако такой подход ведет, во-первых, к абсолютизации аспекта дискретности и неограниченной делимости материи, а во-вторых, к всесторонней редукции сложного в простое, при которой не учитываются качественные свойства материи. Поэтому более важным с мировоззренческой точки зрения является не поиск последних неделимых и фундаментальных частиц, а выявление их внутренних связей и объяснение целостных свойств материальных систем. Дальнейший прогресс в познании фундаментальных физических свойств материи следует, по-видимому, все-таки следует ожидать на основе объединения, с одной стороны, концепций атомизма и дискретности, а с другой – непрерывности, целостности и системного подхода, а не на простом редукционистском подходе.

3.3.5. Эволюция представлений об атомном ядре

Эволюция представлений об атомном ядре неразрывно связана с эволюцией концепции атомизма. Одна из первых моделей атома была построена в трудах Резерфорда – Бора. В данной модели ядро состоит только из положительно заряженных массивных протонов. Следующий подход был сделан в 1932 г. после открытия английским физиком Джеймсом Чедвиком (1891 – 1974 гг.) электрически нейтральной частицы – *нейтрино.* Русский физик Дмитрий Иваненко (1904 – 1994 гг.) первым выступил в печати с гипотезой, что ядро атома состоит из положительно заряженных протонов и лишенных заряда нейтронов, данную гипотезу развил далее немецкий физик В. Гейзенберг. Ключевую роль в дальнейших ядерных исследованиях сыграл тот факт, что нейтроны электрически нейтральны. Так как электрически нейтральные нейтроны не отталкиваются ядром, поэтому их можно применить для бомбардировки ядра и более тщательного изучения его строения и свойств, а также, эти частицы служат незаменимым средством в практическом использовании ядерной энергетики, получении трансурановых элементов, радиоактивных изотопов, геологической разведке и т.д.

Протоны и нейтроны образуют атомное ядро и называются *нуклонами*. Они по своей массе в две тысячи раз превосходят массу составляющих атом электронов. Общее число нуклонов в ядре называют **массовым числом**, число протонов определяет заряд атома, число нейтронов находится по формуле:

$$N = A - Z,$$

где N – число нейтронов; A – массовое число; Z – число протонов. Плотность ядерного вещества чрезвычайно велика и составляет приблизительно 10^{17} кг/м^3, размеры ядра зависят от числа содержащихся в нем нуклонов.

Исследование структуры ядра очень сложный процесс и в теоретическом и экспериментальном плане, поэтому при построении моделей ядра используются различные аналогии и полуэмпирические

схемы. Например, в 1936 г. известный датский ученый Н. Бор и советский физик Яков Френкель (1894 – 1952 гг.) выдвинули капельную модель атомного ядра, в которой ядро рассматривается по аналогии с каплей жидкости, которая состоит из интенсивно взаимодействующих между собой протонов и нейтронов. Поверхность такой капли может совершать колебания и при определенных условиях привести к разделению капли на части, то есть привести к разрушению ядра. Следующая, оболочечная модель ядра, была предложена американским ученым Марией Гепперт-Майер (1906 – 1972 гг.) и немецким физиком Хансом Метеном (1907 – 1973 гг.) в 1950-е гг. В этой модели нуклоны, подобно электронам в атоме, заполняют соответствующие оболочки в ядре, которые характеризуются разными значениями энергий. Далее, датские ученые Оге Бор (1922 – 2009 гг.), сын Н. Бора, и Бенжамин Моттельсон (г.р. – 1926) выдвинули обобщенную модель ядра, которая включает устойчивую внутреннюю структуру ядра, вокруг которой движутся внешние нуклоны, под воздействием которых внутренняя часть ядра может изменять свою структуру, принимая форму вытянутого эллипсоида, напоминающую каплю. Процесс взаимодействия нуклонов осуществляется путем многократного испускания одним из них *π-мезона* и поглощения его другим нуклоном, в результате чего протон превращается в нейтрон, а нейтрон – в протон. Образующие атомное ядро протоны и нейтроны удерживаются вместе мощными силами ядерного взаимодействия, которые принадлежат к фундаментальному типу сильного взаимодействия.

Энергией связи ядра является энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить его на отдельные нуклоны. Она равна разности между суммой масс нуклонов, входящих в ядро, и массой образованного из них ядра, умноженной на квадрат скорости света:

$$E = (P_m + N_m - M) \cdot c^2.$$

Согласно данной формуле как раз и образуется **дефект массы**, за счет которого возникает огромная термоядерная энергия в результате

расщепления ядра:

$$E = \Delta m \cdot c^2.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что масса ядра атома меньше массы составляющих его нуклонов, так как в процессе синтеза часть их массы превращается в энергию и выделяется в окружающую среду. На основе знания общей энергии связи нуклонов, можно найти удельную энергию, приходящуюся на отдельный нуклон, которая для большинства ядер в среднем оказывается одинаковой, но для легких и тяжелых ядер наблюдаются отклонения. С увеличением числа протонов в тяжелых ядрах тех атомов, которые занимают места в последних клетках периодической системы элементов Д.И. Менделеева, заметное воздействие оказывают силы отталкивания между положительно заряженными протонами, которые стремятся разрушить ядро. Поэтому ядра таких атомов становятся нестабильными, а атомы химических элементов, начиная с № 83 (висмут) оказываются неустойчивыми. Именно это приводит к наблюдаемой в природе естественной радиоактивности элементов.

Изучая соли урана и чистый уран французский ученый Анри Беккерель (1852 – 1908 гг.) в 1896 г. впервые обнаружил **радиоактивность**. Он установил, что уран и его соединения непрерывно излучают радиоактивную энергию. В дальнейшем исследование явлений радиоактивности другими учеными, в особенности супругами Марией Кюри-Склодовской (1867 – 1934 гг.), Пьером Кюри (1859 – 1906 гг.), открывшими новые радиоактивные элементы – полоний и радий, позволило выявить ряд свойств закономерностей радиоактивного излучения. Было обнаружено, что все радиоактивные вещества испускают три рода лучей, которые были названы α, β- и γ-лучами. α-лучи оказались ядрами гелия, β-лучи характерны для слабых взаимодействий вообще, и представляют собой электроны, а γ-лучи обладают большой проникающей способностью и во многом аналогичны жестким рентгеновским лучам. Новый вид радиоактивного превращения, связанный со спонтанным, или самопроизвольным, делением атомных ядер в 1940

г. открыли советские ученые Т.Н. Флеров (1913 – 1990 гг.) и К. А. Петржак (1907 – 1998 гг.).

Особый интерес вызывает **искусственная радиоактивность**, которая вызывается и контролируется самим ученым. Она по своей природе не отличается от радиоактивности естественной, поскольку обе они основываются на разрушении ядер атомов и превращении одних атомов в другие. При этом ученый получает возможность экспериментировать с явлениями, и самое главное, он создает искусственные элементы, которые не встречаются в природе. Впервые такую искусственную радиоактивность наблюдали французские физики — супруги Ирен (1897 – 1956 гг.) и Фредерик Жолио-Кюри (1900 – 1958 гг.), получившие изотоп фосфора. В настоящее время наиболее эффективным средством, способным позволить получить изотопы или вызвать искусственную радиоактивность, служат нейтроны.

Необходимо особо отметить также такое явление, как деление тяжелых ядер, которое может происходить как в естественных, так и в искусственных условиях. В последнем случае для этого следует бомбардировать ядро нейтронами. Немецкие физики Отто Тан (1879 – 1968 гг.) и Ф. Штрассман, в 1939 г. бомбардируя уран нейтронами, получили ядра щелочноземельных элементов. Австрийские физики Лизе Майтнер (1878 – 1968 гг.) и О. Фриш в том же году открыли, что при бомбардировке ядра урана-235 нейтронами оно делится на два осколка и при этом испускается 2 – 3 свободных нейтрона, которые попадая на другие ядра, могут вызвать их деление, запустив, таким образом, **цепную реакцию**, при которой выделяется огромное количество энергии в соответствии с принципом дефекта массы. Энергия, получаемая, например, в результате цепной реакции деления 1 кг урана, в несколько миллионов раз больше, чем, например, при сжигании того же количества угля. Термоядерные реакции синтеза легких ядер и превращения их в более тяжелые, постоянно происходят в недрах звезд, в частности нашего Солнца.

Подумайте и ответьте:

1. Каковы основные этапы эволюции представлений об атомах?
2. Какие открытия в физике опровергли представление об атомах как последних неизменных и неделимых частицах материи?
3. Какие частицы называются элементарными?
4. Какие новые частицы были открыты непосредственно после создания квантовой механики?
5. Что такое сильное взаимодействие?
6. Что такое электромагнитное взаимодействие?
7. Сравните по интенсивности гравитационное и слабое взаимодействия.
8. Что такое аннигиляция элементарных частиц?
9. Какие частицы относятся к адронам?
10. Из чего состоят мезоны?
11. Какие частицы относятся к лептонам?
12. Какие частицы называются кварками?
13. Чем отличается искусственная радиоактивность от естественной?
14. В чем заключается процесс деления тяжелых ядер?

§ 3.4. ХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Все химические системы состоят из различных химических веществ разной степени сложности. Единичными составляющими любого вещества являются химические молекулы, особенности которых определяются составляющими их атомами.

3.4.1. Строение атомов

Атом – наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств. Как отмечено выше, атом состоит из атомного ядра и окружающего его электронного облака. Ядро атома представляет собой систему из положительно заряженных протонов и

электрически нейтральных нейтронов, а окружающее его облако состоит из отрицательно заряженных электронов. Химические свойства атома зависят от строения электронной оболочки, которое, в свою очередь, определяется в основном зарядом ядра Z (то есть количеством протонов в нём) и в меньшей степени зависят от его массового числа A (то есть суммарного числа протонов Z и нейтронов N). Если число протонов в ядре совпадает с числом электронов, то атом в целом оказывается электрически нейтральным. В противном случае атом будет обладать некоторым положительным или отрицательным зарядом и называться **ионом**. Атомы классифицируются по количеству протонов и нейтронов в ядре: количество протонов определяет принадлежность атома некоторому химическому элементу, а число нейтронов – изотопу этого элемента.

Изотопы – разновидности атомов одного химического элемента, содержащих одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов в ядре. Понятие изотопа предложил в начале XX в. английский ученый Фредерик Содди. Все изотопы одного элемента имеют одинаковый заряд ядра, отличаясь лишь числом нейтронов, поэтому у них идентичные химические свойства и наблюдаются лишь различия физических свойств. Обычно изотоп обозначается символом химического элемента, к которому он относится, с добавлением верхнего левого индекса, означающего массовое число (например, ^{12}C, ^{40}Ca). Некоторые изотопы имеют традиционные собственные названия (дейтерий, актинон).

В XIX в. в результате развития физической атомистики (одного из направлений термодинамики) появились первые гипотезы о строении атомов. В 1859 г. было сделано важное открытие в оптике: физик Густав Кирхгоф (1824 –1887 гг.) и химик Роберт Бунзен (1811 – 1899 гг.) изобрели спектральный анализ, давший в руки ученым новое мощное средство исследования веществ на основе изучения процессов излучения и поглощения света. Каждый химический элемент образует в спектрах набор дискретных линий, каждая их которых соответствуют определенной длине волны.

В 1897 г. английский ученый Джозеф Томсон (1856 – 1940 гг.) экспериментально открыл частицу, которая несет элементарный электрический заряд – *электрон*. Томсон предложил первую модель атома: атом представляет собой положительно заряженный шарик, внутри которого находятся отрицательно заряженные электроны (модель «кекс с изюмом»). Эта модель не объясняла устойчивость атомов и происхождение их оптических спектров. Его ученик, Э. Резерфорд (1871 – 1937 гг.), пытался экспериментально проверить эту гипотезу, но в результате знаменитого опыта по рассеиванию альфа-частиц в 1911 г. предложил планетарную модель атома, согласно которой электроны движутся вокруг тяжелого положительно заряженного ядра, подобно планетам вокруг Солнца. Однако эта модель противоречила классической электродинамике, в соответствии с которой электрон, двигаясь по орбите, должен был бы излучать электромагнитные волны, за счет чего потерял бы всю энергию и упал на ядро. Для доказательства этой модели в 1913 г. работавший с Резерфордом датский ученый Нильс Бор (1885 – 1962 гг.) предложил два постулата:

1) электроны в атоме длительное время могут находиться только на определенных орбитах с определенной энергией, в это время атом стационарен, т. е. не излучает и не поглощает энергию;

2) электроны могут переходить на другие орбиты, при этом атом излучает или поглощает кванты с определенной энергией (длиной волны).

В 1913-1914 гг. немецкие физики Джеймс Франк и Густав Герц поставили опыты по соударению атомов с электронами и подтвердили истинность модели Бора. Теория Резерфорда-Бора позволила установить строение атома водорода (протон+электрон) и подобных ему атомов, объяснила закономерности образования линейчатых спектров излучения и поглощения различных веществ, также она стала основой физического объяснения таблицы Менделеева.

Квантово-механическая теория строения атома рассматривает атом как систему микрочастиц, не подчиняющихся законам классической механики. С точки зрения квантовой механики, можно говорить лишь об определенном состоянии атома, характеризующемся некоторой энергией, которая, в соответствии с принципом дискретности, может измениться только при переходе атома из одного такого состояния в другое. В настоящее время благодаря методам квантовой механики известно электронное строение всех существующих атомов. Атом элемента имеет определенную электронную конфигурацию (электронную формулу), зная которую, можно сделать предположения о химических свойствах этого элемента.

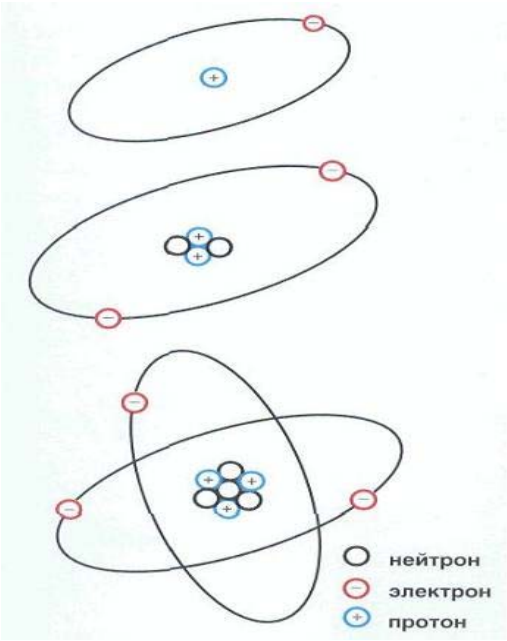


Рис. 3.3. *Строение атомов.*

Каждая орбита (уровень) соответствует определенному состоянию электронной оболочки атома. Промежуточные состояния не существуют. При переходе с верхнего уровня на нижний энергия излучается в виде фотона с длиной волны, которая соответствует разности энергий между уровнями; при переходе с нижнего уровня на верхний энергия поглощается, т. е. атом поглощает энергию кванта (например, фотона), пришедшего из внешней среды. В последнем случае за счет добавления энергии атом переходит в более высокое

неустойчивое состояние, такой процесс называется **возбуждением** атома. В случае, когда пришедшая в систему энергия оказывается слишком большой, то получивший эту энергию электрон покидает атом и переходит в свободное состояние – происходит **ионизация** атома. Ионизация происходит также при захвате дополнительного электрона с выбросом эквивалентной энергии в окружающую среду.

3.4.2. Химические элементы и структура вещества

Именно электронная оболочка атома определяет химические свойства соответствующего химического элемента. По современным представлениям **химический элемент** – это совокупность атомов, имеющих одинаковый заряд ядра (число протонов совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева). На рис. 3.3 приведены несколько простых примеров. В электронной оболочке атома водорода (вверху) – один электрон. Атом гелия ^{2}He (в середине) содержит в электронной оболочке два электрона. В атоме лития ^{3}Li (внизу) третий электрон находится на второй электронной оболочке.

В настоящее время известно 118 химических элементов, но элементы с номерами больше 94-го (плутоний ^{94}Pu) в природе не наблюдаются, они искусственно синтезированы посредством ядерных реакций. Начиная с 1994 г. в лабораториях разных стран (Германия, Россия, США) были синтезированы элементы с порядковыми номерами с 110 по 118 (причем 117-ый элемент был успешно синтезирован в Институте ядерных исследований (г. Дубна, Россия) лишь в 2009-2010 гг.). Время жизни изотопов этих элементов составляет малые доли секунды (например, период полураспада 112-го элемента коперниция ^{112}Cn составляет около 19 мс). Единственный открытый в России элемент – *рутений* (^{44}Ru), впервые получил в 1844 г. в Казани профессор Казанского университета Карл Клаус. Этот элемент, близкий по свойствам к платине, применяется при изготовлении высокопрочных сплавов

(например, в перьях дорогих авторучек), электрических контактов, а также в медицине.

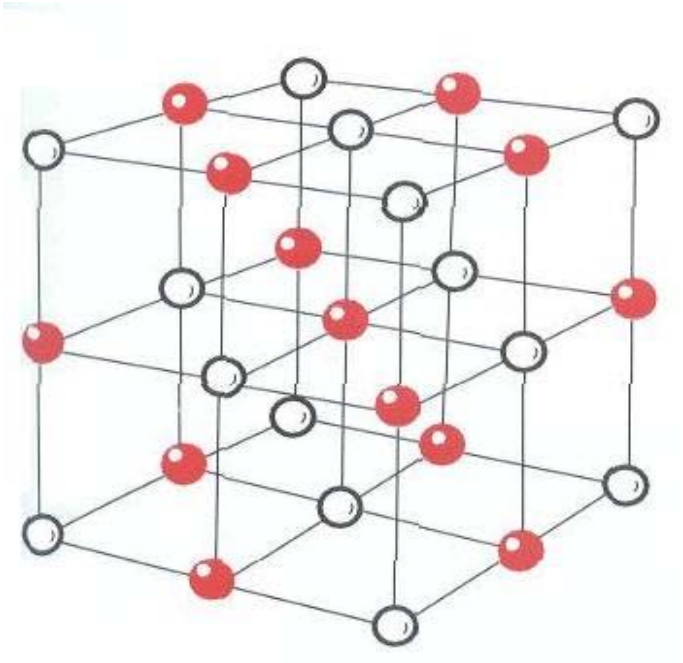


Рис. 3.4. *Кристалл поваренной соли NaCl.*

Молекула – наименьшая частица химического вещества, обладающая всеми его химическими свойствами, состоящая из двух или более атомов, которые образуют определенную структуру. Особенности строения молекул определяют физические свойства вещества, состоящего из этих молекул (на рис. 3.4. приведено строение кристалла поваренной соли *NaCl*, линиями показаны химические связи между атомами натрия (темные кружки) и хлора (белые кружки)). Обычно подразумевается, что молекулы нейтральны (не несут электрических зарядов) и не несут неспаренных электронов (все валентности насыщены); заряженные частицы являются **ионами**, частицы с неспаренными электронами и незаполненными электронными оболочками называются **радикалами**. Существуют очень сложные молекулы – макромолекулы. Наиболее широко распространенными макромолекулами являются полимеры.

Полимеры – это неорганические и органические вещества, образованные из многократно повторяющихся групп атомов, соединённых химическими связями. Часто в строении полимера можно выделить **мономер** – повторяющийся структурный фрагмент,

включающий несколько атомов; встречаются полимеры, состоящие из нескольких разновидностей мономеров и имеющие сложную пространственную трёхмерную структуру. Названия полимеров образуются из названия мономера с приставкой *поли-*: *поли*пропилен, *поли*винилацетат и т. п. Полимер образуется из мономеров в результате химических реакций полимеризации или поликонденсации. Так, молекулы *этилена* в процессе полимеризации образуют цепочки из тысячи мономеров – макромолекулы *полиэтилена*, а в результате полимеризации природных мономеров – *аминокислот*, образуются *белки*. К полимерам относятся многочисленные природные соединения: нуклеиновые кислоты, полисахариды, каучук и другие органические и некоторые неорганические вещества. В настоящее время большое число полимеров получают синтетическим путём из более простых соединений природного происхождения. Благодаря ценным свойствам полимеры применяются в промышленности (например, синтетические материалы), медицине (лекарственные средства), в быту (бытовая химия и пр.) Все ткани живых организмов представляют высокомолекулярные соединения – полимеры.

3.4.3. Простые и сложные вещества

По строению и степени сложности все химические вещества делят на простые и сложные. **Простые вещества** – это вещества, состоящие исключительно из атомов одного химического элемента и химически не связанные с другими элементами. Они являются формой существования химических элементов в свободном виде. Известно свыше 400 разновидностей простых веществ. В зависимости от типа химической связи между атомами простые вещества могут быть металлами (железо *Fe*, литий *Li*, молибден *Mo*, свинец *Pb* и другие – всего 98 элементов) и неметаллами (кремний *Si*, селен *Se*, водород H_2, хлор Cl_2 и пр.) По строению и физическому состоянию в нормальных условиях в простых веществах различают:

атомарные (гелий *He*, неон *Ne*) и молекулярные (кислород O_2, озон O_3) газы; жидкие (бром *Br* и ртуть *Hg*) и различные твердые формы неметаллов (йод *I*, сера *S*, фосфор *P*, углерод *C* и т. д.) и металлов (не в виде сплавов). В качестве примера на рис. 3.5. показаны схемы строения молекул нескольких модификаций углерода: a – алмаз, b – графит, c – лонсдейлит, d – фуллерен C_{60}, e – фуллерен C_{540}, f – фуллерен C_{70}, g – аморфный углерод, h – углеродная нанотрубка.

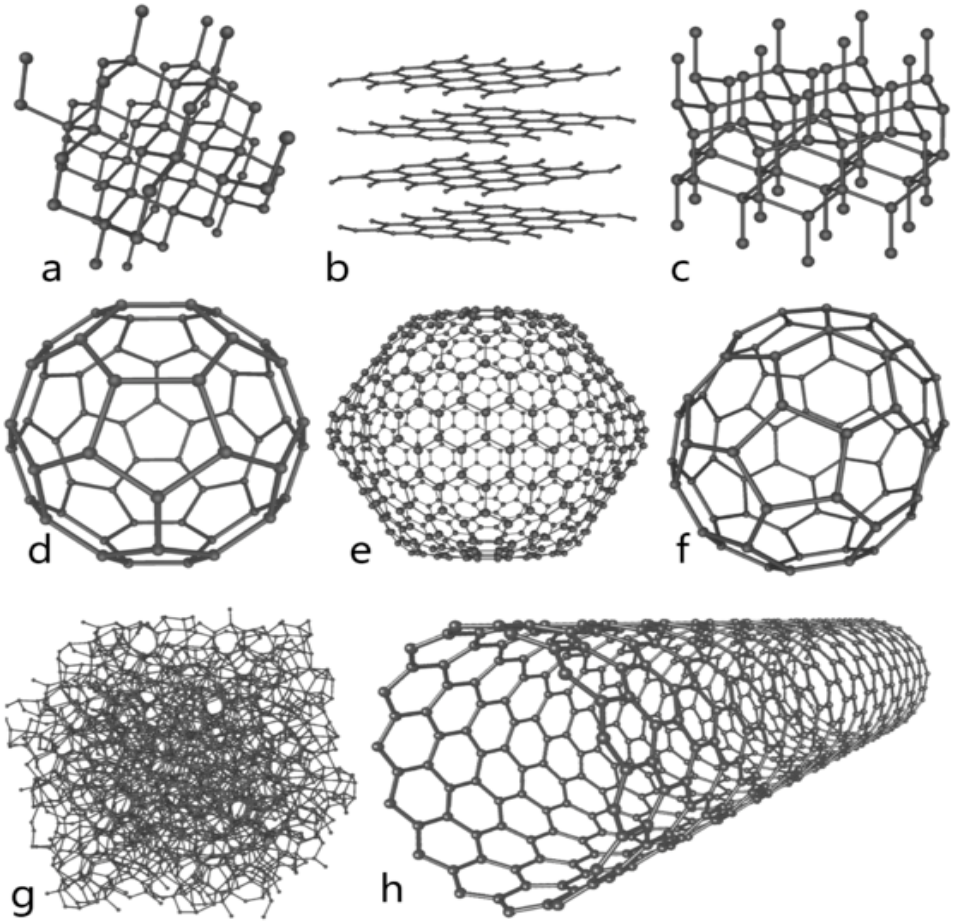


Рис. 3.5. *Пространственные модификации углерода.*

Сложные вещества – это химические вещества, которые состоят из атомов разного вида, т. е. их молекулы содержат атомы двух или более химических элементов. Сложными веществами являются большинство неорганических и все органические вещества. При химических реакциях они могут образоваться из нескольких простых веществ и, наоборот, могут разлагаться с образованием нескольких простых веществ. Например, оксид серебра (Ag_2O) состоит из двух атомов серебра и одного атома кислорода, пропан

(C_3H_8) из трех атомов углерода и восьми – водорода. Состав молекул сложных веществ выражается при помощи химических формул (например, азотная кислота HNO_3, гексахлорэтан C_2Cl_6, триметиловый эфир лимонной кислоты $HOC(COOCH_3)(CH_2COOCH_3)_2$, оксид цинка ZnO), а строение – структурными формулами. В качестве примеров на рис. 3.6 показаны трехмерные модели и структурные формулы нескольких неорганических (а, б) и органических веществ (в, г).

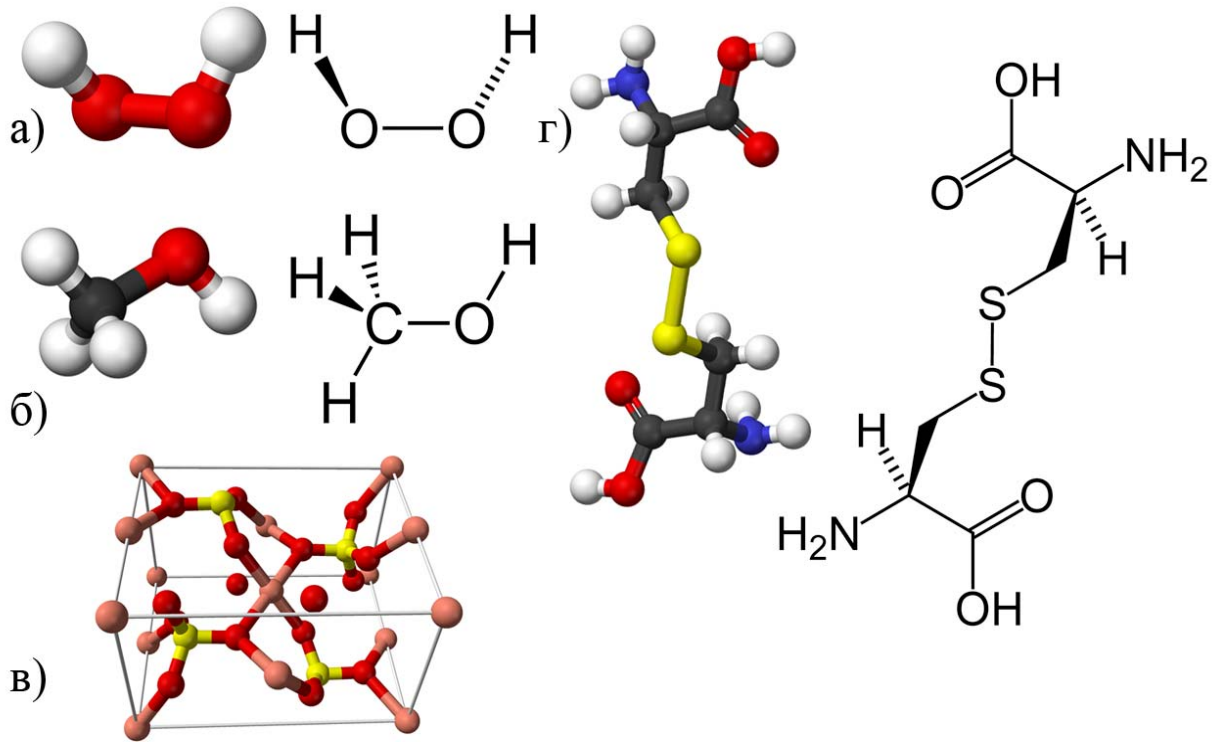


Рис. 3.6. *Модели и структурные формулы веществ. а) пероксид водорода (перекись водорода); б) метанол (метиловый спирт); в) сульфат меди (медный купорос), $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; г) аминокислота цистин.*

3.4.4. Неорганические и органические вещества

С древности все вещества разделялись на минеральные – принадлежащие царству минералов – и органические, которые относятся к царствам животных и растений. Считалось, что для синтеза органических веществ необходима особая «жизненная сила», присущая только живому, и поэтому синтез органических веществ из

неорганических невозможен. Это представление опроверг немецкий химик Ф. Вёлер (1800 – 1882 гг.), который в 1828 г. из «минерального» цианата аммония синтезировал «органическую» мочевину, но деление веществ на органические и неорганические в химии сохранилось. Анализ химического состава веществ подразделяют на качественный и количественный. Первым устанавливают, из каких компонентов состоит вещество (атомов, ионов, молекул, функциональных и структурных групп и др.), а вторым – их количественное содержание в веществе.

По химическим свойствам все вещества делят на две группы – неорганические и органические. **Неорганические соединения** – простые и сложные вещества, которые не содержат углерода (за исключением *карбидов*, *угольной кислоты* и ее солей, *карбонатов*, *оксидов углерода* и *цианидов*). Известно более 100 тыс. видов неорганических веществ, которые делят на несколько групп: простые (металлы и неметаллы), бинарные соединения, состоящие из двух элементов, например, карбиды (SiC – карбид кремния), оксиды (Na_2O – оксид натрия) и пр., неорганические кислоты (борная H_3BO_3, фторсульфоновая HSO_3F), основания (щелочи и гидроксиды), соли (такие как, хлорид калия KCl, гидрат сульфата натрия $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), интерметаллические соединения (в частности, сплавы) и кристаллогидраты.

Органические вещества – класс соединений, в состав молекул которых обязательно входит углерод (кроме неорганических соединений углерода). Органические соединения – самый обширный класс химических веществ. К настоящему времени количество известных органических соединений превышает 10 миллионов! Такое многообразие связано с уникальным свойством углерода образовывать цепочки из атомов углерода, что в свою очередь обусловлено высокой стабильностью, а также кратностью углерод-углеродной связи. Поэтому органические молекулы могут образовывать структуры разной формы (линейные, плоские, объёмные). Существует несколько важных свойств (изомерия,

гомология), которые выделяют органические соединения в отдельный, ни на что не похожий класс химических соединений.

Разделение органических веществ осуществляют на основе особенностей строения углеродного скелета соединения и функциональных групп. На основе этого проводят следующую классификацию органических веществ от простых к более сложным (в скобках примеры веществ):

1. *Углеводороды*: предельные (метан CH_4, парафин $C_{35}H_{72}$), непредельные (этилен C_2H_4, ацетилен C_2H_2), ароматические (бензол C_6H_6, нафталин $C_{10}H_8$).
2. *Органические галогениды* (соединения углерода с *I*, *F*, *Br*, *Cl* – хлороформ $CHCl_3$, фреоны).
3. *Спирты*, молекулярная группа *OH* (метанол C_2H_3OH, глицерин $C_3H_5(OH)_3$).
4. *Фенолы* или ароматические спирты (фенол C_6H_5OH, гидрохинон $C_6H_4(OH)_2$).
5. *Карбоновые кислоты* с группой *COOH* (уксусная кислота CH_3COOH, салициловая кислота $C_6H_4(OH)COOH$).
6. *Альдегиды* с группой *CHO* (формальдегид *HCOH*, ванилин $C_8H_8O_3$, ацетон CH_3-$C(O)$-CH_3).
7. *Эфиры* (диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$, эфирные масла, изоамилизовалерат $(CH_3)_2CHCH_2COOCH_2CH_2CH(CH_3)_2$ – запах яблока).
8. *Углеводы* (сахариды), органические соединения, которые часто содержат молекулы воды (глюкоза $C_6H_{12}O_6$, лактоза $C_{12}H_{22}O_{11}$, целлюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$).
9. *Амины*, производные аммиака (фениламин $C_6H_5NH_2$, этилендиамин $C_2H_8N_2$, адреналин $C_9H_{13}NO_3$).
10. *Аминокислоты* – производные карбоновых кислот и аминов (первая – аспаргин $HO_2CCH(NH_2)CH_2CONH_2$, выделена в 1806 г.) Всего известно 300 аминокислот, из них 20 используются в живых организмах (треонин $HO_2CCH(NH_2)CH(OH)CH_3$, глутамин $C_5H_{10}N_2O_3$).

11.*Белки* (полипептиды) – вещества, молекулы которых представляют цепочки из 20 видов аминокислот, так первый открытый белок – инсулин – состоит из двух цепей, в которых 21 и 30 аминокислотных остатков. Образуют огромное разнообразие веществ необходимых для функционирования живых существ (ферменты, глобулины, гормоны).

12.*Нуклеиновые кислоты* (РНК и ДНК) представляют собой биополимеры, мономерами которых являются пять фосфорных эфиров – нуклеотиды (аденин, гуанин, тимин, урацил и цитозин).

3.4.5. Химические процессы

Процессы превращения одних веществ в другие, отличающиеся по химическому составу или строению, называют **химическими реакциями**. В этих процессах из более простых веществ образуются более сложные по составу (реакции соединения), одни сложные вещества переходят в другие (реакции замещения и обмена) или сложные вещества разлагаются на более простые (реакции разложения). Химические реакции могут протекать как внутри одного вещества, так и в смесях различных веществ. При анализе они изображаются в виде уравнения реакции превращения *реагентов* (исходных веществ, взятых для проведения реакции) в *продукты* (новые вещества, образовавшиеся в результате протекания реакции). Например:

$$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O.$$

Химические реакции всегда сопровождаются физическими эффектами – поглощением или выделением теплоты, изменениями агрегатного состояния и окраски веществ; по наличию этих эффектов часто судят о протекании реакций. Химические реакции следует отличать от физических процессов, изменяющих только внешнюю форму или агрегатное состояние вещества (но не его элементный состав). В отличие от ядерных реакций, при химических реакциях

ядра атомов не изменяются (не меняется их общее число и изотопный состав), при этом происходит лишь перераспределение электронов и относительное расположение ядер, и образуются новые химические вещества.

С точки зрения физики химические реакции происходят при возникновении или разрушении химических связей между атомами взаимодействующих веществ. Выделяют водородную, металлическую, ковалентную (неполярную и полярную), ионную **типы химических связей** (рис. 3.7.), которые отличаются энергией и природой взаимодействия. Химические связи возникают и поддерживаются за счет взаимодействия (обмена) электронами атомов химических веществ, образующих молекулы. **Ионные химические связи** возникают между противоположно заряженными ионами в результате переноса внешних электронов с одного атома на другой. Образовавшиеся ионы удерживаются силами электростатического притяжения, поэтому эти связи являются самыми сильными (как в случае ионов натрия и хлора в молекулах поваренной соли). **Ковалентные связи** образуются в молекулах между разными (полярная связь) и одинаковыми (неполярная связь) атомами, часть электронов которых становятся общими, как, например, в молекуле воды. **Металлические связи** характерны для металлов, сплавов и веществ с металлическими свойствами, в кристаллах металлов много свободных электронов, общих для всех атомов данного вещества, между которыми образуются эти связи. Наконец, самыми слабыми (т. е. легко разрывающимися) химическими связями являются **водородные**, возникающие обычно между молекулами вещества и в которых участвуют атомы водорода.

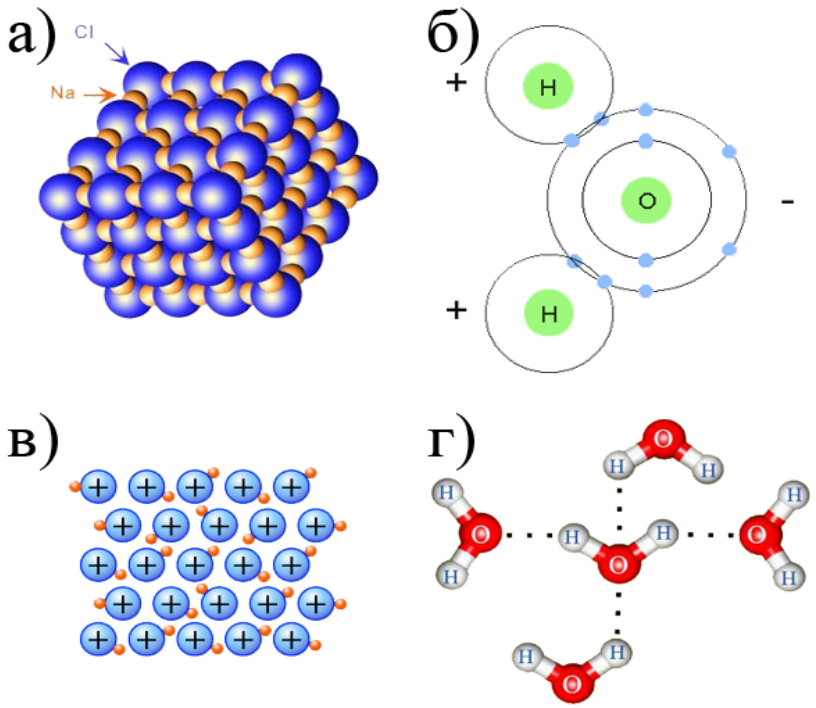


Рис. 3.7. *Схематичные изображения основных типов химических связей: а) ионная; б) ковалентная; в) металлическая; г) водородная.*

Условия среды на Земле таковы, что молекулы непрерывно разрушаются и снова образуются. Если бы температура Земли была значительно выше, например, как температура поверхности Солнца, то многие молекулы не могли бы образоваться из-за слишком сильного теплового возбуждения (атомы не могли бы оставаться друг возле друга), а если бы температура Земли была гораздо ниже, молекулы, соединяясь, образовали бы твердые тела (кристаллы) и не изменялись. Образование и разрушение молекул приводят к постоянным изменениям в окружающей среде и создают возможность появления и существования жизни.

Все химические процессы происходят с поглощением и выделением энергии. Эти процессы можно наглядно продемонстрировать на примере сжигания угля и метана. Горение любого типа связано с образованием новых молекул и, следовательно, с выделением тепловой энергии. Для разрыва химической связи требуется некоторое количество энергии и такое же ее количество появляется при образовании связи. Таким образом,

нужно затратить энергию, чтобы разделить молекулу на атомы, и энергия выделяется, когда атомы образуют молекулу.

В процессе горения кристаллического угля атомы углерода C и кислород воздуха O_2 образуют углекислый газ CO_2. Эта реакция происходит в два этапа: сначала разрывается связь в молекуле O_2, и два атома кислорода присоединяются к углероду. Первый этап требует затрат энергии, так как при обычных температурах тепловой энергии недостаточно для расщепления молекулы кислорода на два атома. Но если подвести теплоту от горящей спички, то реакция начнется. На втором ее этапе при образовании CO_2 выделяется больше энергии, чем нужно для расщепления молекулы кислорода. В результате энергия, необходимая для дальнейшего разделения молекул O_2, поставляется самим процессом горения. Таким образом, при горении угля большая часть энергии выделяется в виде теплоты, но часть энергии, идет на поддержание горения. Поэтому, начавшись, образование углекислого газа продолжается до тех пор, пока не израсходуется весь углерод.

$$C + O_2 \xrightarrow{\text{Требует энергию}} C + O + O \xrightarrow[\text{Производит больше энергии}]{} CO_2$$

При горении метана CH_4 и других углеводородов также требуется начальная теплота, чтобы расщепить и молекулы кислорода, и молекулы углеводорода. После этого углерод соединяется с кислородом, образуя углекислый газ, а водород соединяется с кислородом, образуя воду.

$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{Требует энергию}} C + 4O + 4O \xrightarrow[\text{Выделяет энергию}]{} CO_2 + 2H_2O$$

Так как в молекулах CH_4 и C химические связи существенно слабее, чем в молекулах CO_2 и H_2O, то в данной реакции выделяется гораздо больше энергии, чем при горении угля и, поэтому, метан и другие углеводороды (например, бензин) дают сильное пламя и много теплоты и в настоящее время используются человеком более широко.

Химические реакции происходят при смешении или физическом контакте реагентов самопроизвольно, при нагревании, участии катализаторов, действии света, электрического тока, ионизирующих

излучений и т. п. **Катализатор** – вещество, ускоряющее реакцию, но не входящее в состав продуктов реакции. Количество катализатора, в отличие от других реагентов, после реакции не изменяется. Катализаторами многих реакций являются кислоты, основания, металлы и их оксиды. В биологических процессах роль катализаторов играют **ферменты**, которые представляют собой молекулы белков или РНК (например, протеаза участвует в пищеварении).

С помощью химических реакций получают практически важные вещества, которые в природе находятся в ограниченных количествах (например, азотные удобрения), либо вообще не встречаются в естественной среде (сульфаниламиды и другие синтетические лекарственные препараты, полиэтилен и другие пластмассы), которые синтезируются искусственным путем. Однако неумелое и безответственное химическое воздействие на окружающую среду и на протекающие природные процессы может привести к нарушению установившихся естественных химических циклов, что делает актуальной экологическую проблему и усложняет задачу рационального использования природных ресурсов и сохранения естественной среды обитания на нашей планете.

Подумайте и ответьте:

1) Что такое атом? Каково его строение? Какие силы в нем действуют?
2) Дайте определение химического элемента. Сколько их известно и почему этих элементов ограниченное количество?
3) Что такое химическое соединение? Как в настоящее время определяют понятие «молекула»?
4) Какие типы химических веществ вы знаете? В чем их различие и какова классификация?
5) Как происходит образование химических структур и что такое химическая связь? Какие химические связи вы знаете?

6) Что такое химический процесс? Почему в процессе химических реакций происходят поглощение и выделение энергии? Приведите примеры.

§ 3.5. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

3.5.1. Эволюция изучения биологических систем

На основе принципов системного подхода можно рассмотреть разнообразие форм и явлений живой природы с точки зрения уровня определяющих их биологических структур. Необходимо отметить, что подобное изучение не в полной мере соответствует тому историческому пути, каким развивалась биология, но, тем не менее, оно дает возможность теоретически представить, как могли возникнуть первые живые системы на Земле и как происходил процесс эволюции в направлении от простейших и малоорганизованных систем к системам более сложным и высокоорганизованным.

В эволюционном аспекте биология развивалась как описательная наука о многообразных формах и видах растительного и животного царств. Поэтому важнейшее место в ней заняли методы описания, анализа, систематизации и классификации огромного эмпирического материала, накопленного натуралистами. Первые классификации, наиболее известными из которых были система растений Карла Линнея (1707 – 1778 гг.) и классификация животных Жоржа Бюффона (1707 – 1788 гг.), носили в значительной мере искусственный характер, поскольку не учитывали происхождения и развития живых организмов. Тем не менее, они способствовали объединению всего известного биологического знания, его анализу и исследованию причин и факторов происхождения и эволюции живых систем. Без такого исследования невозможно было бы перейти на новый уровень познания, когда объектами изучения биологов стали

живые структуры сначала на клеточном, а затем и на молекулярном уровне.

Обобщение и систематизация знаний об отдельных видах и родах растений и животных требовали перехода от искусственных классификаций к классификациям естественным, основой которых должен был стать принцип генезиса, происхождения новых видов, а, следовательно, и разработка теории эволюции. Попытки создания естественной классификации, опирающейся на еще весьма несовершенные принципы эволюции, предпринимались Жаном Батистом Ламарком (1744 – 1829 гг.) и Этьеном Жоффруа Сент-Илером (1772 – 1844 гг.). Не подлежит сомнению тот факт, что они послужили важной вехой на пути создания Чарльзом Дарвином (1809 – 1882 гг.) первой научной теории эволюции.

Традиционная, описательная, или эмпирическая, биология послужила тем фундаментом, на основе которого сформировался целостный взгляд на многообразный единый мир живых существ. Первые представления о системах и уровнях их организации были заимствованы из опыта изучения живой природы. Прежде чем объяснить функционирование отдельных частей или элементов живых организмов, необходимо понять жизнедеятельность единого, целостного организма, а такое понимание первоначально достигается именно на описательном, эмпирическом уровне. Дальнейший эволюционный шаг в понимании неизбежно связан с анализом непосредственно данной живой системы, ее расчленением на отдельные подсистемы и элементы, изучением структуры системы и выявлением различных структурных уровней организации живых систем.

3.5.2. Исследование живых систем на клеточном уровне

Представление о структурных уровнях организации живых систем впервые было развито натурфилософами на основе чисто умозрительных построений. Оно было сформировано в науке под

влиянием возрастающего числа биологических наблюдений и экспериментов и изобретением микроскопа. О клеточном строении живых организмов заговорили только после создания клеточной теории.

В середине XIX в. **клетка** рассматривалась как последняя неделимая единица живой материи, наподобие атома в неживых телах. Благодаря принципу упорядоченности считалось, что из клеток построены все живые системы всех уровней сложности и организации. Эрнст Геккель (1834 – 1919 гг.) выдвинул гипотезу, согласно которой протоплазма клетки также обладает определенной структурой и состоит из субмикроскопических частей. Это позволило определить в живой системе новый структурный уровень организации.

Сторонники *редукционизма*, стремившиеся свести процессы жизнедеятельности к совокупности определенных химических реакций, так и защитники *витализма* (от лат. vitalis — жизненный), пытавшиеся объяснить специфику живых организмов наличием в них особой «жизненной силы», всячески сопротивлялись указанному подходу. Так как методы биологического исследования и теории в прошлом были недостаточно хорошо развиты, сущность живого сводили к наличию некоей таинственной непознаваемой «жизненной силы» — vis vitalis, которая отличает живое от неживого. На этом основании сторонников подобного взгляда стали называть виталистами. Однако такое определение оставалось чисто описательным, ибо не раскрывало ни подлинных причин, ни механизмов такого отличия. С другой стороны, идеи редукционизма находили поддержку у представителей механистического и «вульгарного» материализма. Первые из них пытались объяснить закономерности живой природы с помощью простейших механических и физических понятий и принципов, вторые стремились свести эти законы к закономерностям химических реакций, протекающих в организме. Более того, некоторые представители «вульгарных» материалистов утверждали, что мозг

порождает мысль подобно тому, как печень выделяет желчь.

Ученые-экспериментаторы пытались конкретно выяснить, от каких именно структур зависят специфические свойства живых организмов, и поэтому продолжали исследовать их не только на уровне клетки, но также и на уровне отдельных клеточных структур. Была исследована структура белков и определено, что они построены из 20 видов аминокислот, которые соединены длинными полипептидными связями, или цепями. Хотя в состав белков человеческого организма входят все 20 видов аминокислот, но лишь половина из них вырабатываются самим организмом, а 10 являются незаменимыми и поступают в организм с пищей.

Характерная особенность **аминокислот**, содержащихся не только в человеческом организме, но и в других живых системах (животных, растениях и даже вирусах), заключается в том, что все они являются левовращающими изомерами, т.е. способны вращать плоскость поляризации света влево, хотя, в принципе, существуют аминокислоты и правого вращения. Обе формы оптических изомеров почти одинаковы между собой и различаются только пространственной конфигурацией. Таким образом, молекулы аминокислот-изомеров являются зеркальными отображением друг друга. Впервые данное явление открыл выдающийся французский ученый Луи Пастер, исследуя строение веществ биологического происхождения. Он обнаружил, что эти вещества способны вращать поляризованный луч света и поэтому являются оптически активными, вследствие чего они впоследствии были названы оптическими изомерами. В отличие от них у молекул неорганических веществ данная способность отсутствует, и построены они абсолютно симметрично. В современной науке данное свойство называют **молекулярной хиральностью**. Интересно заметить, что если бы человек вдруг превратился в свое зеркальное отражение, то его организм функционировал бы нормально до тех пор, пока он не стал бы употреблять пищу растительного или животного происхождения, которую не смог бы переварить. На вопрос: почему в живой природе

существуют белковые молекулы, построенные из аминокислот левого вращения, до сих пор нет убедительного ответа.

3.2.3. Основные этапы исследования молекулярно-генетического уровня живых систем

Вместе с изучением структуры белка интенсивно исследовались механизмы наследственности и воспроизводства живых систем. Наряду с процессами **метаболизма**, или обмена обществ, живые системы характеризуются также **воспроизводимостью**, или способностью к размножению и оставлению потомства. Особенно остро этот вопрос встал перед биологами при определении границы между живым и неживым. Также остры были и дискуссии по вопросам природы вирусов, которые обладают способностью к самовоспроизводству, но не в состоянии осуществлять процессы, которые мы обычно приписываем живым системам, – обмениваться веществом, реагировать на внешние раздражители и т.п. Если считать определяющим свойством живых существ обмен веществ, то вирусы, очевидно, нельзя назвать живыми организмами, но если таким свойством считать способность к воспроизводству, то их следует отнести к живым системам. Тогда естественно возникает вопрос: какие свойства или признаки характерны для живых систем?

Было установлено, что наследственное вещество в виде хромосом содержится в ядрах клеток. У человека насчитывается 23 пары хромосом, причем 22 пары являются одинаковыми у мужчин и женщин, одна же пара дает возможность определять пол. У женщин она содержит одинаковые хромосомы, названные X - хромосомами, а у мужчин – разные, т.е. X- и Y-хромосомы. Именно в хромосомах и содержится наследственное вещество. В. Иогансен назвал это вещество **геном**. Долгое время природа и структура гена оставались нераскрытыми. Наиболее важным открытием на этом пути стало выделение из состава ядра клетки вещества, обладающего свойствами кислоты и названного впоследствии нуклеиновой кислотой. Удалось

выявить углеводный компонент этих кислот, в одном из которых оказалась *D*-дезоксирибоза, а в другом – *D*-рибоза. В соответствии с этим первый тип кислот стали называть *дезоксирибонуклеиновыми*, или ДНК, а второй – *рибонуклеиновыми*, или РНК. Только через сто лет была расшифрована роль нуклеиновых кислот в хранении и передаче наследственных признаков, участии их в синтезе белка и обмене веществ.

Молекула **ДНК** представляет собой двойную спираль, состоящую из двух ветвей. Все химические реакции в клетке совершаются в соответствии с программой, закодированной в виде наследственной информации в молекулах ДНК и передаваемой от нее молекулам РНК. В живой клетке в процессе обмена веществ на молекулах ДНК синтезируется информационная РНК, которая переносится в рибосомы и служит матрицей для синтеза белков. Ген представляет собой определенный участок молекулы ДНК вместе со специфическим набором нуклеотидов, в линейной последовательности которых записана генетическая информация. Каждый ген ответственен за синтез определенного белка или фермента. Контролируя процесс их образования, гены управляют всеми химическими реакциями организма и тем самым определяют его признаки. Передача наследственных свойств организма от одного поколения другому достигается благодаря способности молекулы ДНК самокопироваться путем самоудвоения хромосом в процессе клеточного деления. Сам процесс воспроизводства складывается из трех стадий: репликации, транскрипции и трансляции. При репликации происходит удвоение молекул ДНК, которое необходимо для последующего деления. Совокупность генов организма образует его **генотип**. По своей функциональной активности все гены разделяются на «регуляторные», кодирующие структуру регуляторного белка, и «структурные», кодирующие синтез метаболитов, в том числе ферментов. Одна из основных функций генов состоит в кодировании синтеза белков.

Считается, что основным источником изменений и

последующего отбора являются мутации, возникающие на молекулярно-генетическом уровне. Однако существуют и иные механизмы изменчивости, важнейшим из которых является «генетическая рекомбинация». В одних случаях, называемых «классическими», она не приводит к увеличению генетической информации, как, например, у высших организмов. В других, «неклассических», случаях рекомбинация сопровождается увеличением информации генома клетки. Дальнейшее исследование «неклассических» форм генетических рекомбинаций привело к открытию целого ряда переносимых, или «мигрирующих», генетических элементов. Было высказано предположение, что «мигрирующие» генетические элементы вызывают более существенные изменения в геномах клеток, чем мутации. Все это подставило под сомнение существование естественного отбора на молекулярно-генетическом уровне. Действие естественного отбора проявляется на уровне фенотипа, т.е. живого, целостного организма, а это связано уже с более высоким уровнем исследования.

3.2.4. Индивидуальный или онтогенетический уровень живых систем

Онтогенетическим называют индивидуальный уровень развития и считают, что он охватывает все одноклеточные и многоклеточные живые организмы. Онтогенез в краткой форме повторяет филогенез. Это означает, что отдельный организм в своем индивидуальном развитии в сокращенной форме повторяет историю рода, т.е. филогенез.

Изучение онтогенетического уровня проводится с клетки, так как она является минимальной самостоятельной живой системой. Все клетки можно разделить на два класса:

1) **прокариоты** – клетки, лишенные ядер;
2) **эукариоты** – клетки, появившиеся позднее, имеющие ядра и более сложную структуру.

Оказалось, что эти два класса клеток обладают существенными различиями в структуре и функционировании генетического аппарата, строении клеточных стенок и мембранных систем, характере механизмов синтеза белков и т.п.

Соответственно тому, из каких клеток построены живые системы, их можно разделить на две больших группы. К первой относятся бактерии и сине-зеленые водоросли (цианобактерии). К другой группе принадлежат построенные из возникших позднее эукариотических клеток одноклеточные и многоклеточные организмы, начиная от низших и кончая высшими (грибы, растения, животные). Эта классификация была пересмотрена после открытия архебактерий, особенность которых состоит в том, что их клетки, с одной стороны, в чем-то сходны с прокариотами, а с другой – с эукариотами.

Считается, что все типы клеток происходят от единой живой первичной минимальной системы, которую можно называть «протоклеткой». Предполагают, что она обладала всеми основными свойствами, характерными для живых организмов, и прежде всего способностью обмениваться с окружающей средой веществом и энергией, признак, присущий всем без исключения открытым системам. Отдельно следует отметить способность «протоклетки» к метаболизму, или осуществлению биохимических реакций, сопровождающихся усвоением необходимых для роста клетки веществ и удалением использованных продуктов реакций. Дальнейшее функционирование и развитие клетки предполагает также наличие у нее способности к делению. «Протоклетка» по своим важнейшим структурно-функциональным свойствам не была подобна современным одноклеточным прокариотам, а обладала некоторыми признаками, аналогичными свойствам эукариотических клеток.

В ходе научных исследований были выделены два основных типа питания. **Автотрофный тип питания** присущ организмам, которые не нуждаются в органической пище и могут жить либо за счет хемо- (некоторые бактерии), либо фотосинтеза (растения и сине-

зеленые водоросли). **Гетеротрофный тип питания** соответствует организмам, которые не могут существовать без органической пищи (животные и грибы).

3.2.5. Популяции и надорганизменные уровни организации живых систем

Онтогенетический или организменным уровень организации относится к отдельным живым организмам, одноклеточным и многоклеточным. Название организменный уровень происходит потому, что речь идет о структуре и функциях отдельного организма без учета его связей и взаимодействий с другими организмами. Так как минимальной живой системой служит клетка, на этом уровне уделяется большое внимание анализу структуры и функционирования различных клеточных образований.

Надорганизменным уровнем является популяционный уровень. Живые организмы, принадлежащие к одному виду, которые имеют единый генофонд и занимают единую территорию, образуют **популяцию**. Несомненно, надорганизменный уровень тесно связан с онтогенетическим и молекулярным уровнями, но качественно отличается от них по характеру взаимодействия составляющих компонентов, так как в этом взаимодействии они выступают как целостные общности организмов. Именно **популяции** служат элементарными единицами эволюции.

Второй надорганизменный уровень составляют различные системы популяций, которые называют **биоценозами** и представляют более обширные объединения живых существ и в значительно большей мере зависят от небиологических, или абиотических, факторов внешней среды.

Третий надорганизменный уровень организации – **биогеоценоз** – содержит в себе биоценоз, а также совокупность небиологических факторов (географических, климатических, гидрологических, атмосферных и т.п.). Другое название биогеоценоза – **экосистема**.

Четвертый надорганизменный уровень образует **биосфера** – совокупность всех существующих биогеоценозов.

Функционирование и развитие живой природы происходит на основе ее целостности и системности, которые проявляются в существовании различных иерархических уровней ее организации, характеризующихся своими свойствами и закономерностями, не сводимыми к закономерностям прежнего, низшего уровня. Популяции представляют собой незамкнутые, открытые метаболические системы, которые могут существовать и развиваться только при взаимодействии с другими популяциями. В отличие от них биоценозы – относительно замкнутые метаболические системы, в которых обмен и круговорот веществ может осуществляться в рамках входящих в биоценоз популяций, хотя эта замкнутость имеет ограниченный и относительный характер, так как разные биоценозы взаимодействуют между собой. Чем сложнее пищевые связи между организмами и популяциями, тем более жизнеспособной и устойчивой является живая система любого надорганизменного уровня.

Подумайте и ответьте:

1) В чем заключается подход сторонников механицизма и редукционизма к жизнедеятельности живых организмов?
2) В чем состоит ошибочность теории витализма в биологии?
3) Какие основные функции выполняют аминокислоты в живом организме?
4) Что называют молекулярной хиральностью?
5) Чем отличаются живые системы от неживых объектов?
6) К чему относятся вирусы: к живым организмам или к неживым системам?
7) Опишите роль, которую играют молекулы ДНК в передаче наследственности.
8) Что называется онтогенетическим уровнем организации живых систем?

9) Назовите отличие прокариотических клеток от эукариотических?
10) Перечислите основные способы питания в живой природе?
11) Что такое популяции?
12) В чем отличие между биоценозами и биогеоценозами?
13) Какие факторы влияют на жизнеспособность живых систем?

ГЛАВА 4

§ 4.1. ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ПРИРОДЕ

4.1.1. Детерминизм. Концепции детерминизма

Детерминизм (лат. *determinare – определять, ограничивать*) – учение, утверждающее, что все явления связаны причинной связью с более ранними явлениями.

Можно выделить несколько концепций детерминизма, сменявших исторически друг друга, но не исчезнувших до сих пор:

1) наивную и стихийно диалектическую (**античная**);
2) механистическую жесткую и однозначную (**лапласовская**);
3) **статистическую** или вероятностную (естественнонаучную – в XX веке);
4) **современную** (синтетическую, диалектическую, по сути – синергетическую).

Античный детерминизм. Идеи причинности были самыми ранними в детерминизме. К их признанию побуждала практика развитой политической и юридической жизни древнегреческих городов-полисов. Идеи причинности, а также необходимости сформулированы были еще Левкиппом (V век до н.э.), а затем Демокритом (ок. 450 г. до н.э.) в их атомистике. Последний говорил, что «предпочел бы найти одно причинное объяснение, нежели приобрести себе персидский престол». У него уже видна идея отказа от случайности, фатализм в понимании действия законов природы.

В основе философии Демокрита лежит учение об атомах и пустоте как двух принципах, порождающих многообразие космоса. Атом есть мельчайшее «неделимое» тело, не подверженное никаким изменениям. Неделимость атома аналогична неделимости «бытия» Парменида: деление предполагает наличие пустоты, но внутри атома по определению пустоты нет. Пустота в системе Демокрита

выступает как принцип дискретности, множества и движения атомов, а также как их бесконечное «вместилище».

Всем атомам присуще свойство непрерывного движения, и даже внутри макротел, – которые образованы благодаря сцеплению атомов между собой, – они совершают колебательные движения. Первопричиной этого движения являются соударения атомов, начавшиеся во время спонтанного «Вихря», благодаря которому возник наш космос: в космогоническом Вихре произошла первичная сортировка атомов (подобное к подобному), более крупные атомы оказались в центре, и из них произошла Земля. Вокруг нее первоначально вращалась «влажная и грязеобразная» оболочка, которая постепенно высыхала и влажная материя уходила вниз, а сухая от трения воспламенялась и из нее формировались звезды.

Друг от друга атомы, число которых бесконечно, отличаются тремя свойствами: «фигурой», «размером» и «поворотом» (положением в пространстве). Например, «В» отличается от «в» размером, «В» от «Р» – фигурой, а «Р» от «Ь» – поворотом; четвертая отличительная характеристика – «порядок» – относится к способу соединения атомов друг с другом (ВРР в отличие от РВР и т.д.), вследствие чего составленные из атомов макротела обладают разнообразными качествами.

В отличие от детерминизма, высказываемого Демокритом в атомистической исследовательской программе, Эпикур создает учение о неустранимой случайности в движении атомов.

Физика Эпикура опирается на натурфилософию досократиков и, в особенности, на атомизм Демокрита. Она призвана дать такое объяснение мира, которое позволит человеку преодолеть фундаментальные препятствия на пути к достижению блаженства – страх перед богами и страх смерти.

Согласно Эпикуру, Вселенная не создана богами; она вечна, поскольку бытие не может возникнуть из небытия, как и небытие – из бытия. Вселенная содержит в себе тела, движущиеся в пространстве,

или пустоте. Существование пустоты между телами следует из того, что иначе не было бы возможно движение.

Все тела представляют собой соединения неделимых и неизменных частиц – атомов, различающихся между собой величиной, весом и формой. Двигаясь в бесконечной пустоте с равной скоростью, атомы слегка отклоняются от своих траекторий, соединяясь в сложные тела. В бесконечном пространстве и времени существует бесчисленное количество миров, которые рождаются и гибнут благодаря беспрестанному движению атомов.

Допущение самопроизвольного отклонения атомов (принципиальное отличие учения Эпикура от атомистики Демокрита) служит двоякой цели: в физике оно объясняет столкновение атомов и, тем самым, образование тел, которое были бы невозможно, если бы атомы двигались только по прямой; в этике – теоретически обосновывает учение о свободе, доказывая, что в мире все происходит не только по необходимости, но есть и случайность, есть то, что «зависит от нас».

Таким образом, согласно Эпикуру человек не должен страшиться богов, поскольку они, вопреки мнениям толпы, не оказывают никакого влияния ни на мир, ни на людей. Боги – бессмертные, блаженные существа, которым не свойственны ни гнев, ни благоволение к людям.

Однозначный (лапласовский) детерминизм. Эта концепция стала фундаментом классической механики и физики. Она была подкреплена их успехами в науке и в границах применения законов науки.

Суть лапласовского детерминизма состоит в том, что силы (то есть некоторые внешние причины и факторы), действующие на материальную систему и ее начальное состояние, жестко, однозначно и линейно определяют ее развитие, историю всех дальнейших событий и состояний. **Каждое последующее состояние является следствием предыдущего и более того, существует теоретическая**

возможность просчитать любой событие исходя из предыдущего состояния и законов механики.

«Современные события имеют с событиями предшествующими связь, основанную на очевидном принципе, что никакой предмет не может начать быть без причины, которая его произвела... Воля, сколь угодно свободная, не может без определенного мотива породить действия, даже такие, которые считаются нейтральными... Мы должны рассматривать современное состояние Вселенной как результат ее предшествующего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение ее составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, обнял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого легкого атома; для него не было бы ничего неясного, и будущее, как и прошлое, было бы у него перед глазами... Кривая, описываемая молекулой воздуха или пара, управляется столь же строго и определенно, как и планетные орбиты: между ними лишь та разница, что налагается нашим неведением»

В качестве примера приводится мысленный эксперимент: возьмём 2 больших ящика, в одном сидит человек, а в другом находится человек и два шара – чёрный и белый. Человек в первом ящике тянет руку во второй ящик и нащупывает там шар. Для него единственно верный вывод о том, какой шар он держит, будет таков: «В 50 % случаев я держу в руках белый, а в 50 % – черный шар». А вот для человека в другом ящике (если там конечно достаточно светло) будет совершенно ясно и очевидно, что первый человек взялся рукой за белый (или чёрный) шар.

Из этой теории вытекают несколько важных следствий:

Во-первых, из этого вытекает полная предопределенность всего, что должно произойти, иначе говоря, теория детерминизма представляет собой попытку научного обоснования учения о фатализме.

Второй вывод можно сделать такой: раз всё так предопределенно значит, будущее можно предсказать, притом на научном основании. Более того, как только будет найдена некоторая универсальная формула, описывающая состояние Вселенной достаточно будет её подставить и вот уже простой человек, а не какой-нибудь там высший разум или демон сможет предсказывать не только движения планет, но и землетрясения, наводнения, войны и революции, притом со 100 %-й достоверностью.

Вероятностный детерминизм. Исторически он возник в связи с использованием термодинамики и статистической физики в массовой практике. Первоначально был призван способствовать разрешению задач, вызывающих затруднение в рамках лапласовского детерминизма: законы динамического типа считались первичными, а статистические – производными от них и как бы второстепенными. Все еще господствовала старая идея научного объяснения – свести все законы к законам динамического типа. Между тем, создание квантовой механики выдвинуло на передний план два положения:

1) поле и вещество дискретны, квантованы и непрерывны одновременно, они дуалистичны;

2) тезис о первичности статистических законов по отношению к динамическим. Основатели квантовой механики, отстаивая последний тезис, связали его с индетерминизмом как именно отказом от причинного описания событий в микромире, а также от однозначности и жесткости.

Современный детерминизм. Является синтезом предыдущих подходов, включая античный детерминизм, особенно в том пункте, когда признается диалектика. Новое сильное подкрепление, он получил через концепцию самоорганизации материи, развитую в XX в. в синергетике И.Р. Пригожиным и Г. Хакеном. Данная концепция прояснила то, что раньше подсказывала диалектика, а, именно, общие идеи развития материального мира, раскрыла его механизмы и выявила принципы устойчивости/неустойчивости, нестабильности, необратимости, скачкообразности, самоорганизации, нелинейности,

вероятности, бифуркаций, наличие аттракторов и их роль, коллективных эффектов и др.

4.1.2. Динамические закономерности в природе. Лапласовский детерминизм

В рамках механистического детерминизма складывается описание мира, которое опирается на **динамические теории – теории, однозначно связывающие между собой значения физических величин, характеризующих состояние системы.**

Примерами динамических теорий являются:

- механика,
- электродинамика,
- термодинамика,
- теория относительности.

Законы, с которыми имеет дело классическая механика, имеют универсальный характер, т. е. они относятся ко всем без исключения изучаемым объектам природы. Отличительная особенность такого рода законов состоит в том, что предсказания, полученные на их основе, имеют достоверный и однозначный характер. Наиболее ярко они проявились после того, как на основе закона всемирного тяготения, изложенного И. Ньютоном в 1671 г. в «Математических началах натуральной философии», и законов механики возникла небесная механика. На основе законов небесной механики были вычислены отклонения в движении Урана, вызванные возмущающим влиянием неизвестной тогда планеты. Определив величину возмущения, независимо друг от друга по законам механики положение неизвестной планеты рассчитали Д. Адамс и У. Леверье. Всего на угловом расстоянии в 1° от рассчитанного ими положения И. Галле обнаружил планету Нептун. Открытие Нептуна блестяще подтвердило справедливость законов небесной механики и наличие в природе однозначных причинных связей. Это позволило французскому механику П. Лапласу сказать: **дайте мне начальные**

условия и я, с помощью законов механики, предскажу дальнейшее развитие событий.

4.1.2. Статистические закономерности в природе. Вероятностный детерминизм

В отличие от динамических законов, статистические законы не позволяют точно предсказать наступление или ненаступление того или иного конкретного явления, направление и характер изменения его характеристик. На основе статистических закономерностей можно определить лишь степень вероятности возникновения или изменения явления. **Статистические теории связывают между собой вероятности тех или иных значений физических величин.** Вероятностными они называются потому, что заключения, основанные на них, не следуют логически из имеющейся информации, а потому не являются достоверными и однозначными. Динамические теории не противостоят статистическим, а включаются в рамки последних как предельный случай. Это хорошо видно на примере классической механики; которую можно рассматривать как предельный случай квантовой механики.

В классической науке статистические законы не признавались подлинными законами, так как ученые в прошлом предполагали, что за ними должны стоять такие же универсальные законы, как закон всемирного тяготения Ньютона, который считался образцом детерминистического закона, поскольку обеспечивает точные и достоверные предсказания приливов и отливов, солнечных и лунных затмений и других явлений природы. Статистические же законы признавались в качестве удобных вспомогательных средств исследования, дающих возможность представить в компактной и удобной форме всю имеющуюся информацию о каком-либо предмете исследования. Подлинными законами на тот момент считались именно детерминистические законы, обеспечивающие точные и достоверные предсказания. Эта терминология сохранилась до

настоящего времени, когда статистические, или вероятностные, законы квалифицируются как индетерминистические, с чем вряд ли можно согласиться.

Отношение к статистическим законам принципиально изменилось после открытия законов квантовой механики, предсказания которых имеют существенно вероятностный характер. Законы квантовой механики являются статистическими; они не в состоянии определить движение каждой отдельной частицы, но определяют движение группы, того или иного множества.

Примеры статистических теорий:

- молекулярно-кинетическая теория (исторически первая статистическая теория),
- квантовая механика и квантовые теории,
- эволюционная теория Дарвина.

Понятия, которыми оперируют статистические теории:

– **случайность (непредсказуемость)**;

– **вероятность (вероятностная мера)** – численная мера степени объективной возможности наступления случайного события. Оценкой вероятности события может служить частота его наступления в длительной серии независимых повторений случайного эксперимента. Согласно определению П. Лапласа мерой вероятности называется дробь, числитель которой есть число всех благоприятных случаев, а знаменатель число всех возможных случаев.

– **среднее значение величины**;

– **флуктуация** – случайное отклонение системы от среднего (наиболее вероятного) состояния.

4.1.3. Современный детерминизм. Соответствие и соотношение динамических и статистических теорий

Современную концепцию детерминизма можно сформулировать следующим образом: динамические законы представляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего мира; статистические же законы более совершенно отображают объективные связи в природе: они являются следующим, более высоким этапом познания. **Предсказания динамических и статистических теорий совпадают, когда можно пренебречь флуктуациями; в остальных случаях статистические теории дают более глубокое, детальное и точное описание реальности.**

В современной концепции детерминизма органически сочетаются необходимость и случайность. Признание самостоятельности статистических, или вероятностных, законов, отображающих существование случайных событий в мире, дополняет прежнюю картину строго детерминистического мира. В результате в новой современной картине мира определенность и случайность выступают как взаимосвязанные и дополняющие друг друга аспекты объяснения окружающего мира.

Рассматривая проблему соотношения между динамическими и статистическими закономерностями, современная наука исходит из концепции статистических закономерностей. Не только динамические, но и статистические законы выражают объективные причинно-следственные связи. Более того, именно статистические закономерности являются фундаментальными, более глубокими по сравнению с динамическими закономерностями, они ярче выражают указанные связи.

Таким образом, согласно современной научной концепции, можно говорить о всеобщности, универсальности вероятностного подхода. Это означает, в частности, что деление фундаментальных теорий на динамические и статистические является, строго говоря,

условным. Фактически все фундаментальные теории должны рассматриваться как статистические.

Подумайте и ответьте:

1) Опишите особенности исторически сменяющих друг друга концепций детерминизма?
2) В чем заключается принципиальное отличие учения Эпикура от атомистики Демокрита?
3) Как Вы понимаете, что такое детерминистское описание мира? Приведите примеры динамических теорий.
4) Опишите особенности вероятностного описания окружающего мира. Приведите примеры статистических теорий.

§ 4.2. КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Квантовая механика – это раздел теоретической физики, изучающий поведение микрочастиц (элементарных частиц, атомных ядер, атомов, молекул) и их систем (например, кристаллов) и т.д. Возникала в начале XX в. с целью описания явлений и процессов, необъяснимых в рамках классической физики.

В классической физике состояние частиц описывается заданием наборов координат и скоростей, а также уравнениями, определяющими изменение этих характеристик. В квантовой механике из-за свойств микрообъектов используются вероятностные характеристики, основной из которых является *волновая функция*.

Отправной точкой создания квантовой механики следует считать гипотезу М. Планка о механизме теплового излучения (1900 г.), согласно которой свет излучается и поглощается не непрерывно (как следовало из классической теории), а отдельными порциями – *квантами*.

В 1905 г. А. Эйнштейн, используя модель квантов, смог построить теорию *фотоэффекта* (нобелевская премия, 1921 г.). **Фотоэффект представляет собой явление, при котором**

происходит выбивание электронов с поверхности металла под действием света. Исследования фотоэффекта показали, что, вопреки классической электродинамике, энергия вылетающего электрона всегда строго связана с частотой падающего излучения и практически не зависит от интенсивности облучения. В теории Эйнштейна свет представляется как поток отдельных квантов, при этом каждый квант выбивает только один электрон. Таким образом, свет в этом явлении проявляет корпускулярные свойства, т.е. ведет себя как поток частиц – *фотонов* (рис. 4.1.).

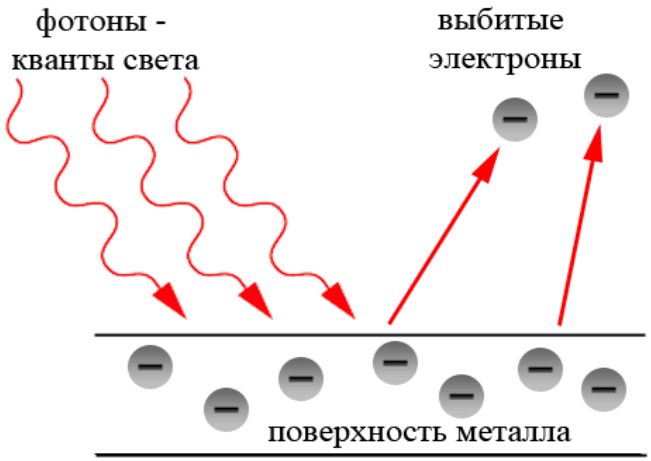


Рис. 4.1. *Схема фотоэффекта.*

Объяснение фотоэффекта в рамках квантовой модели позволило приблизиться к открытию удивительного свойства материи – **корпускулярно-волнового дуализма**. Суть его заключается в том, что вся окружающая нас материя имеет **двойственную природу:** в одних явлениях она ведет себя как электромагнитные волны, подобные волнам на поверхности воды, в других – как поток отдельных частиц. Трудность в наглядном представлении здесь состоит в том, что волны и частицы обладают несводимыми для классического понимания свойствами. Волны являются *непрерывными*, в то время как частицы четко разделены друг с другом, т.е. *дискретны* (рис. 4.2.).

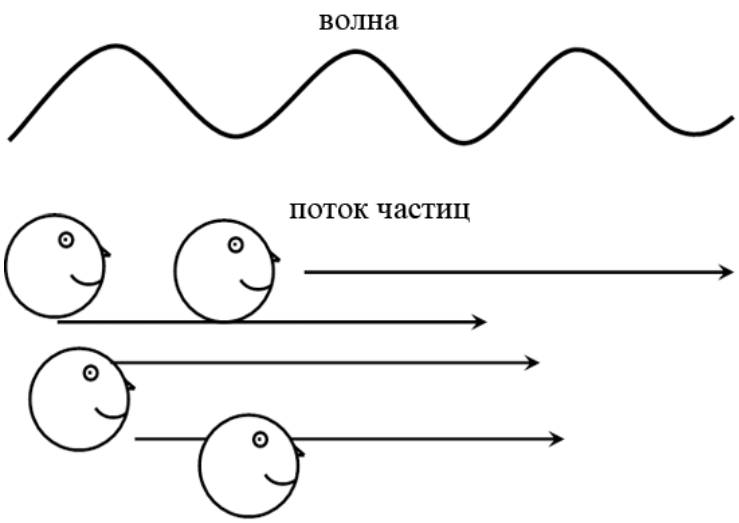


Рис. 4.2. *Волна и поток частиц.*

Свет проявляет волновые свойства в таких явлениях как *интерференция*, *дифракция* и *поляризация*. В то же время *фотоэффект*, *световое давление* и *эффект Комптона* демонстрируют корпускулярные свойства света.

Поскольку корпускулярно-волновой дуализм – всеобщее свойство материи, то и частицы в определенных явлениях также должны проявлять волновые свойства. Примером может служить опыт по дифракции электронов (рис. 4.3.(а)). Электроны, проходя через диафрагмы 1 и 2, формируют на экране дифракционную картину – чередование максимумов и минимумов интенсивности, вызванное наложением электронных волн в разных условиях. Если проделать аналогичный опыт с частицами, не проявляющими волновых свойств (например, с маленькими шариками), то дифракция наблюдаться не будет (рис. 4.3.(б)).

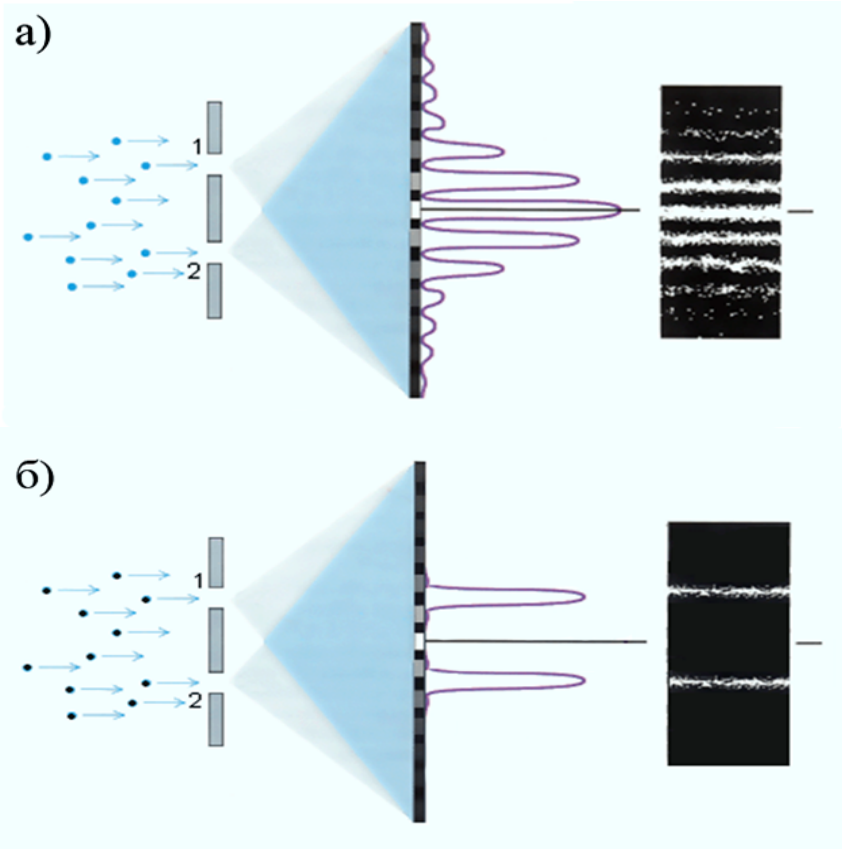


Рис. 4.3. *Опыт по дифракции электронов (а) и аналогичный опыт с шариками (б). Во втором случае дифракционная картина не наблюдается.*

Важным следствием корпускулярно-волновой природы микрообъектов выступает **соотношение неопределенностей Гейзенберга**. Это фундаментальный принцип, устанавливающий предел точности одновременных измерений определенных величин. Например, нельзя одновременно с абсолютной точностью определить координату частицы и ее скорость (импульс). Происходит так еще и потому, что наблюдатель своим измерением производит влияние на микросистему.

В качестве одного из примеров, иллюстрировавших это, Гейзенберг приводил воображаемый микроскоп как измерительное устройство (Гейзенберг, 1930 г.). С его помощью экспериментатор измеряет положение и импульс (скорость) электрона, который рассеивает падающий на него фотон, обнаруживая тем самым своё присутствие. Если фотон имеет малую длину волны и, следовательно, большой импульс, то положение электрона в принципе может быть

измерено достаточно точно. Но при этом фотон рассеивается случайным образом, передавая электрону достаточно большую и неопределённую долю своего импульса. Если же у фотона большая длина волны и малый импульс, он мало изменяет импульс электрона, однако рассеяние будет определять положение электрона очень неточно. **Таким образом, демонстрируется смысл соотношения неопределенностей координата-импульс:** $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$**, где** $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ **Дж·с – постоянная Планка**.

Другое соотношение неопределенностей, связывающее погрешность в измерении временного интервала и энергии (соотношение «энергия-время», $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$**)**, определяет существование вакуумных осцилляций или *виртуальных частиц* – особых короткоживущих объектов, имеющих свойства соответствующих реальных частиц. Продемонстрировать их поведение можно с помощью следующей схемы (рис. 4.4.). Пусть в начальный момент времени мы имеем некий объем вакуума («пустоты» с точки зрения классической физики). Соотношение неопределенностей энергия-время утверждает, что на очень малый промежуток времени $\Delta t \sim h / \Delta E$ в вакууме нарушается закон сохранения энергии и рождаются пары частица-античастица (на схеме частица a и ее античастица $\overline{a}$), которые существуют в течение времени Δt, а затем исчезают. При этом выполняется условие $\Delta E = 2m_a \cdot c^2$ ($2m_a$ – масс частицы и античастицы, c – скорость света). Таким образом, чем более массивные частицы рождаются в этом процессе, тем меньшее время они «живут». «Виртуальными» такие частицы называются потому, что их нельзя напрямую зарегистрировать экспериментально. Однако они могут быть обнаружены косвенным путем (например, с помощью эффекта Казимира).

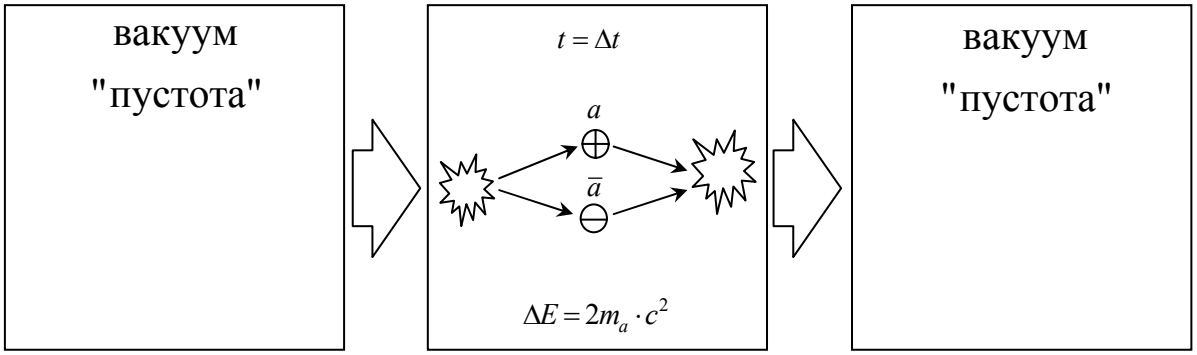


Рис. 4.4. *Схема рождения/аннигиляции (взаимного уничтожения) виртуальных частиц.*

Изучая перечисленные свойства квантовых объектов, выдающийся физик Нильс Бор сформулировал **принцип дополнительности: «Для полного описания квантовомеханических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых дает исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных**». Величины, которые, согласно соотношениям неопределенности, не могут быть измерены одновременно точно, называются *дополнительными*. Принцип дополнительности утверждает, что взаимно-дополнительные величины не могут быть точно определены в рамках одного эксперимента поскольку, с одной стороны, микрообъекты имеют двойственную корпускулярно-волновую природу, а с другой стороны, экспериментатор своими наблюдениями оказывает на них влияние и, таким образом, искажает их поведение. Отсюда следует, что для определения свойств микрочастиц требуется несколько различных по своему содержанию экспериментов, в каждом из которых определяется только одна из взаимно-дополнительных величин (например, импульс и координата). То же самое относится и к величинам, характеризующим корпускулярные и волновые свойства микрообъекта, которые также не могут быть измерены в одном эксперименте (корпускулярные и волновые свойства несовместимы в одном явлении).

Позднее Н. Бор превратил свой принцип дополнительности из физического в универсальный философский, с наиболее общим методологическим значением. Он писал, что «В общефилософском аспекте, знаменательно здесь то, что в отношении анализа и синтеза в других областях знания мы встречаемся с ситуациями, напоминающими ситуацию в квантовой физике. Так, цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания. Передача опытных фактов в этих обширных областях знания требует богатого словаря, а из-за того, что словам иногда придается различный смысл, и прежде всего из-за различия в принятых в философской литературе толкованиях понятия причинности, цель такого рода сопоставлений часто понималась превратно. Но постепенно развитие терминологии, пригодной для описания более простой ситуации в области физики, показывает, что мы имеем здесь дело не с более или менее туманными аналогиями, а с отчетливыми примерами логических связей, которые в разных контекстах встречаются в более широких областях знания». В настоящее время принцип дополнительности широко применяется в биологии, психологии, культурологии, языкознании и других науках, где существуют различные, подчас противоположные взгляды на сущность того или иного процесса или явления.

Поскольку микрообъекты обладают свойствами, которые не могут быть описаны терминами классической механики, в квантовой физике любое состояние системы описывается с помощью, так называемой *волновой функции*. Она определяет состояние микрообъекта не достоверно, а с определенной вероятностью, указывает значение вероятностей тех величин, от которых зависит. Например, если задана зависимость волновой функции частицы от координат x, y, z и времени t, то квадрат ее модуля определяет вероятность обнаружить частицу в момент t в точке с координатами x, y, z.

Волновая функция одновременно отражает и наличие волновых свойств у микрообъектов (частиц). Так, для свободной частицы с заданным импульсом p и энергией E, которой сопоставляется волна де Бройля с частотой $\nu = E / h$ и длиной волны $\lambda = h / p$ (где h – постоянная Планка), волновая функция должна быть периодична в пространстве и времени с соответствующей величиной λ и периодом $T = 1/\nu$.

Волновая функция дает максимально полное описание состояния микроскопической системы, т.е. если мы знаем волновую функцию квантовой системы, то знаем о ней все. Она заменяет классическое состояние, которое задается координатами и скоростями. А *уравнение Шредингера*, описывающее эволюцию волновой функции, – основное уравнение квантовой механики, заменяет уравнения Ньютона в классической физике.

Вероятностная трактовка волновой функции отражает присущие микрообъектам элементы случайного в поведении. Необходимой оказывается лишь вероятность поведения микрообъекта. Это означает, что предсказания в квантовой механике имеют вероятностный характер, а физика микрообъектов – принципиально статистическая теория. Описание микроскопической системы с помощью волновой функции является вероятностным, но эволюция волновой функции со временем носит строго динамический характер.

Квантовая механика является теоретической основой современного учения о структуре и свойствах вещества и поля. По сравнению с классической физикой она рассматривает материю на более глубоком и фундаментальном уровне и позволяет объяснить многие явления, которые в классической физике принципиально невозможно понять. По сути дела, квантовая теория образует язык, с помощью которого описываются явления микромира, более общий, чем классическая теория. Квантовая механика не отменяет классическую, а содержит ее как свой предельный случай. При переходе от микрообъектов к обычным макроскопическим объектам ее законы становятся классическими.

Переход от классической физики к квантовой есть переход к более глубокому уровню рассмотрения материи.

Подумайте и ответьте:

1) Что изучает квантовая механика? С чем связано появление квантовой механики?
2) Что такое корпускулярно-волновой дуализм? Опишите волновые и корпускулярные свойства света.
3) Опишите опыт по наблюдению волновых свойств частиц.
4) Какие соотношения неопределенностей Вы знаете? Что устанавливают соотношения неопределенностей?
5) Приведите квантовомеханическую и философскую трактовки принципа дополнительности.

§ 4.3. ПРИНЦИП ВОЗРАСТАНИЯ ЭНТРОПИИ

4.3.1. Предмет и методы термодинамики

Последовательность различных курсов как общей, так и теоретической физики определяется, прежде всего, постепенным переходом к изучению все более сложных структурных уровней организации материи и все более сложных форм движения материи.

К примеру, механика изучает закономерности простейшей формы движения – механической – относительного перемещения тел в пространстве со временем. Термодинамика и статистическая физика рассматривают явления, обусловленные совокупным действием огромного числа непрерывно движущихся молекул и других частиц, из которых состоят окружающие нас макроскопические тела. Благодаря очень большому количеству частиц их беспорядочное движение приобретает новые качества: макроскопические свойства систем из большого числа частиц в обычных условиях совершенно не зависят от начального положения этих частиц, в то время как в

механике состояние системы существенно определяется начальными условиями.

Термодинамика (греч. *θέρμη* – «*тепло*», *δύναμις* – «*сила*») – раздел физики, изучающий соотношения и превращения теплоты и других форм энергии. Сложившееся название «термодинамика» употребляется не в связи с понятием динамики и определяет не учение о движении теплоты, а науку о «движущих силах», возникающих при тепловых процессах. Первое сочинение по термодинамике так и называлось «Размышления о движущей силе огня и о машинах способных развивать эту силу» (Сади Карно, 1824 г.). Здесь под «движущей силой» понималось полезное действие (работа), которое двигатель может дать за счет теплоты. Таким образом, термодинамика – наука о законах теплового движения (термо) и его превращениях (динамика) в другие виды движения. **Статистическая физика – раздел физики, изучающий методами теории вероятностей поведение систем частиц в состоянии равновесия или в неравновесном состоянии.** Статистическую физику подразделяют на равновесную и неравновесную.

Термодинамика и статистическая физика изучают тепловую форму движения материи. Их основное содержание составляет рассмотрение закономерностей теплового движения в системах, находящихся в тепловом равновесии, когда в них отсутствуют макроскопические перемещения одной части относительно другой, а также закономерности при переходе систем в равновесное состояние. Отсюда видно, что предмет изучения термодинамики и статистической физики один и тот же. Существенное отличие их друг от друга состоит в методах исследования. В то время как термодинамика изучает свойства равновесных физических систем, исходя из трех основных законов, называемых началами термодинамики, и не использует явно представления о молекулярном представлении вещества, статистическая физика при рассмотрении этих свойств с самого начала опирается на молекулярные

представления о строении физических систем, широко используя при этом методы математической теории вероятностей.

Феноменологический (описательный) характер термодинамики – несвязанность выявляемых закономерностей с атомно-молекулярными представлениями о внутреннем строении вещества приводит, с одной стороны, к важным результатам в отношении свойств физических систем, а с другой стороны, ограничивает глубину изучения этих свойств, так как не позволяет вскрыть природу исследуемых явлений. По этой причине наряду с развитием термодинамики формировалась и молекулярно-кинетическая теория свойств физических систем, и все исследователи, имена которых связаны с термодинамикой, уделяли большое внимание молекулярно-кинетическому обоснованию полученных в термодинамике результатов.

Термодинамика является первым шагом на пути к изучению закономерностей в большом коллективе непрерывно движущихся и взаимодействующих частиц – статистических закономерностей – для всестороннего и более детального рассмотрения этих закономерностей необходимо привлечении статистических методов. В настоящее время термодинамика и статистическая физика органично составляют единый курс в составе физики.

Термодинамика возникла из потребностей теплотехники. Развитие производительных сил стимулировало ее создание. Широкое применение в начале XIX в. паровой машины поставило перед наукой задачу теоретического изучения работы тепловых машин с целью повышения их коэффициента полезного действия. Это исследование было проведено в 1824 г. французским физиком, инженером Сади Карно, доказавшим теоремы, определяющие наибольший коэффициент полезного действия тепловых машин. Эти теоремы позволили впоследствии сформулировать один из основных законов термодинамики – второе начало.

В 40-х годах XIX в. в результате исследований Майера и Джоуля был установлен механический эквивалент теплоты и на этой

основе открыт закон сохранения и превращения энергии, называемый в термодинамике ее первым началом. **Первое начало термодинамики выражает количественную сторону закона сохранения и превращения энергии в применении к термодинамическим системам.** Закон сохранения и превращения энергии имеет как количественную, так и качественную стороны. Количественная сторона состоит в утверждении, что энергия системы является однозначной функцией ее состояния и при любых процессах в изолированной системе сохраняется, превращаясь лишь в строго определенном соотношении из одного вида в другой; качественная сторона этого закона состоит в никогда не утрачиваемой способности материального движения ко все новым и новым превращениям. Хотя закон сохранения и превращения энергии (как и само понятие энергии – меры движения) применим только к физическим формам движения и неприменим к высшим формам движения материи (биологическое и общественное движение), тем не менее, он имеет всеобщее значение.

В виде оформленной научной системы, исходящей из работ Карно и закона сохранения и превращения энергии, термодинамика появилась в 50-х годах XIX в. в трудах Клаузиуса и Томсона (Кельвина), давших современные формулировки второго начала термодинамики и введших важнейшие понятия энтропии и абсолютной температуры. **Второе начало термодинамики представляет собой закон об энтропии.** Проявлением действия этого закона является, например, самопроизвольный переход теплоты от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой при соприкосновении, невозможность процессов, единственным результатом которых было бы превращение теплоты в работу, и др. Основным методом исследования термодинамики XIX в. был **метод круговых процессов**.

Большое значение для термодинамики имели появившиеся в конце XIX в. работы Гиббса, в которых был, создан новый метод термодинамических исследований (**метод термодинамических**

потенциалов), установлены общие условия термодинамического равновесия, развита теория фаз и капиллярности.

В XX в. термодинамика вышла за пределы первоначальных требований теплотехники и стала изучать, как уже было скачано, закономерности тепловой формы движения материи в основном в равновесных системах и при переходе их в равновесное состояние.

В 1906 г. на основе многочисленных исследований свойств тел при температурах, близких к 0 *К*, был установлен новый закон природы – **третье начало термодинамики. Согласно ему, при температурах, стремящихся к 0 *К*, равновесные изотермические процессы проходят без изменения энтропии.**

Основываясь на трех началах, термодинамика исследует свойства реальных систем, состоящих из большого числа частиц.

4.3.2. Основные понятия и положения термодинамики

Реальные физические системы, как правило, состоят из огромного числа частиц ($N \sim N_A$). **Такие системы мы будем называть макроскопическими**. В результате теплового движения и межчастичного взаимодействия у таких систем появляются новые свойства отличные от свойств отдельных частиц.

Если система не обменивается с окружающими телами ни энергией, ни веществом, то она называется изолированной или замкнутой; если же система имеет такой обмен, то она называется открытой.

Все макроскопические признаки, характеризующие такую систему и ее отношение к окружающим телам, называются **макроскопическими параметрами**.

Величины, определяемые положением не входящих в нашу систему внешних тел, называются **внешними параметрами** (объем системы, напряженность силового поля). Величины, определяемые совокупным движением и распределением в пространстве входящих

в систему частиц, называются **внутренними параметрами** (плотность, давление, энергия, поляризованность, намагниченность).

Совокупность независимых макроскопических параметров определяет **состояние системы**. Величины, не зависящие от предыстории системы и полностью определяемые ее состоянием в данный момент (т, е. совокупностью независимых параметров), называются **функциями состояния**.

Состояние называется стационарным, если параметры системы с течением времени не изменяются. Если, кроме того, в системе не только все параметры постоянны во времени, но и нет никаких стационарных потоков за счет действия каких-либо внешних источников, то такое состояние системы называется равновесным (**состояние термодинамического равновесия**). **Термодинамическими системами обычно называют не всякие, а только те макроскопические системы, которые находятся в термодинамическом равновесии.** Аналогично, **термодинамическими параметрами** называются те параметры, которые характеризуют систему в ее термодинамическом равновесии.

В термодинамике постулируется, что изолированная макроскопическая система с течением времени приходит в состояние термодинамического равновесия и никогда самопроизвольно выйти из него не может (**первый**, или основной, **постулат термодинамики**).

Итак, все равновесные внутренние параметры системы являются функция ми внешних параметров и температуры (**второй постулат термодинамики**).

4.3.3. Первый закон термодинамики

Полная энергия макроскопической системы разделяется на внешнюю и внутреннюю. Часть энергии, состоящая из энергии движения системы как целого и потенциальной энергии системы в

поле внешних сил, называйся внешней энергией. Остальная часть энергии системы называется внутренней.

В термодинамике не рассматриваются движение системы как целого и изменение ее потенциальной энергии при таком движении, поэтому энергией системы является ее внутренняя энергия.

При взаимодействии термодинамической системы с окружающей средой происходит обмен энергией. При этом возможны два различных способа передачи энергии от системы к внешним телам: с изменением внешних параметров системы и без изменения этих параметров.

Первый способ передачи энергии, связанный с изменением внешних параметров, называется работой, второй способ – без изменения внешних параметров, но с изменением нового термодинамического параметра (энтропии) – теплотой, а сам процесс передачи энергии – теплообменом.

Первое начало термодинамики является математическим выражением количественной стороны закона сохранения и превращения энергии в применении к термодинамическим системам. Оно было установлено в результате многочисленных экспериментальных и теоретических исследований в области физики и химии, завершающим этапом которых явилось открытие эквивалентности теплоты и работы, т. е. обнаружение того, что превращение теплоты в работу и работы в теплоту осуществляется всегда в одном и том же строго постоянном количественном соотношении.

Уже в XVIII в. была установлена невозможность создания механического вечного двигателя – устройства, с помощью которого можно было бы периодически производить механическую работу без внешнего воздействия на него.

В 1748 г. М.В. Ломоносов в письме к Эйлеру, высказывая мысль о законе сохранения вещества и распространения его на движение материи, писал «Тело, которое своим толчком возбуждает другое тело к движению, столько же теряет от своего движения, сколько

сообщает другому». В 1755 г. Французская Академия наук «раз и навсегда» объявила, что не будет больше принимать каких-либо проектов вечного двигателя. В 1840 г. Г.И. Гесс сформулировал закон о независимости теплового эффекта химических реакций от промежуточных реакций. В 1842 – 1850 гг. многие исследователи (Майер, Джоуль и др.) пришли к открытию принципа эквивалентности теплоты и работы.

Установление принципа эквивалентности было последним этапом в формировании количественной стороны закона сохранения и превращения энергии, вследствие чего дата установления этого принципа обычно отождествляется с датой открытия первого начала термодинамики.

Из приведенной исторической справки видно, что потребовался ряд десятилетий, чтобы наука могла найти путь от простого убеждения о невозможности вечного двигателя до современной формы закона сохранения и превращения энергии.

Первое начало термодинамики устанавливает: внутренняя энергия системы является однозначной функцией ее состояния и изменяется только под влиянием внешних воздействий.

Математическая формулировка первого начала термодинамики имеет вид (интегральный и дифференциальный):

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

$$dQ = dU + dA.$$

Тепло, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы над внешними телами.

Первое начало часто формулируют в виде положения о невозможности вечного двигателя первого рода, т.е. такого периодически действующего устройства, которое бы совершало работу, не заимствуя энергии извне.

4.3.4. Вечный двигатель первого рода

Вечный двигатель, перпетуум-мобиле (латинское *perpetuum mobile* переводится *вечное движение*) – воображаемая машина, которая, будучи раз пущена в ход, совершала бы работу неограниченно долгое время, не заимствуя энергии извне. Возможность работы такой машины неограниченное время означала бы получение энергии из ничего.

Идея вечного двигателя возникла в Европе, по-видимому, в XIII в. (хотя существуют свидетельства, что первый проект вечного двигателя предложил индиец Бхаскара в XII в.). До этого проекты вечных двигателей неизвестны. Их не было у греков и римлян, которые разработали множество эффективных механизмов и заложили основы научных подходов к изучению природы. Ученые предполагают, что дешевая и практически неограниченная рабочая сила в виде рабов тормозила в античности разработку дешевых источников энергии.

Почему люди так упорно хотели построить вечный двигатель?

В этом нет ничего удивительного. В XII-XIII вв. начались крестовые походы и европейское общество пришло в движение. Стало быстрее развиваться ремесло и совершенствоваться машины, приводящие в движение механизмы. В основном это были водяные колеса и колеса, приводимые в движение животными (лошадьми, мулами, быками, ходившими по кругу). Вот и возникла идея придумать эффективную машину, приводимую в движение более дешевой энергией. Если энергия берется из ничего, то она ничего не стоит и это крайний частный случай дешевизны – даром.

Еще популярнее идея вечного двигателя стала в XVI-XVII вв., в эпоху перехода к машинному производству. Число известных проектов вечного двигателя перевалило за тысячу. Создать вечный двигатель мечтали не только малообразованные ремесленники, но и некоторые крупные ученые своего времени, так как тогда не

существовало принципиального научного запрета на создание такого устройства.

Уже в XV-XVII вв. прозорливые естествоиспытатели, такие как Леонардо да Винчи, Джироламо Кардано, Симон Стевин, Галилео Галилей сформулировали принцип: «Создать вечный двигатель невозможно». Симон Стевин был первым, кто на основе этого принципа вывел закон равновесия сил на наклонной плоскости, что привело его в конце концов к открытию закона сложения сил по правилу треугольника (сложение векторов).

К середине XVIII в., после многовековых попыток создать вечный двигатель, большинство ученых стали считать, что сделать это невозможно. Это был просто экспериментальный факт.

С 1775 г. Французская академия наук отказалась рассматривать проекты вечного двигателя, хотя и в это время у французских академиков не было твердых научных оснований принципиально отрицать возможность черпать энергию из ничего.

Невозможность получения дополнительной работы из ничего была твердо обоснована лишь с созданием и утверждением как всеобщего и одного из самых фундаментальных законов природы «закона сохранения энергии».

Сначала Готфрид Лейбниц в 1686 г. сформулировал закон сохранения механической энергии. А закон сохранения энергии как всеобщий закон природы сформулировали независимо Юлиус Майер (1845 г.), Джеймс Джоуль (1843 – 50 гг.) и Герман Гельмгольц (1847 г.).

Рис. 4.5. *Один из проектов по созданию вечного двигателя первого рода – колесо с откидывающими грузами.* ***Идея изобретателя*** *основана на применении колеса с неуравновешенными грузами. К краям колеса прикреплены откидные палочки с грузами на концах. При всяком положении колеса грузы на правой стороне будут откинуты дальше от центра, нежели на левой; эта половина, следовательно, должна перетягивать левую и тем самым заставлять колесо вращаться. Значит, колесо будет вращаться вечно, по крайней мере, до тех пор, пока не перетрется ось.* ***Почему двигатель не работает****: Грузы на правой стороне всегда дальше от центра, однако, неизбежно такое положение колеса, при котором число этих грузов меньше, чем на левой. Тогда система уравновешивается — следовательно, колесо не будет вращаться, а, сделав несколько качаний, остановится.*

Врач Майер и физиолог Гельмгольц сделали последний важный шаг. Они установили, что закон сохранения энергии справедлив для животных и растений. До этого существовало понятие «живая сила» и считалось, что для животных и растений законы физики могут не выполняться. Таким образом, закон сохранения энергии был первым принципом, установленным для всей познанной Вселенной.

Последним штрихом в обобщении закона сохранения энергии стала специальная теория относительности Альберта Эйнштейна (1905 г.).

***Рис. 4.6. Идея изобретателя**: Некоторые изобретатели вечных двигателей были просто жуликами, ловко надувавшими легковерную публику. Одним из наиболее выдающихся «изобретателей» был некий доктор Орфиреус (настоящая фамилия — Бесслер). Основным элементом его двигателя было большое колесо, которое будто бы не только вращалось само собой, но и поднимало при этом тяжелый груз на значительную высоту. **Почему двигатель не работает**: «Вечный двигатель» оказался далеко не вечным – его приводили в действие брат Орфиреуса и служанка, дергая за искусно спрятанный шнурок.*

4.3.5. Историческая формулировка второго закона термодинамики. Вечный двигатель второго рода

Открытие второго начала связано с анализом работы тепловых машин, чем и определяется его исходная формулировка. Впервые работа тепловых машин была теоретически рассмотрена в 1824 г. Сади Карно, который в своем исследовании «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эти силы», доказал, что к.п.д. тепловых машин, работающих по предложенному им циклу (циклу Карно), не зависит от природы вещества, совершающего этот цикл. Позднее Клаузиус и У. Томсон, по-новому обосновывая эту теорему Карно, почти одновременно положили основание тому, что теперь входит в содержание второго начала. Так

же как и первое начало, второе начало термодинамики является обобщением данных опыта. Многолетняя человеческая практика привела к установлению определенных закономерностей превращения теплоты в работу и работы в теплоту. В результате анализа этих закономерностей и было сформулировано второе начало в виде закона о существовании *энтропии* и ее неубывании при любых процессах в изолированных системах.

Как мы помним, первый закон термодинамики формулируется также как положение о невозможности создания вечного двигателя первого рода. Однако существовали также идеи вечного двигателя, которая не противоречили закону сохранения энергии. Было известно, что работа в двигателях совершается, когда горячее тело отдает тепло газу или пару и пар совершает работу, например, двигая поршень. Огромная тепловая энергия сосредоточена, допустим, в океане. Если отбирать у океана энергию за счет понижения его температуры, то этой энергии хватит на то, чтобы, например, поддерживать работу корабельного двигателя или создавать в море электростанции.

Однако оказалось, что никак не удается сделать так, чтобы энергия от более холодного тела перешла к более горячему. А ведь для создания вечного двигателя необходимо, чтобы при этом еще и совершалась работа.

В результате развития термодинамики, основываясь на работах Сади Карно, Рудольф Клаузиус показал, что, **невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от тел более холодных к телам более нагретым** (1850 г.). При этом невозможен не только непосредственный переход – его невозможно осуществить и с помощью машин или приборов без того, чтобы в природе не произошло еще каких-либо изменений.

Уильям Томсон (лорд Кельвин) сформулировал принцип невозможности вечного двигателя второго рода (1851 г.), поскольку **в природе невозможны процессы, единственным следствием**

которых была бы механическая работа, произведённая за счет охлаждения теплового резервуара.

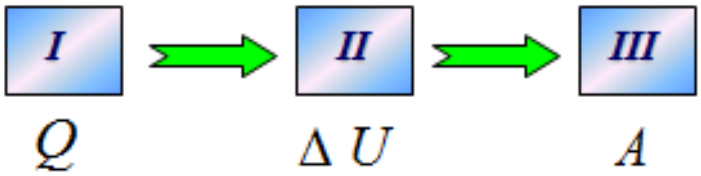
Когда была создана статистическая термодинамика, которая основывалась на молекулярных представлениях, второе начало термодинамики нашло свое объяснение. Оказалось, что переход тепла от холодного тела к более горячему в принципе возможен, но это уничтожающе маловероятное событие. А в природе реализуются наиболее вероятные события.

Из определения понятий теплоты и работы следует, что две рассматриваемые в термодинамике формы передачи энергии не являются равноценными: в то время как работа A может непосредственно пойти на увеличение любого вида энергии, теплота Q непосредственно, без предварительного превращения в работу, приводит лишь к увеличению внутренней энергии системы.

$$A \overset{\rightarrow}{=} Q$$

Работу можно полностью превратить в теплоту. В противоположность этому

$$Q \overset{\rightarrow}{>} A$$



теплоту (*I*) полностью превратить в работу (*III*) нельзя. Здесь потребуется промежуточное тело (*II*) для перекачки энергии. Изменение внутренней энергии промежуточного тела или отдача части теплоты промежуточным телом другим телам (окружающей среде) называется компенсацией (от лат. *compesatio – возмещение*). Результаты опытов показывают, что без компенсации ни один джоуль теплоты в работу превратить нельзя.

Итак, второй закон термодинамики формулируется также как положение о невозможности создания вечного двигателя

второго рода, т.е. устройства которое бы совершало работу равную по величине полученной энергии.

Второй закон термодинамики приводится отдельно для обратимых и необратимых процессов.

4.3.6. Обратимые и необратимые процессы

Рассмотрим переход системы из начального (*I*) состояния в конечное (*II*). **Процесс перехода системы из начального состояния в конечное называется обратимым, если возвращение этой системы в состояние (*I*) можно осуществить без каких бы то ни было изменений в окружающих внешних телах.**

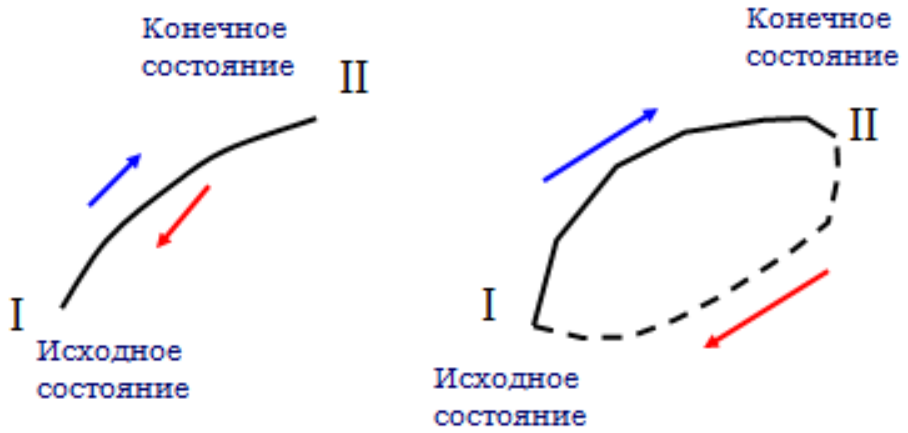


Рис. 4.7. *Обратимый (слева) и необратимый (справа) процессы.*

Процесс же перехода системы из состояния (*I*) в (*II*) называется необратимым, если обратный переход системы из (*II*) в (*I*) нельзя осуществить без изменений в окружающих телах (рис. 4.7.).

В качестве примеров необратимых процессов приведем следующие:

1. Процесс теплопередачи при конечной разности температур необратим, так как обратный переход, связаный с отнятием определенного количества теплоты у холодного тела, превращением его без компенсации (некомпенсированно) в

работу и затратой ее на увеличение энергии нагретого тела, невозможен;

2. Расширение газа в пустоту необратимо, так как при этом не совершается работа, а сжать газ так чтобы не совершить работу, нельзя. Произведенная же при сжатии работа идет па нагревание газа. Чтобы газ не нагревался, нужно отнять у него теплоту и превратить ее и работу, что невозможно без компенсации.

3. Процесс диффузии необратим. Действительно, если в сосуде с двумя различными газами, разделенными перегородкой, снять перегородку, то каждый газ будет диффундировать в другой. Для разделения газов каждый из них нужно сжимать. Чтобы они не нагревались, необходимо отнять у них теплоту и превратить ее в работу, что невозможно без изменения в окружающих телах.

4. Процессы с трением. Так как в природе все процессы, так или иначе, происходят с трением, то об обратимых процессах говорить не приходится. Изучение обратимых процессов оказывается важным потому, что в этом случае ряд важных величин принимает предельные, максимально возможные значения. Поэтому результаты, полученные в термодинамике, играют роль своего рода предельных теорем.

4.3.7. Второй закон термодинамики

Первое начало термодинамики, как мы видели, устанавливает существование у всякой системы однозначной функции состояния – внутренней энергии, которая не изменяется при отсутствии внешних воздействий при любых процессах внутри системы.

Второе начало термодинамики устанавливает существование у всякой равновесной системы другой однозначной функции состояния – энтропии, которая, однако, в отличие от внутренней энергии не

изменяется у изолированной системы только при равновесных процессах и всегда возрастает при неравновесных процессах.

Математически второе начало термодинамики для обратимых процессов записывается уравнением (Клаузиус, 1865 г.)

$$dS = \frac{dQ}{T}, dQ = TdS,$$

здесь энтропия S определяется как приведенная теплота. Рудольф Клаузиус дал величине S имя «энтропия», происходящее от греческого слова *τροπή*, «*изменение*» (изменение, превращение, преобразование). Данное равенство относится к изменению энтропии, не определяя полностью саму энтропию.

Интегральным уравнением второго начала для обратимых круговых процессов является равенство Клаузиуса

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0.$$

Второе начало термодинамики выражает закон о существовании энтропии у всякой равновесной системы и неубывании ее при любых процессах в изолированных системах.

В случае необратимых процессов получаем соответственно

$$dS > \frac{dQ_н}{T}, S_2 - S_1 > \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Для необратимого кругового процесса получаем неравенство Клаузиуса – интегральный вид второго закона термодинамики для необратимых процессов

$$\oint \frac{dQ_н}{T} < 0.$$

Из второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов следует основное неравенство термодинамики

$$TdS \geq dU + dA.$$

4.3.8. Принцип возрастания (сохранения) энтропии

Второй закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов определяет фундаментальный принцип возрастания (сохранения) энтропии:

$$\Delta S \geq 0.$$

Это положение о неубывании энтропии в изолированной системе при любых процессах. В случае обратимых процессов в изолированной системе получаем $\Delta S=0$. При необратимых процессах в изолированной системе $\Delta S>0$.

Так как все естественные, самопроизвольные процессы происходят с конечной скоростью, т.е. являются необратимыми, то, следовательно, при этих процессах в изолированных системах энтропия всегда возрастает. Таким образом, второе начало термодинамики для необратимых процессов указывает направление естественных процессов; **естественные процессы в изолированных системах проходят в направлении роста энтропии**. В связи с этим энтропию также определяют как физический индикатор направления времени (стрела времени).

Классическими следствия указанного принципа являются: переход теплоты от более нагретых тел к менее нагретым, перенос вещества из области с большим давлением в область с меньшим давлением.

Таким образом, физический смысл энтропии можно выяснить как при анализе обратимых процессов, так и при изучении необратимых процессов; при этом более глубокий термодинамический смысл энтропии раскрывается при анализе необратимых процессов. Смысл этот состоит в том, что изменение энтропии является мерой необратимости процессов в изолированной системе и характеризует направление естественных процессов в такой системе.

4.3.9. Статистическая природа второго закона термодинамики

Различные объекты и явления природы (системы) могут быть описаны как на микро-, так и на макроуровне, на основе их микросостояния или макросостояния.

Макросостояние. Состояние макроскопического тела (системы), заданное с помощью макропараметров (параметров, которые могут быть измерены макроприборами – давления, температуры, объемом и другими макроскопическими величинами, характеризующими систему в целом), называют макросостоянием.

Микросостояние. Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что заданы состояния всех образующих тело молекул, называется микросостоянием.

Термодинамика, как уже говорилось, рассматривает тепловые процессы в системах на макроскопическом уровне, оперируя макропараметрами: температура, теплота, давление, объем. Статистическая физика, или молекулярно-кинетическая теория рассматривает тепловые явления на микроуровне – с точки зрения движения молекул – их скорости, кинетической энергии.

Более глубокий смысл энтропии раскрывается в статистической физике, согласно которой энтропия S системы в данном состоянии характеризует вероятность этого состояния:

$$S = k \ln W,$$

где $к$ – постоянная Больцмана; W – термодинамическая вероятность состояния, определяемая числом микросостояний, реализующих данное микросостояние (количество перестановок частиц в системе). Соотношение выражает принцип Больцмана (1872 г.). **Односторонний характер изменения энтропии в замкнутой системе определяется переходом системы из менее вероятного состояния в более вероятное**.

Если рассмотреть действительное изменение энтропии со временем с учетом флуктуаций (**флуктуации (от лат. *fluctuatio* – *колебание*) – случайные отклонения от среднего значения**

физических величин, характеризующих систему из большого числа частиц; вызываются тепловым движением частиц), то можно обнаружить участки, как ее возрастания, так и уменьшения. Фактически принцип возрастания (сохранения) энтропии носит статистический, вероятностный характер (выполняется статистически для большого промежутка времени). Он определяет наиболее вероятное развитие события. Состояние термодинамического равновесия макроскопической системы – наиболее вероятное состояние, для которого энтропия принимает максимальное значение.

Существует мнение, что мы можем смотреть на W, а, соответственно и на энтропию S, как на меру беспорядка в системе. В определённом смысле это может быть оправдано, потому что мы думаем об «упорядоченных» системах как о системах, имеющих очень малую возможность конфигурирования, а о «беспорядочных» системах, как об имеющих очень много возможных состояний. Собственно, это просто переформулированное определение энтропии как числа микросостояний на данное макросостояние.

Рассмотрим, например, распределение молекул идеального газа. В случае идеального газа наиболее вероятным состоянием, соответствующим максимуму энтропии, будет равномерное распределение молекул. При этом реализуется и максимальный «беспорядок», так как при этом будут максимальные возможности конфигурирования.

4.3.10. Заблуждения, связанные с принципом возрастания (сохранения) энтропии

Гипотеза о «тепловой смерти» Вселенной. «Тепловая смерть» Вселенной, ошибочный вывод о том, что все виды энергии во Вселенной в конце концов должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по веществу Вселенной, после чего в ней прекратятся все макроскопические процессы. Этот вывод был сформулирован Р. Клаузиусом (1865 г.) на

основе второго начала термодинамики. Согласно второму началу, любая физическая система, не обменивающаяся энергией с другими системами (для Вселенной в целом такой обмен, очевидно, исключен), стремится к наиболее вероятному равновесному состоянию – к так называемому состоянию с максимумом энтропии. Такое состояние соответствовало бы «тепловой смерти» Вселенной.

Ещё до создания современной космологии были сделаны многочисленные попытки опровергнуть вывод о «тепловой смерти» Вселенной. Наиболее известна из них флуктуационная гипотеза Л. Больцмана (1872 г.), согласно которой Вселенная извечно пребывает в равновесном изотермическом состоянии, но по закону случая, то в одном, то в другом её месте иногда происходят отклонения от этого состояния; они происходят тем реже, чем большую область захватывают и чем значительнее степень отклонения. Современной космологией установлено, что ошибочен не только вывод о «тепловой смерти» Вселенной, но ошибочны и ранние попытки его опровержения.

Демон Максвелла. Демон Максвелла – мысленный эксперимент 1867 г., а также его главный персонаж – гипотетическое разумное существо микроскопического размера, придуманное Джеймсом Максвеллом с целью проиллюстрировать кажущийся парадокс второго начала термодинамики (рис. 4.8.).

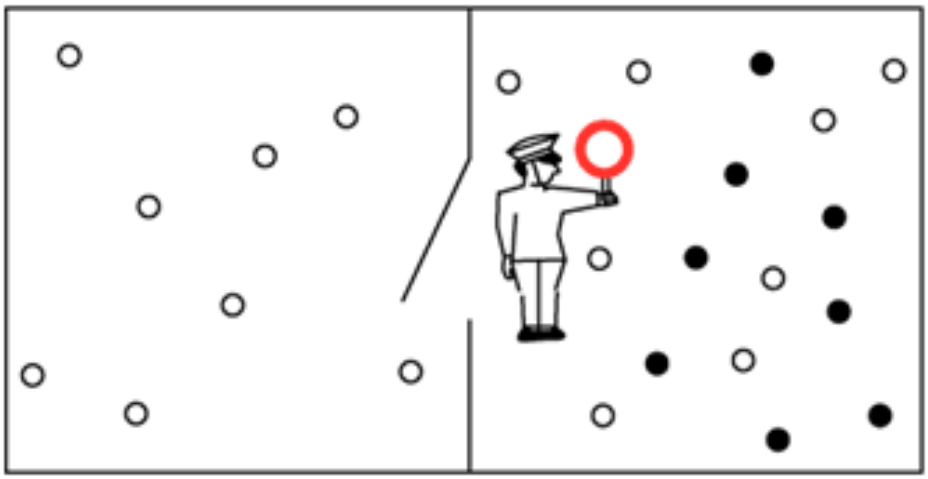


Рис. 4.8. *Мысленный эксперимент Максвелла.*

Мысленный эксперимент состоит в следующем: предположим, сосуд с газом разделён непроницаемой перегородкой на две части: правую и левую. В перегородке отверстие с устройством (так называемый демон Максвелла), которое позволяет пролетать быстрым (горячим) молекулам газа только из левой части сосуда в правую, а медленным (холодным) молекулам – только из правой части сосуда в левую. Тогда, через большой промежуток времени, горячие молекулы окажутся в правом сосуде, а холодные – в левом.

Таким образом, получается, что демон Максвелла позволяет нагреть правую часть сосуда и охладить левую без дополнительного подвода энергии к системе. Энтропия для системы, состоящей из правой и левой части сосуда, в начальном состоянии больше, чем в конечном, что противоречит термодинамическому принципу неубывания энтропии в изолированных системах.

Парадокс разрешается, если рассмотреть замкнутую систему, включающую в себя демона Максвелла и сосуд. Для функционирования демона Максвелла необходима передача ему энергии от стороннего источника. За счёт этой энергии и производится разделение горячих и холодных молекул в сосуде, то есть переход в состояние с меньшей энтропией.

4.3.11. Энтропия в открытых системах

В силу второго начала термодинамики, энтропия S_i замкнутой системы не может уменьшаться (закон неубывания энтропии). Математически это можно записать так: $\mathrm{d}S_i \geq 0$, индекс i обозначает так называемую внутреннюю энтропию, соответствующую изолированной системе. В открытой системе возможны потоки теплоты, как из системы, так и внутрь неё. В случае наличия потока теплоты в систему приходит количество тепла dQ_1 при температуре T_1 и уходит количество тепла dQ_2 при температуре T_2. Приращение энтропии, связанное с данными тепловыми потоками, равно:

$$dS_0 = \frac{dQ_1}{T_1} - \frac{dQ_2}{T_2}.$$

В стационарных системах обычно $dQ_1 = dQ_2$, $T_1 > T_2$, так что $dS_0 < 0$. Поскольку здесь изменение энтропии отрицательно, то часто употребляют выражение «приток негэнтропии», вместо оттока энтропии из системы. Негэнтропия определяется таким образом как обратная величина энтропии.

Суммарное изменение энтропии открытой системы будет равно:

$$dS = dS_i + dS_0.$$

Если всё время $dS > 0$, то рост внутренней энтропии не компенсируется притоком внешней негэнтропии, система движется к ближайшему состоянию равновесия. Если $dS = 0$, то мы имеем стационарный процесс с неизменной общей энтропией. В этом случае в системе осуществляется некоторая внутренняя работа с генерацией внутренней энтропии, которая преобразует, например, температуру T_1 внешнего потока тепла в температуру T_2 уходящего из системы потока тепла.

4.3.12. Термодинамика живых систем

Состояние живых систем в любой момент времени (динамическое состояние) характеризуется тем, что элементы системы постоянно разрушаются и строятся заново. Этот процесс носит название биологического обновления. Для обновления элементов в живых системах требуется постоянный приток извне веществ и энергии, а также вывод во внешнюю среду теплоты и продуктов распада. Это означает, что живые системы обязательно должны быть открытыми системами. Благодаря этому в них создается и поддерживается химическое и физическое неравновесие. Именно на этом неравновесии основана работоспособность живой системы, направленная на поддержание высокой упорядоченности своей структуры (а. значит, на сохранение жизни) и осуществление

различных жизненных функций. Кроме того, живая система, благодаря свойству открытости, достигает стационарности, т.е. постоянства своего неравновесного состояния.

В изолированной системе (такая система не обменивается с внешней средой веществом и энергией), находящейся в неравновесном состоянии происходят необратимые процессы, которые стремятся привести систему в равновесное состояние. Переход живой системы в такое состояние означает для нее смерть.

Таким образом**, открытость – одно из важнейших свойств живых систем**.

Для открытой системы в стационарном состоянии производство энтропии минимально.

Для живых систем это означает следующее:

В течение времени жизни живой системы ее элементы постоянно подвергаются распаду. Энтропия этих процессов положительна (возникает неупорядоченность).

Для компенсации распада (компенсации неупорядоченности) должна совершаться внутренняя работа в форме процессов синтеза элементов взамен распавшихся. А это означает, что эта внутренняя работа является процессом с отрицательной энтропией (такие процессы называют негэнтропийными, а отрицательную энтропию – негэнтропией).

Негэйнтропийный процесс противодействует увеличению энтропии системы, которое связано с процессом распада и создает упорядоченность.

Источником энергии для совершения негэнтропийной внутренней работы являются:

– для организмов-гетеротрофов (питающихся только органической пищей) – энергия в виде химических связей и низкая энтропия поглощаемых высокоструктурированных органических веществ. В этом случае поглощаемые пищевые вещества обладают большей упорядоченностью (меньшей энтропией), чем выделяемые продукты обмена. Организмы

гетеротрофы переносят упорядоченность (негэнтропию) из питательных веществ в самих себя.

– для организмов-автотрофов (самостоятельно синтезирующих для себя питательные вещества из неорганических соединений с участием солнечного излучения) – энергия солнечного света, представляющего электромагнитное излучение с низкой энтропией.

Таким образом, обмен веществ с точки зрения термодинамики необходим для противодействия увеличению энтропии, обусловленному необратимыми процессами в живой системе.

Если рассматривать систему «живой организм плюс среда», из которой берутся питательные вещества и в которую отдаются продукты обмена, то второй закон термодинамики справедлив: энтропия этой системы возрастает и никогда не уменьшается. Это означает, что живая система создает внутри себя упорядоченность за счет того, что она уменьшает упорядоченность в окружающей среде.

Итак, живая система является открытой системой, и ее энтропия не возрастает, как это имеет место в изолированной системе. Это означает, что живая система постоянно совершает работу, направленную на поддержание своей упорядоченности, и находится в неравновесном стационарном состоянии. Производство энтропии при этом минимально.

Таким образом, с позиций термодинамики можно утверждать, что живым системам присущи процессы, уменьшающие их энтропию и, следовательно, поддерживающие их организованность.

Подумайте и ответьте:

1) Опишите особенности термодинамического и статистического методов описания макроскопических систем.
2) Приведите формулировки первого закона термодинамики. Расскажите об известных Вам устройствах вечного двигателя первого рода.

3) Приведите исторические и современную формулировки второго закона термодинамики.
4) Расскажите, как Вы понимаете, что такое «энтропия»? В чем заключается фундаментальный принцип возрастания (сохранения энтропии)? Расскажите о заблуждениях, которые возникали в истории науки при неправильной интерпретации указанного принципа.
5) Принцип возрастания энтропии выполняется, если рассматривать живые системы в совокупности со средой обитания. Почему же тогда не происходит их разрушение?

§ 4.4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ САМООРГАНИЗАЦИИ. ПРИНЦИПЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОНИЗМА

Синергетика – созданное профессором Штутгартского университета Германом Хакеном научное направление, целью которого являлось, прежде всего, исследование различных аспектов такого явления как **самоорганизация** – процесса образования упорядоченной структуры в открытой системе за счёт согласованного взаимодействия множества ее элементов. Напомним, что *открытой* называется такая система, которая обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Принципиальным новшеством и одним из главных особенностей синергетики является ее **междисциплинарный характер** – методы, которыми располагает данное направление науки, универсальны и в равной степени удобны для описания явлений самоорганизации в системах и объектах самой различной природы: физической, химической, биологической, социальной и т.д.

Феномен перехода от беспорядка к порядку – упорядочиванию – в науке был известен давно. В качестве примеров самоорганизации в неживой природе можно привести авторегуляцию или гомеостаз (способность открытой системы к поддержанию постоянных условий внутренней среды), принцип Ле-Шателье («если на систему,

находящуюся в равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-нибудь из условий (температура, давление, концентрация), то равновесие смещается таким образом, чтобы компенсировать изменение»). К таким примерам следует отнести самопроизвольное образование на Земле минералов с более сложной кристаллической решеткой. В химии известны процессы, приводящие к образованию устойчивых структур во времени (реакции типа Белоусова-Жаботинского, см. далее).

Наглядно описать процесс самоорганизации можно с помощью понятия *энтропия* (подробнее см. параграф, посвященный «Принципу возрастания энтропии»). В данном случае энтропия выступает в качестве *меры беспорядка* в системе. Поскольку рассматриваемая система является открытой, то самоорганизация происходит за счет уменьшения энтропии (беспорядка) внутри нее и увеличения в окружающей среде. Это, в частности, объясняет, почему самоорганизация присуща открытым системам.

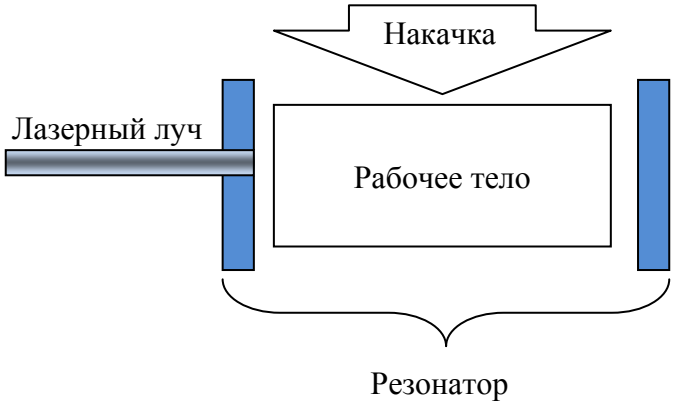


Рис. 4.9. *Принципиальная схема лазера.*

В физике явления самоорганизации встречаются достаточно часто. Например, в **лазере** (рис. 4.9.) атомы *рабочего тела* возбуждаются энергией с помощью *системы накачки*. При малых значениях энергии лазер излучает свет как обычная лампа. При этом каждый атом излучает свет независимо от других. Каждый квант света имеет свое значение энергии и свое направление. Если энергия накачки достигает определенного уровня, атомы, ранее испускавшие свет хаотично и независимо, начинают излучать *согласованно*,

создавая тонкий прямой пучок монохроматичного излучения с очень малой расходимостью.

Другим примером самоорганизации в физических системах является образование **ячеек Бенара** в слое вязкой жидкости (рис. 4.10.). При определенной скорости нагрева (градиенте температуры) происходит образование упорядоченной структуры – конвективных потоков, локализованных внутри отдельных ячеек (*конвекция* – явление переноса теплоты в жидкостях или газах путем перемешивания самого вещества). В природе ячейки Бенара наблюдаются в фотосфере Солнца (солнечные гранулы).

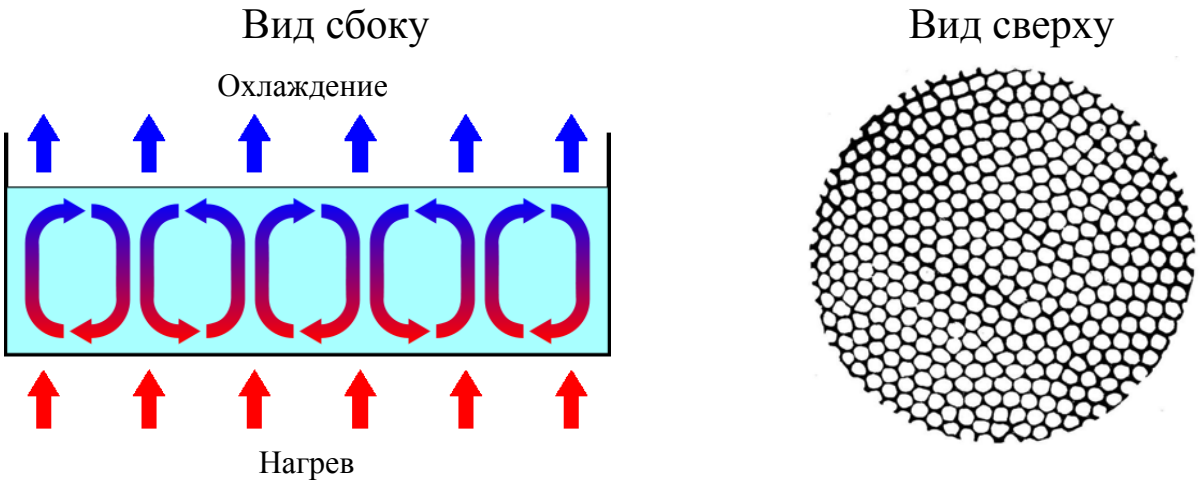


Рис. 4.10. *Ячейки Бенара.*

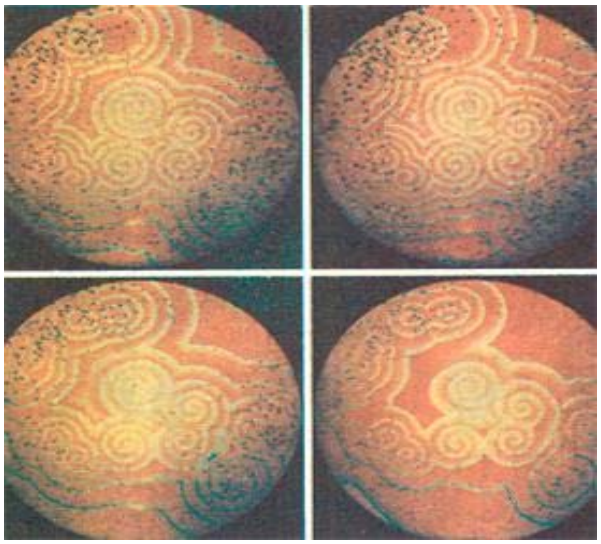
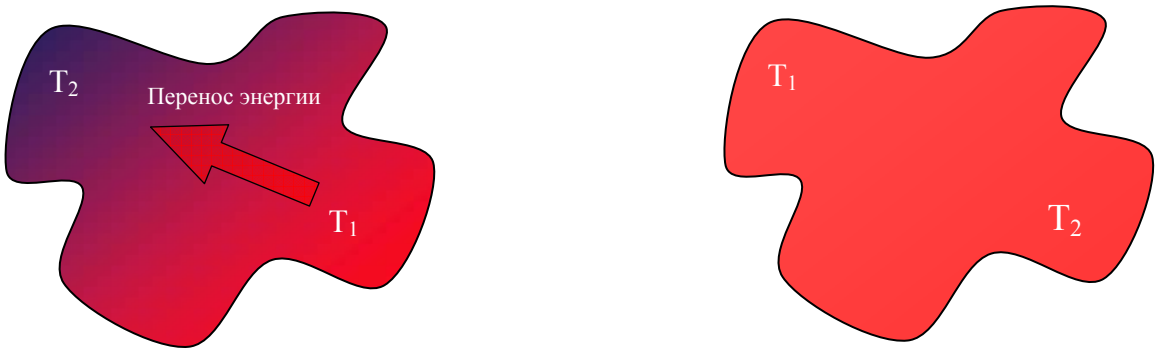


Рис. 4.11. *Спиральные волны изменения концентрации продуктов реакции Белоусова-Жаботинского.*

Реакция Белоусова-Жаботинского или «химические часы» – пример самоорганизации химических систем. Это тип химических реакций, спецификой которых являются колебания концентрации разных по своим свойствам веществ, что вызывает периодические изменения цвета реагирующей смеси. При этом на поверхности раствора можно также видеть волны изменения концентрации – так называемые «**спиральные волны**» (рис. 4.11.).

Для возникновения самоорганизации необходимо соблюдение ряда условий, главными из которых являются *неравновесность, нелинейность* и *диссипативность*.



Неравновесное состояние $T_2<T_1$ — разные температуры

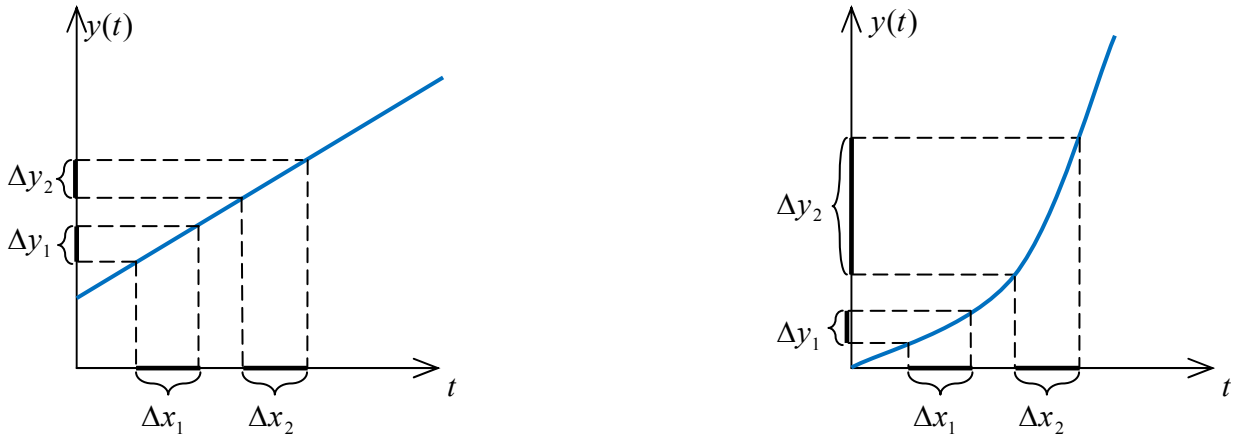
Равновесное состояние $T_2=T_1$ – одинаковые температуры

Рис. 4.12. *Перенос тепла из более нагретой части системы в менее нагретую до перехода в равновесное состояние.*

Нелинейность свойство систем или процессов, заключающееся в отсутствии линейной зависимости одних параметров от других. Проще всего это пояснить на математическом примере. На рис. 4.13. представлены графики двух функций: *линейной* и *нелинейной.* Линейная функция (рис. 4.13*а*) за два одинаковых промежутка времени изменяется на одну и ту же величину, в то время как изменение нелинейной функции оказывается различным (рис. 4.13*б*).

Система с нелинейными свойствами неодинаково реагирует на разные по интенсивности внешние воздействия. В частности, устойчивая к сильным влияниям, она может быть очень чувствительна к слабым возмущениям.

Важным фактором возникновения самоорганизации является **диссипация – рассеяние энергии системы в окружающую среду**. Ключевым здесь является то, что благодаря диссипации энтропия системы понижается за счет увеличения беспорядка в окружающей среде. **Таким образом, самоорганизующаяся система представляет собой диссипативную систему** (термин «диссипативная структура» был введен И. Пригожиным – нобелевским лауреатом, создателем нелинейной неравновесной термодинамики), **которая находится вдали от термодинамического равновесия.**



а) Линейная функция $\Delta y_1 = \Delta y_2$

б) Нелинейная функция $\Delta y_1 \neq \Delta y_2$

Рис. 4.13. *Графики линейной и нелинейной функций.*

Отличительным признаком диссипативных структур является то, что их характеристики *флуктуируют* – испытывают случайные колебания около среднего значения. Флуктуации проявляются, в том числе и за счет взаимодействия отдельных подсистем внутри целой. При определенных условиях амплитуда флуктуаций увеличивается, что связано с согласованием и синхронной динамикой подсистем. Когда интенсивность флуктуаций превышает определенное значение,

система переходит в критическое неустойчивое состояние – **точка бифуркации** – из которой переход системы возможен в одно из нескольких состояний с качественно новыми свойствами, причем такой выбор является абсолютно непредсказуемым. Это состояние можно сравнить с вертикально поставленной на острие спицей, направление падения которой случайно, поскольку зависит от самых незначительных движений воздуха. Здесь роль флуктуаций является ключевой, поскольку именно их возрастание и согласованное действие приводит систему к точке бифуркации. При ее прохождении свойства системы изменяются скачком, после чего ее состояние стабилизируется. Таким образом, самоорганизующаяся система эволюционирует — изменяется во времени и пространстве – в ней происходят скачкообразные переходы между состояниями, каждое из которых качественно отличается от других.

Многообразие проявлений самоорганизации в системах различной природы, ее многоплановость с одной стороны и в то же время общие законы ее возникновения и протекания с другой привели к идее об **универсальном эволюционизме**. Универсальный эволюционизм обобщает представления об эволюции материальных объектов и достижения синергетики в различных областях науки.

Универсальный эволюционизм строится на следующих принципах:

– **всё существует в развитии**; ни одна система не может существовать без изменений, поскольку она не может быть полностью изолирована от окружающей среды;

– **развитие есть чередование медленных количественных и быстрых качественных изменений (бифуркаций)**; в процессе эволюции система испытывает ряд последовательных изменений состояния, при которых возможны незначительные перестройки, при которых система не приобретает новых свойств (количественные изменения) и значительные радикальные перестройки (качественные изменения, следующие за точкой бифуркации);

– **законы природы как принципы отбора допустимых состояний из всех мыслимых**; в процессе самоорганизации система может перейти только в те состояния, которые разрешены законами природы, в частности законами сохранения и вторым началом термодинамики. Именно они, в конечном итоге, определяют направление развития;

– **фундаментальная и неустранимая роль случайности и неопределенности**; в устойчивом состоянии системы случайные факторы проявляют себя незначительно, только на уровне флуктуаций. По мере увеличения неустойчивости их роль заметно усиливается и в точке бифуркации становится определяющей. Устранить влияние случайных факторов принципиально невозможно, поскольку система находится во взаимодействии с окружающей средой и другими телами;

– **непредсказуемость пути выхода из точки бифуркации (прошлое влияет на будущее, но не определяет его)**; является прямым следствием предыдущего принципа, поскольку выбор следующего состояния из множества допустимых производится абсолютно случайно;

– **устойчивость и надежность природных систем как результат их постоянного обновления**; в процессе эволюции из множества допустимых состояний в системе происходит выбор наиболее устойчивого, чем и определяется надежность природных систем.

Подумайте и ответьте:

1) В чем заключается междисциплинарный характер синергетики? Приведите примеры самоорганизации?
2) Приведите примеры самоорганизации в физических и химических системах.
3) Какие необходимые условия должны выполняться при образовании самоорганизующейся структуры?

4) Что такое диссипация и в чем состоит ее определяющая роль в процессах самоорганизации?
5) Почему роль флуктуаций оказывается ключевой в случае самоорганизации?
6) Поясните принципы универсального эволюционизма?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://dic.academic.ru/
2. http://www.limm.mgimo.ru/science/main.html
3. Алексеев П.В., Панин А.В. Философия: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2003. – 608 с.
4. Андреев Э.П. Пространство микромира. – М.: Наука, 1969. – 88 с.
5. Аскин Я.Ф. Проблема времени: ее философское истолкование. – М.: Мысль, 1966. – 200 с.
6. Асмус В.Ф. Демокрит. – М.: МГУ, 1960. – 77 с.
7. Астрономия и современная картина мира – М.: ИФРАН, 1996.
8. Ахундов М.Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюция, перспективы. – М.: Наука, 1982. – 224 с.
9. Бабушкин А.Н. Современные концепции естествознания: Курс лекций. 4-е изд., стер. – М.: ООО Издательство «Омега-Л», 2004. – 224 с.
10. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. – 4 изд. – М.: Высшая Школа, 1963. – 620 с.
11. Бондарев В.П. Концепции современного естествознания М.: Альфа-М, 2003. – 464 с: ил.
12. Борн М. Атомная физика: Пер. с англ. – 3 изд. – М.: Мир, 1970. – 484 с.
13. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. – М.: Атомиздат, 1977. – 270 с.
14. Вейль Г. Пространство. Время. Материя. Лекции по общей теории относительности. – М.: Изд-во УРСС научной и учебной литературы, 2004. – 455 с.
15. Вейник Е.В. Основные концепции пространства и времени, http://nounivers.narod.ru/pub/vein_st.htm, 27.11.2007.
16. Вилькеев Д.В. Методы научного познания в школьном обучении. Индукция, дедукция, гипотеза. Казань: Татарское книжное издательство, 1975. – 159 с.
17. Витол Э.А. Научная картина мира и исследование будущего // Credo New. – 2007. – № 3.
18. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. М., 1991.
19. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории: Пер. с нем. – Л. – М.: ГТТИ, 1932. – 146 с.
20. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. М., 1980.
21. Глинка Н. Л. Общая химия. Учебное пособие для нехимических вузов. Л.: Химия, 1988.

22. Голованова И.А. Время, вечность, моменты // Вестник МГУ. Серия 7. Философия. – 1993. – № 5. – С. 57 – 64.
23. Горан В.П. Необходимость и случайность в философии Демокрита. – Новосибирск: Наука, 1984. – 208 с.
24. Горбачев В.В., Безденежных В.М. Концепции современного естествознания: Учебное пособие. – М: Экономист. 2006 – 446 с.
25. Горелов А.А. Концепции современного естествознания. – М.: Центр, 2001. – 208 с.
26. Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. – М.: Прогресс, 1969. – 590 с.
27. Грядовой Д.И. Концепции современного естествознания: Структурный курс основ естествознания. М., 2000.
28. Гусейханов М.К., Раджабов О.Р. Концепции современного естествознания: Учебник. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2005. – 692 с.
29. Гут А.Г., Стейнхардт П.Дж. Раздувающаяся Вселенная // В мире науки. – 1984. – № 7. – С. 56-59.
30. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Физматгиз, 1963. – 748 с.
31. Дирак П. Принципы квантовой механики: Пер. с англ. – М.: Физматгиз, 1960. – 434 с.
32. Дирак П.А.М. Общая теория относительности. – М.: Атомиздат, 1978. – 65 с.
33. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания. Новосибирск, 1997.
34. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. 7-е изд, испр. и доп. – М.: Издательский Центр «Академия», 2006. – 608 с.
35. Еремеева А.И. Астрономическая картина мира и ее творцы. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
36. Золотов Ю.А. О химическом анализе и о том, что вокруг него – М.: Наука, 2004. – 477с.
37. Канке В. А. Концепции современного естествознания в вопросах и ответах: учеб. пособие. – М: Логос, 2007. – 368 с.
38. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания - М.: Высшая школа, 2003. – 488 с.
39. Киттель Ч., Найт У., Рудерман М. Механика. Берклеевский курс физики. В пяти томах. Том 1. Механика. – М.: Наука, 1975. – 480 с.
40. Козырев Н.А. О возможности экспериментального исследования свойств времени // Time in Science and Philosophy. – Prague, 1971.

41. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов /Под ред В.Н. Лавриненко, В.П Ратникова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 317 с.
42. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 576 с.
43. Кохановский В.П., Пржиленский В.И., Сергодеева Е.А. Философия науки: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: ИКЦ МарТ, МарТ, 2006. – 496 с.
44. Кузнецов В.И. Общая химия. Тенденция развития. М., Высшая школа, 1989.
45. Кун Т. Структура научных революций. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ЗАО НПП «Ермак», 2003. – 365 с.
46. Кун Т. Структура научных революций. М.: Наука, 1975.
47. Лавриненко В.Н., Ратников В.П. Концепции современного естествознания. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 317 с.
48. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – Издание 7-е, исправленное. – М.: Наука, 1988. – 512 с.
49. Лурье С.Я. Демокрит: Тексты, перевод, исследования. – Л.: Наука, 1970. – 664 с.
50. М.Х.Карапетьянц, С.И.Дракин. Строение вещества. М., Высшая школа, 1976.
51. Маковельский А.О. Древнегреческие атомисты. – Баку: АН Азерб. ССР, 1946. – 104 с.
52. Моисеев Н.Н. Логика универсального эволюционизма и кооперативность // Вопросы философии. – 1989. – № 8. – С. 52 – 66.
53. Моисеев Н.Н. Стратегия разума // Знание - сила. – 1986. – № 3. С. 32-35; № 10. – С. 24 – 27.
54. Мостепаненко А.М. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. – Л.: Наука, 1969. – 229 с.
55. Найдыш В. М. Концепции современного естествознания: Учебник. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., ИНФРА-М, 2004. – 622 с.
56. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. – М.: Гардарики, 2000. – 476 с.
57. Нефедьев Ю. А., Мережин В. П., Галеев А. И., Емельянова Н. А. Вопросы современного естествознания: Учебное пособие – Казань: Изд-во КГУ, 2006. – 152 с.
58. Паули В. Общие принципы волновой механики: Пер. с нем. – М. – Л.: ГТТИ, 1947. – 332 с.
59. Паули В. Теория относительности. – 2 изд., испр. и доп. Перев. с нем. – М.: Наука, 1983. – 336 с.

60. Пентин А.Ю. Примерная программа по естествознанию для среднего (полного) общего образования. // Естествознание в школе, №3, 2004, с. 4-10.
61. Полани М. Личностное знание. М., 1985.
62. Потемкин В.К., Симанов А.Л. Пространство в структуре мира. – Новосибирск: Наука, 1990. – 176 с.
63. Пуанкаре А. Избранные труды, том 1. – М.: Наука, 1971. – 772 с.
64. Пуанкаре А. Избранные труды, том 2. – М.: Наука, 1972. – 999 с.
65. Пуанкаре А. Избранные труды, том 3. – М.: Наука, 1974. – 658 с.
66. Пуанкаре А. О науке: Пер. с фр./ Под ред. Л.С.Понтрягина. – 2-е изд., стер. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 736 с.
67. Пуанкаре Анри. О науке: Пер. с франц. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 560 с.
68. Радугин А.А. Философия: курс лекций. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Центр, 2004. – 336 с.
69. Рузавин Г.И. Концепции современного естествознания. М, ЮНИТИ, 2008.- 304 с.
70. Силк Дж. Большой взрыв. Рождение и эволюция Вселенной. – М.: Мир, 1982. – 392 с.
71. Симанов А.Л. Понятие «состояние» как философская категория. – Новосибирск: Наука, 1982. – 127 с.
72. Симонов Д.А. Концепции современного естествознания в вопросах и ответах: учеб.пособие. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 208 с.
73. Спиркин А.Г. Происхождение категории пространства // Вопросы философии. – 1956. – № 2. – С. 91-104.
74. Степин В.С., Кузнецова Л.Ф. Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации. – М.: ИФРАН, 1994. – 274 с.
75. Сурдин В.Г. Астрономия. Век XXI. – 2 изд., испр. и доп. – Фрязино: Век 2, 2008. – 608 с.
76. Сучкова Г.Г. Время как проблема гносеологии. – Ростов н/Д.: РГУ, 1988. – 203 с.
77. Ферми Э. Квантовая механика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 367 с.
78. Физическая энциклопедия, т.2 – М.: Большая Российская Энциклопедия.
79. Философия науки и техники: Учеб. пособие. / В.С. Степин, В.Г. Горохов, М.А. Розов. – М.: Контакт-Альфа, 1995. - 384 с.
80. Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция: Л.Ф. Ильичев, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалев, В.Г. Панов – М.: Сов. Энциклопедия, 1983. – 840 с.
81. Фридрих Фребель. Воспитаніе человека. (переводъ съ немецкаго И.Д.Городецкаго) – Москва: Изданіе К.И.Тихомирова, 1906. – 326 с

82. Фундаментальная структура материи / Под ред. и предисл. А.Д. Суханова. - М.: Мир. 1984. – 312 с.
83. Хокинг С. Краткая история времени: от Большого взрыва до чёрных дыр. Пер. с англ. Н. Я. Смородинской. – СПб.: Амфора, 2001. – 268 с.
84. Хокинг С. От большого взрыва до черных дыр. М., 1990.
85. Хокинг С. Чёрные дыры и молодые вселенные. Пер. с англ. М. В. Кононова. – СПб.: Амфора, 2001. – 189 с.
86. Шакирзаде А.С. Эпикур. – М.: Соцэкгиз, 1963. – 223 с.
87. Шихобалов Л.С. Основы причинной механики Н.А.Козырева, http://siac.com.ua, 16.09.2007.
88. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. 3-е изд. – М.: Наука, 1973. – 335 с.
89. Эйнштейн А. Сущность теории относительности. – М.: Изд. ин. лит., 1955. – 157 с.
90. Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск: РХД, 2000. – 224 с.
91. Экзамен по курсу «Концепции современного естествознания». – М.: «Приор-издат», 2005. – 112 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ……..... 3
ГЛАВА 1……. 10
§ 1.1. ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО МЕТОДА И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ……. 10
1.1.1. История развития естествознания…… 10
1.1.2. Натурфилософский этап естествознания ……... 12
1.1.3. Естествознание в средние века…… 15
1.1.4. Естествознание в Новое время (XVII-XVIII вв.)…… 17
1.1.5. Естествознание в XIX и XX веках…….. 18
§ 1.2. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ……... 20
1.2.1. Элементы и структура научного познания……. 20
1.2.2. Методы научного познания……..... 27
§ 1.3. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ.. 32
ГЛАВА 2…….. 35
§ 2.1. ПРИНЦИПЫ СИММЕТРИИ, ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ……..... 35
2.1.1. Симметрия в физике……. 37
2.1.2. Симметрия в химии…….. 39
2.1.3. Симметрия в живой природе……... 40
2.1.4. Биосимметрика…….. 45
§ 2.2. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ…….. 49
2.2.1. Свойства пространства и времени…….. 50
2.2.2. Субстанциальная концепция пространства и времени……. 53
2.2.3. Релятивистская концепция пространства и времени……. 54
2.2.4. Опыт Майкельсона-Морли…….. 56
§ 2.3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ……. 58
2.3.1. История возникновения специальной теории относительности.. 60
2.3.2. Содержание специальной теории относительности: постулаты Эйнштейна…….. 61
2.3.3. Концепция пространства-времени (четырехмерный пространственно-временной континуум)……. 66
2.3.4. Следствия из постулатов Эйнштейна (основные релятивисткие эффекты)……. 69
2.3.5. Эквивалентность массы и энергии……. 75

§ 2.4. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ…… 77
2.4.1. Принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс…. 78
2.4.2. Кривизна пространства-времени……. 81
2.4.3. Сингулярности пространства-времени. Черные дыры……. 83
2.4.3.1. Образование черных дыр…….. 87
2.4.3.2. Изучение черных дыр. Свойства черных дыр …… 89
2.4.3.3. Поиск черных дыр……. 91
2.4.4. Экспериментальные доказательства и следствия общей теории относительности ……. 93
ГЛАВА 3……. 100
§ 3.1. МИКРО-, МАКРО-, МЕГАМИРЫ……. 100
3.1.1. Пространственно-временные масштабы материи …… 100
3.1.2. Структура мегамира……. 102
§ 3.2. СИСТЕМНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ…….. 107
3.2.1. Материя и ее структурные уровни…….. 107
3.2.2. Развитие и эволюция материального мира……. 110
3.2.3. Классификация систем организации материи…… 115
§ 3.3. ПРОЦЕССЫ И СТРУКТУРА МИКРОМИРА…….. 119
3.3.1. Эволюция представлений о микромире……. 119
3.3.2. Основные свойства элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия…… 121
3.3.3. Классификация элементарных частиц…… 124
3.3.4. Основы кварковой модели вещества…….. 125
3.3.5. Эволюция представлений об атомном ядре…….. 128
§ 3.4. ХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ…… 132
3.4.1. Строение атомов…… 132
3.4.2. Химические элементы и структура вещества…… 136
3.4.3. Простые и сложные вещества……. 138
3.4.4. Неорганические и органические вещества……. 140
3.4.5. Химические процессы……. 143
§ 3.5. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ……. 148
3.5.1. Эволюция изучения биологических систем…….. 148
3.5.2. Исследование живых систем на клеточном уровне…….. 149
3.2.3. Основные этапы исследования молекулярно-генетического уровня живых систем…… 152
3.2.4. Индивидуальный или онтогенетический уровень живых систем 154
3.2.5. Популяции и надорганизменные уровни организации живых 156

систем……..
ГЛАВА 4…….. 159
§ 4.1. ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ПРИРОДЕ…… 159
4.1.1. Детерминизм. Концепции детерминизма…….. 159
4.1.2. Динамические закономерности в природе. Лапласовский детерминизм…… 164
4.1.2. Статистические закономерности в природе. Вероятностный детерминизм…… 165
4.1.3. Современный детерминизм. Соответствие и соотношение динамических и статистических теорий……. 167
§ 4.2. КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ……. 168
§ 4.3. ПРИНЦИП ВОЗРАСТАНИЯ ЭНТРОПИИ…… 176
4.3.1. Предмет и методы термодинамики……. 176
4.3.2. Основные понятия и положения термодинамики……. 180
4.3.3. Первый закон термодинамики……. 181
4.3.4. Вечный двигатель первого рода…… 184
4.3.5. Историческая формулировка второго закона термодинамики. Вечный двигатель второго рода…… 187
4.3.6. Обратимые и необратимые процессы……. 190
4.3.7. Второй закон термодинамики……. 191
4.3.8. Принцип возрастания (сохранения) энтропии…….. 193
4.3.9. Статистическая природа второго закона термодинамики…… 194
4.3.10. Заблуждения, связанные с принципом возрастания (сохранения) энтропии…….. 195
4.3.11. Энтропия в открытых системах……. 197
4.3.12. Термодинамика живых систем……. 198
§ 4.4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ САМООРГАНИЗАЦИИ. ПРИНЦИПЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОНИЗМА……. 201
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……. 209