

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. КИРЕНСКОГО СО РАН

В.Г.Архипкин, В.П.Тимофеев

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие

Красноярск 2002

УДК 51(091)(07)

ББК 87.251я73

А87

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук,
профессор КрасГУ В.П.Казанцев;
канд. физ.-мат. наук, ст.преподаватель КрасГУ О.А.Золотов.

Редактор Т.М. Пыжик
Корректор Н.Ф. Ткачук

Архипкин В.Г., Тимофеев В.П.

А87 ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА: Учеб.
пособие/ Краснояр. гос. ун-т: Красноярск, 2002. 320 с.

В учебном пособии рассматривается специфика естественно-научного познания, его роль в развитии культуры; формулируются основные фундаментальные концепции и принципы современного естествознания. Обсуждается современная естественно-научная картина мира и принципы ее построения с позиции глобального эволюционизма. Показывается взаимная необходимость рационального и образного отражения окружающего мира.

Пособие написано на основе лекций, прочитанных для студентов гуманитарных и экономических факультетов в КГТУ и КрасГУ, а также, частично, для студентов инженерно-физического факультета КГТУ. Рекомендуется для студентов гуманитарных и социально-экономических специальностей университетов по дисциплине “Концепции современного естествознания”.

ISBN 5-7638-03-45-0

©Красноярский государственный
университет, 2002

©В.Г. Архипкин, В.П. Тимофеев, 2002

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
1. НАУКА И ЕЕ РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	11
1.1. Цивилизация, культура, наука	11
1.2. Природа и ее изучение, естествознание	19
1.3. Значение естествознания в современном мире	26
1.4. Особенности современной науки	32
2. НАУЧНЫЙ МЕТОД И ПРИНЦИПЫ ПОЗНАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК	38
2.1. Особенности и методы научного познания	38
2.2. Научный метод – основа науки	43
2.3. Принципы познания в естествознании	48
2.3.1. Принцип причинности	49
2.3.2. Принцип наблюдаемости	51
2.3.3. Принципы отбора	53
2.3.4. Принципы симметрии	57
2.3.5. Принципы оптимальности	71
2.3.6. Принцип соответствия	73
2.3.7. Редукционизм	75
2.3.8. Парадоксы как движущая сила науки	77
2.3.9. Красота науки	78
3. ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ	82
3.1. Универсальность законов природы	82
3.2. Фундаментальность вероятностных закономерностей	86
3.3. Математическая гармония природы	96
3.4. Язык и реальность в современной физике	104
4. КАРТИНЫ МИРА	111
4.1. Разные способы видеть мир, мировоззрение	111
4.2. Механическая и электромагнитная картины мира	116
4.3. Кризис физики и ”новейшая революция в естество- знании”	122
4.4. Научные революции	124
5. КОНЦЕПЦИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ И УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ	129
5.1. Синергетика и становление нового понимания мира	129
5.2. Универсальный (глобальный) эволюционизм	144
6. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ФИЗИЧЕ- СКОГО ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	150

6.1. Материя, движение и взаимодействие, структурная организация материи	150
6.2. Концепции атомизма и поля	156
6.3. Концепции пространства и времени	161
6.3.1. Классическая физическая модель пространства и времени	163
6.3.2. Пространство-время в специальной теории относительности	166
6.3.3. Пространство и время в общей теории относительности	178
6.3.4. Черные дыры	188
6.4. Симметрия пространства и времени	194
7. КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ	198
7.1. Что изучает квантовая физика?	199
7.2. Основные идеи и принципы квантовой механики	201
7.2.1. Дискретность (квантование)	201
7.2.2. Корпускулярно-волновой дуализм	203
7.2.3. Соотношение неопределенности и принцип дополнителности	206
7.2.4. Волновая функция	211
7.3. Квантовая лестница	220
7.4. Элементарные частицы как глубинный уровень организации материи	223
7.4.1. Элементарны ли элементарные частицы	223
7.4.2. Типы фундаментальных взаимодействий и квантовые поля – поля и частицы	230
7.4.3. Кварковая природа материи и единство сил природы	235
8. ДИНАМИЧЕСКАЯ ВСЕЛЕННАЯ	241
8.1. Космология	241
8.2. Расширяющаяся Вселенная	246
8.3. Горячая Вселенная	251
8.4. Антропный принцип и эволюция Вселенной	255
9. СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА	263
9.1. Современная физическая картина мира	265
9.2. Смена естественно-научной традиции	279

9.3. Современный рационализм	281
9.4. Наука и искусство – два способа познания мира . .	288
ГЛОССАРИЙ	300
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	317

ВВЕДЕНИЕ

Современное миропонимание – важный компонент человеческой культуры. Огромную и особую роль в его формировании играет общение человека с природой. Очевидно, что каждый культурный человек должен хотя бы в общих чертах представлять, как устроен мир, в котором он живет, как ”работают” в нем законы природы. Это необходимо не только для общего развития. Любовь к природе предполагает уважение к происходящим в ней процессам, а для это надо понимать, по каким законам они совершаются. Знание законов природы позволяет взглянуть на деятельность человека и ее последствия в организованном мире и является эффективным средством борьбы с мистическими представлениями.

В XX в. воздействие цивилизации на экосферу Земли достигло такого уровня, что невозможно представить себе не только дальнейший прогресс, но и само выживание человечества без осознания его единства с окружающей природой. Экологический кризис, который поставил человечество практически на грань катастрофы, прежде всего обязан недостаточному распространению в обществе научных и культурных знаний, что породило почву для принятия безответственных решений, бесконтрольного производства человеческих потребностей и их удовлетворения в ущерб окружающей природе. Причиной создавшейся ситуации является не наука, как считают некоторые, а **дефицит современного миропонимания**, недостаток образованных и компетентных руководителей на всех уровнях. С. Капица считает, что причины современного кризиса ”обусловлены той упрощенной, даже механической моделью социального развития, которая до сих пор владеет умами”. У многих людей образование остановилось на механической картине мира, и они не могут, а порой и не желают разобраться в новых для них явлениях. Поэтому формирование правильного мировоззрения, которое соответствовало бы современному этапу развития цивилизации, имеет первостепенную важность для человечества в целом.

Влияние науки на все сферы человеческой жизни – производство, технику, технологию, экономику, политику, культуру, военное дело, мировоззрение – стремительно возрастает. Открытия ученых и технические достижения гораздо больше повлияли на жизнь каждого из нас и на судьбы цивилизации в целом, чем это сделали все политические деятели прошлого. Становится очевид-

ным, что только культурный и образованный человек сможет соответствовать современному уровню развития цивилизации. Последнее предполагает обязательное изучение хотя бы основных концепций современного естествознания, где интегрированы основные идеи, принципы и методы естественных наук, знать которые необходимо любому человеку, получающему высшее образование, в том числе и гуманитарное. Термин "**концепции**" означает *основополагающие, наиболее общие понятия и идеи*, а **естествознание**, в простейшем понимании, – *наука о явлениях и законах природы*. Эти знания многообразны, но едины в контексте человеческой культуры.

В настоящее время человечество стоит перед необходимостью пересмотра самых глубинных основ своего мировоззрения, понимания своего места в природе, своих отношений с окружающим миром, своей цивилизационной парадигмы. Сегодня переломный период, когда в истории нашей цивилизации природные ограничения вторгаются в саму жизнь, и новые мировоззренческие установки становятся общественной необходимостью. Если человек не найдет нужного ключа для своих взаимоотношений с природой, то он будет обречен, какова бы ни была политика, демократия, государственное устройство. Мы постепенно начинаем понимать, что наши нравственные основы, наш духовный мир, наше поведение в биосфере уже не соответствуют условиям жизни, в которое погружается общество, а наше понимание обстановки недостаточно для преодоления трудностей развития. Уже ясно просматривается несоответствие деятельности человека как единого биологического вида тем общим законам, которыми управляется развитие биосферы. Деятельность человека, выработанная на прежних цивилизационных парадигмах, ведет, вероятно, к деградации биосферы и не способна гарантировать сохранения человека в ее составе. Вот почему необходимо знать *рационалистическую картину мира*, цель которой – дать те знания, которые, быть может, помогут облегчить остроту неизбежного кризиса. Ее могут дать только естественные науки и система мышления, которая выросла на их основе и которую называют *рационализмом*, но это уже *современный рационализм*, выросший на базе достижений науки XX столетия.

Науки о природе не только обеспечивают технологический прогресс, но и формируют менталитет людей, особый тип научного

рационального мышления. Критически-аналитическая рациональность, свойственная естественно-научному знанию, важна для мировоззренческих ориентаций человека. Она приучает людей к осознанию относительности систем отсчета и суждений, к обоснованному, а не подсказанному эмоциями пути поиска решений, к пониманию ограниченности и модельности наших представлений о мире, к новым представлениям об объективности наших знаний и не единственности правильного решения, к пониманию дополнительности и альтернативности как природных, так и социальных явлений. Новое мировоззрение основывается на идее эволюции и единстве мира, на понятиях вероятности и *самоорганизации*. Этот взгляд обязательно должен проявиться и в гуманитарных науках. Сходство систем в биологии, химии, лингвистике, экономике, физике замечено давно, и сегодня все больше растет потребность в описании их единым естественно-научным языком, языком математики. Более того, все больше выявляется сходство между объектами неживой и живой природы и общественными явлениями. Новая картина мира, которая формируется, должна обрести новый универсальный язык, адекватный природе. "Наша первейшая задача – научиться слушать природу, чтобы понять ее язык", – говорил И. Тамм.

Наука занимает лидирующее место в жизни нашей эпохи. Научный метод, рожденный естествознанием, последние сто лет доминирует в духовном мире. Ему мы обязаны созданием техногенной цивилизации, которая привела не только к быстрому развитию экономической и социальной сфер общества, но и способствовала, в определенной степени, глобальному экологическому кризису, отчуждению человека от природы, все большую дегуманизацию общества. Одной из причин столь глубоких негативных явлений считается существование двух культур, обладающих разными языками, критериями и ценностями: *культуры естествознания* с преобладанием научного метода и *культуры гуманитарной*. Сейчас эти культуры не столько дополняют друг друга, сколько противостоят, разделяя людей на "физиков" и "лириков", в большинстве своем не слишком стремящихся понимать проблемы друг друга. Это обусловлено не только отсутствием взаимной любознательности, но и отчасти тем, что научный метод был мало эффективен в решении многих проблем в литературе и искусстве. Такое искусственное размежевание произошло около трехсот лет назад,

и сейчас уже ясно, что многие проблемы человечества могли бы быть решены на пути гармонизации изначально единой культуры.

Естественно-научные знания дают фундаментальные представления о структуре окружающего мира и месте в нем человека, а гуманитарные знания, являясь логическим продолжением естественно-научных сведений, строятся на этом фундаменте, вот почему изучение естествознания студентами гуманитарных специальностей является важным элементом их общего образования. Эти знания формируют характер мышления студентов и способствуют выработке адекватного отношения к окружающему миру. Систематическое естественно-научное образование нужно не только для дальнейшей работы в области избранной специальности. Оно помогает приобрести не только менталитет и ориентиры в мире, насыщенном достижениями наукоемких технологий, но и освоить универсальные приемы решения сложных задач, выходящих за рамки конкретной профессии. На важность общеобразовательной подготовки указывает такой пример. Более двух тысяч руководителей предприятий разного уровня в США на вопрос: "Какими качествами должен обладать современный работник?" – ответили: "Хорошая общеобразовательная подготовка".

Хорошая общеобразовательная подготовка студентов гуманитарных специальностей, несомненно, подразумевает изучение естественно-научной культуры, которая развивает рационально-логический тип мышления и которая все более проникает в гуманитарную сферу. Естественно-научные знания позволяют отличить шарлатана от специалиста и развивают способности, которые затем могут быть использованы в любой карьере. Значимость образования определяется не только тем, что на его основе можно успешно решать различные проблемы, стоящие перед человеком и обществом. Оно важно и само по себе как неотъемлемая составляющая духовной жизни каждого человека, дающая возможность ориентироваться не только в мире вещей, но и в мире идей, ценностей, в измерениях человеческой культуры. Действительно, современные условия жизни требуют специалистов, овладевших не только профессиональными знаниями в рамках избранной специальности, но и ценностным и интеллектуальным аспектом знаний. Последние предполагают формирование собственных взглядов на мир и на свое место в нем, а также представляют основу для успешного решения своих различных жизненных проблем. Это

позволит бывшим студентам не чувствовать себя растерянными, когда им придется работать в областях, сильно отличающихся от их основной специализации.

В наше время, когда науки раздроблены на многочисленные разделы и специализации, когда каждый специалист говорит на своем языке, остро стоит проблема широкого кругозора, который позволил бы охватить мир в целом, познавать его важнейшие связи, отыскивать пути к пониманию его функционирования. В этом "слоистом пироге" знаний и мышления надо прокладывать каналы, пересекающие все слои, и создавать пространства для объединения всех слоев знаний. Проблема широкого кругозора – это проблема реализации всех специализаций, создание обстановки взаимосвязи и взаимопроникновения наук и формирование общего понимания мира. Изучение данного курса ведет к расширению общего кругозора, столь необходимого в современном мире.

Целостность и динамизм современной картины мира – одна из важнейших особенностей нашего мира. Каждому человеку сегодня, быть может как никогда в прошлом, необходимо иметь целостное представление о природе и мире, опирающееся на современную науку и, в первую очередь, на естественно-научные знания, которые, конечно же, должны быть совмещены с глубоким гуманитарным образованием и иметь гуманистическую направленность. Мы надеемся, что наше пособие поможет преодолеть психологический барьер гуманитариев перед естественно-научным знанием и будет способствовать формированию открытого для постоянного развития мировоззрения.

Данное учебное пособие позволит студентам гуманитарных специальностей познакомиться с естествознанием как неотъемлемой компонентой единой культуры человечества, спецификой рационального научного мышления, заложить основы целостного взгляда на окружающий мир как единство природы и человека. Здесь предложена обзорная картина современного состояния естественно-научных представлений о мире и показано место и значение естественных наук в современной культуре. Рассматриваются современные представления о физической картине мира как основе целостности и многообразия природы; дана достаточно целостная естественно-научная картина мира; показана взаимная необходимость рационального и образного отражения окружающего мира, а также взаимосвязь науки с миром культуры,

искусства, общечеловеческими этическими и нравственными ценностями. Предложенный материал может служить дополнением к существующим учебникам.

Изложение материала, принятое в данном пособии, не предполагает высказываний истин в последней инстанции, а задача студента не в том, чтобы безоговорочно принять позицию, содержащуюся в учебном пособии, но в том, чтобы при его помощи вникнуть в существо обсуждаемых проблем и понять их мировоззренческое значение; научиться ориентироваться в окружающем мире природы и отличать научные знания от псевдонаучных идей; увидеть незавершенность и открытость в решении многих проблем естествознания.

1. НАУКА И ЕЕ РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Цивилизация, культура, наука. Природа и ее изучение, естествознание. Значение естествознания в современном мире. Особенности современной науки.

Истинная и законная цель всех наук состоит в том, чтобы наделять жизнь человеческую новыми приобретениями и богатствами.

Ф.Бэкон

1.1. Цивилизация, культура, наука

Нашу жизнь трудно представить без науки и ее достижений. Действительно, наука и техника стали подлинными локомотивами истории. Они придали беспрецедентный динамизм, предоставили во власть человека огромную силу, которая позволила резко увеличить масштабы преобразовательной деятельности людей. Радикально изменив *естественную среду* своего обитания, освоив всю поверхность Земли, всю биосферу, человек создал "вторую природу" – *искусственную*, которая для его жизни стала значимой не менее первой. В. Вернадский считал, что *наука и техника превратили деятельность человека в особую геологическую силу*, которая преобразовала всю поверхность Земли и существенно повлияла на биосферу. Они изменили структуру и характер общественных процессов, весь образ жизни человека. При этом "вторая природа" встала в резко конкурентные отношения с естественной природой планеты. Для сегодняшней эпохи характерна

любопытность человека в познании природы, которая часто **противоречит нравственности**.

Все достижения материальной и духовной культуры вместе с людьми – ее носителями – составляют *человеческую цивилизацию*. Современный уровень развития цивилизации достигнут в результате развития науки. В широком смысле *культура* означает все то, что создано человеком и человечеством на всем историческом пути развития. Она создается человеческим трудом при непосредственном участии сознания, мышления, знаний, чувств и воли. *Культура – это результат (продукт) человеческой деятельности*. Результаты труда постоянно накапливаются, а культура развивается и обогащается, т.е. культура кумулятивна. Мир культуры окружает каждого из нас. Мы как бы погружены в море вещей и предметов человеческой культуры. Более того, человек становится Человеком только тогда, когда он осваивает выработанные предыдущими поколениями людей формы деятельности по производству и использованию предметов культуры. Чем выше степень освоения человеком достижений культуры, тем больший вклад он может внести в ее дальнейшее развитие.

Различают *материальную культуру* – орудия труда, техника и т.п., *социальную культуру* – система правил поведения людей в различных видах общения и сферах общественной деятельности, которая проявляется в воспитании и воспитанности, и *духовную культуру* – мораль, право, мировоззрение, наука, искусство и т.п.

Духовная культура характеризует духовную жизнь людей, ее результаты и средства. Она связана с деятельностью, направленной на удовлетворение не материальных, а духовных потребностей, т.е. на развитие, совершенствование внутреннего мира человека, его сознания, психологии, знаний и многое другое. Именно существование духовных потребностей и отличает человека от животных. Продуктами духовной культуры являются идеи, понятия, представления, научные гипотезы и теории, художественные произведения и образы, моральные нормы и правовые законы, политические взгляды и другие, воплощенные в соответствующих материальных носителях (язык, книги, произведения искусств, скульптуры, архитектурные сооружения и т.д.).

Каждая общественно-экономическая формация характеризуется своей, только присущей ей, культурой, которая меняется с переходом от одной формации к другой. Истоки европейской цивили-

лизации лежат в античной Греции, создавшей культуру, которая обладает удивительной целостностью и единством. Древние греки явились родоначальниками того *рационального гуманизма*, который и сегодня определяет черты европейской культуры. Ф. Энгельс писал, что “в многообразных формах греческой философии уже имеются в зародыше, в процессе возникновения, почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет проследить историю возникновения и развития своих теперешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам”. Отметим, что греческому миропониманию было свойственно неразрывное единство Бога, Космоса и Человека.

Главная цель любой науки – приведение в систему сложных явлений, происходящих в окружающем мире, или упорядочение того, что называют природой. Люди, далекие от науки, представляют научное познание в виде механического накопления фактов и теорий, с помощью которых эти факты объясняются. Но в действительности это не так. Наука – не набор готовых рецептов и непреложных, раз и навсегда данных истин. Научный метод – лишь один из многих способов познания природы и мира. Научное познание представляет собой творческую деятельность, которая напоминает другие виды деятельности, традиционно считающиеся творческими. Но наука порождена материальной и духовной культурой общества, а исторически сложившееся триединство – наука, культура, общество – неразрывно. Сюда же следует добавить и взаимосвязь науки с образованием. Трудно поверить в хорошее образование в тех образовательных учреждениях, где наукой не занимаются.

Что же представляет собой наука, которая привела к столь значительным изменениям во всей нашей жизни, во всем облике современной цивилизации? Хотя наука в переводе с латинского (“*scientia*”) означает “знание”, дать однозначное определение науки трудно, так как это сложное и многофункциональное явление. В одном из американских словарей наука определяется как “наблюдение, классификация, описание, экспериментальные исследования и теоретическое объяснение естественных явлений”. Но оно не полно и не раскрывает всей сущности науки.

В самом широком смысле *наука* это и *вид человеческой деятельности, направленный на познание мира, и часть духовной культуры общества, и форма общественного сознания, и соци-*

альный институт, и непосредственная производительная сила, и система профессиональной (академической) подготовки и воспроизводства кадров. Все перечисленные моменты, характеризующие различные аспекты науки, возникли в разное время. Именно поэтому не так просто ответить на вопрос: “Когда и почему возникла наука?” Наука – это целый многообразный мир человеческих знаний, которые позволяют человеку преобразовывать и приспособлять природу для удовлетворения своих потребностей. Она имеет свои законы развития.

Наука как *форма духовной деятельности людей* направлена на *производство знаний о природе, обществе и о самом познании.* Она имеет непосредственную цель – *постижение истины и открытие объективных законов* на основе обобщения реальных фактов в их взаимосвязи.

Как *творческая деятельность*, наука – это и *процесс получения нового знания, и результат этой деятельности* – совокупность знаний, приведенных в целостную систему на основе определенных принципов. В бесконечном процессе познания она стремится малым числом понятий и принципов охватить все разнообразие мира. Характерными элементами науки являются, с одной стороны, *научные знания* – совокупность полученных результатов, достигнутые к рассматриваемому моменту времени, а с другой – *потенциальная способность к достижению новых результатов* – научная деятельность. Научные знания – это постоянно обновляющийся фонд науки. Таким образом, наука имеет место там, где идет процесс создания нового знания.

Социальный аспект науки представляет ее как *общественное явление, коллективный процесс исследования и применения результатов исследования.* Это научные учреждения, коллективы, учебные заведения, организации ученых и т.д.

Можно сказать, что *наука – это сфера человеческой деятельности, функция которой состоит в выработке и систематизации объективных знаний о действительности,* это особый способ приобретения знаний и сами знания. Наука образует *единую, взаимосвязанную, развивающуюся систему знаний* об окружающем мире и законах его развития. Собрание, сумма разрозненных, хаотических сведений не является научным знанием. Не вызывает сомнений, что наука представляет собой огромное достижение человеческой культуры. Поэтому и говорят, что

наука является частью культуры, представляющей собой совокупность объективных знаний о бытии. Но наука не только важнейший элемент культуры и высшая форма человеческий знаний, это еще и **базовый показатель национальной культуры**, гарант прогрессивного развития государства.

С информационной точки зрения *наука* представляется как один из способов *накопления, хранения и переработки информации*. Теории и законы при таком подходе можно рассматривать в качестве специальных средств систематизации информации и методов, обеспечивающих к ней относительно легкий доступ. Наука наряду с *интуицией* способствует снижению уровня *неопределенности*, с которым человек неизбежно сталкивается в процессе принятия решения. Наука не только накапливает знания и создает систему представлений о мире, в котором мы живем, но и вырабатывает определенные нормы, открывает *законы* или *правила отбора*, которыми должен руководствоваться человек при анализе поступающей информации. Она создает методику и методологию конструирования моделей. В наше время наука представляет собой одно из наиболее ярких проявлений информационной сущности общества, в котором *знания – упорядоченная информация*, играют важнейшую роль.

Любознательность и стремление накапливать знания были присущи людям с древних времен. Первобытный человек копил знания и использовал их – таково было начало прикладной науки. Затем он начал систематизировать знания, применять их и размышлять над ними. В современном понимании наука никогда не являлась просто скоплением информации. Ученые не просто собиратели, коллекционеры знаний, они "роются" в фактах и событиях, чтобы достичь более глубокого понимания, пытаются извлечь общие идеи из наблюдаемых событий. Они стремятся узнать, **что** произошло и **как** произошло, размышляют над тем, **почему** произошли те или иные события. Эта тяга к познанию имела существенное значение хотя бы для того, чтобы человек смог выжить: поколение, по-детски не желающее ничего понимать и выяснять, вряд ли сможет существовать. Стремление к приобретению знаний могло возникнуть и по необходимости, диктуемое, например, страхом.

Сегодняшняя физика задает себе вопросы не всякие, а лишь такие, которые подходят под определение "корректные", т.е. правильные. Однако из этого не следует, что на любые корректные

вопросы непременно есть уже ответы, а следует, что такие ответы в принципе можно получить.

Но был и другой фактор – *интеллектуальное наслаждение природой*, наслаждение пониманием того, что происходит, наслаждение, получаемое от создания науки. Оно могло родиться в те далекие времена, когда первобытные люди рассказывали своим детям об окружающем мире, о природе, о богах, создавали свои рисунки на камне. Подобное удивление и восхищение характерно для каждого века, когда ученые создавали *науки как искусство понимать природу*. Страх и беспокойство, удивление и восхищение – вот два аспекта движущей силы науки и религии. ”Наука освобождает человека от страха перед богами,” – писал Лукреций 2000 лет назад. Возникнув, наука развивается в силу собственных внутренних законов, в силу собственной логики развития.

Один из важнейших признаков науки – *наблюдение явлений, процессов или событий*, происходящих в окружающем нас мире. В процессе наблюдения исследователь *чувственно* воспринимает материальные объекты и явления. Когда-то считалось, что наука начинается с наблюдения, теперь говорят – с *проблемы*. В настоящее время наблюдение все более вытесняется *экспериментальным исследованием*. Но все же есть области, где наблюдение выступает основным и единственным методом исследования (например, в астрономии, вулканологии и др.).

Эксперимент – метод познания, при помощи которого явления действительности исследуются в контролируемых и управляемых условиях. Он предполагает определенное воздействие на объект исследования, требует определенного инструментария, методики проведения и т.д. В ходе эксперимента исследователь не ограничивается пассивным наблюдением явлений, а сознательно может вмешиваться в их естественный ход путем воздействия на изучаемый процесс, изменяя условия, или проводить измерения. Важную роль в науке играет *мысленный эксперимент*, который заключается в мысленном подборе тех или иных положений и ситуаций, позволяющих обнаружить и установить важные особенности исследуемого объекта (явления или процесса). Мысленный эксперимент часто имеет эвристическую ценность, помогая интерпретировать новое знание, полученное чисто математическим путем.

Результаты наблюдений или экспериментов, **выдержавшие проверку**, становятся *научными фактами* только в том случае, если они повторены другими исследователями. Именно опора на

проверяемые наблюдения и эксперименты закрепила за научной информацией репутацию “точной” и “объективной”. Научные знания объективны благодаря ограничению кругозора науки, которая имеет дело с вещами, явлениями или процессами, поддающимися наблюдению и **исключению любой информации, которую нельзя проверить**. При наблюдении каждый раз приходится решать, что существенно, а что не важно. В этом нам помогают **логика** и **интуиция**.

Для объяснения научных фактов строятся *научные теории*, которые являются другим важнейшим признаком науки. *Научная теория* – это знания, опирающиеся на определенную научную форму и содержащие методы *объяснения и предсказания* некоторой предметной области, это *форма достоверного научного знания* о некоторой совокупности объектов или явлений, представляющая собой *целостную систему утверждений и доказательств*, это *отражение законов природы*. Научные теории никогда не выводятся непосредственно из наблюдений. Они создаются для описания и объяснения полученных из опыта фактов путем **размышления** и **осмысления** их человеком. Наука создает мир знаний, состоящий только из *экспериментально доказанных данных и выводов, получаемых на основе законов логики*. Поэтому говорят, что наука дает нам **рациональные знания**.

Все великие научные теории созданы творческим разумом человека. Как великие достижения их можно сравнивать с великими творениями литературы и искусства. Но наука отличается от других областей творческой деятельности. Основное отличие ее состоит в том, что она требует **проверки** своих понятий или теорий на опыте. Научную теорию невозможно доказать с помощью эксперимента окончательно, но ее можно опровергнуть на опыте.

Надежность теории в области ее применимости определяется непротиворечивостью всей совокупности вытекающих из нее следствий, проверяемых со все возрастающей точностью. При этом важны не только количественные предсказания. Теория может коренным образом изменить понимание окружающего мира. Это является существенным признаком истинно великой научной теории. *Научное (рациональное) знание составляет основу современной цивилизации*, поэтому человек не может не стремиться к научному познанию окружающего мира. Очевидно, что потребности жизни в наше время заставляют изучать основы естествозна-

ния и, прежде всего, физики. Знания, добываемые наукой, намного превосходят остальные виды своей полнотой, убедительностью, чисто практическими силой и пользой.

Таким образом, *наука – это система исследовательской деятельности общества, неотъемлемая часть процесса познания природы, общества и мышления, обладающая методами, ведущими к познанию объективной реальности*. Непосредственная цель науки – *описание, объяснение и предсказание* процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения, на основе открываемых законов. Атрибутами науки выступают ее функции. Их несколько: *описательная* – выявление существенных свойств и отношений действительности; *систематизирующая* – отнесение описанного по классам и разделам; *объяснительная* – систематическое изложение сущности изучаемого объекта, причин его возникновения и развития; *практическая* – возможность применения полученных знаний в производстве, в социальном управлении и др.; *прогностическая* – предсказание новых открытий в рамках существующих теорий и рекомендации на будущее; *мировоззренческая* – внесение полученных знаний в существующую картину мира, рационализация отношений человека и действительности.

Однако познание окружающего мира может быть не только научным, но и, например, *художественным* или *религиозным*. Наука и религия издавна влияли на общественное сознание, причем религия всегда уделяла внимание проблеме познания окружающего мира. Не случайно религия создала свою концепцию творения мира, происхождения человека и животных, занималась проблемами права, эстетики, морали и т.д. Но между наукой и религией существуют серьезные различия, коренные из которых состоят не в объектах суждений, а в методах решения поставленных задач.

Водораздел между наукой и религией проходит в соответствии с соотношением в них **разума** и **веры**. В науке преобладает разум, но в ней имеет место и вера, без которой познание невозможно – вера в чувственную реальность, которая дается человеку в ощущениях, вера в познавательные возможности разума и в способность научного знания отражать действительность. В науке главное внимание обращено на *эмпирическую реальность*, в религии – преимущественно на *внечувственное*. Религиозное знание принципиально отличается тем, что оно ниоткуда не вы-

водится. Н. Бердяев писал, что религиозное знание достигается в результате внезапного внутреннего озарения, как наитие свыше. Если существование Бога можно было доказать, то религия исчезла бы, поскольку она превратилась бы в обычное знание.

Методологический принцип науки состоит в постоянном совершенствовании достигнутого – ученый готов согласиться с неполнотой взглядов не только своих предшественников, но и своих собственных. Религия же исповедует диаметрально противоположный методологический принцип: она постоянно борется за сохранение и канонизацию достигнутых результатов. Характерной чертой научного метода является признание *безграничной познаваемости мира*, возможности достигнуть принципиально новых объективных результатов, тогда как для религиозного метода мышления – презумция познанности мира, невозможность достигнуть новых результатов силами людей, вне божественного откровения. Борьба науки и религии есть борьба новых, передовых (еретических) знаний с устаревшими, отжившими.

1.2. Природа и ее изучение, естествознание

Современная наука подразделяется на множество отраслей знаний или частных наук, которые различаются между собой тем, какую сторону действительности они изучают. По предмету и методу познания выделяют **науки о природе** – *естествознание*, и **обществе** – *обществознание* (гуманитарные, социальные науки, объекты изучения которых созданы самими людьми, т.е. искусственные, о познании, мышлении (логика, гносеология и т.д.)). Отдельную группу составляют *технические науки* и *технологии*. Очень своеобразной наукой является *математика*. Каждая группа наук подвержена более подробному разделению, которые, в свою очередь, подразделяются на ряд научных дисциплин. Наука о наиболее общих законах действительности – *философия*, которую нельзя, однако, полностью отнести только к науке. Несмотря на такое деление, наука остается многогранным, но вместе с тем целостным образованием, отдельные компоненты которого в своих глубинных мировоззренческих и методологических основаниях тесно связаны между собой.

Существуют и другие критерии для классификации наук. По удаленности от практики науки разделяют на два крупных типа: *фундаментальные (чистые)*, где нет прямой ориентации на

практику – они основаны только на стремлении человека к расширению кругозора, и *прикладные* (включая технологии), направленные непосредственно на применение результатов научного познания для решения производственных и социально-практических проблем. Здесь широко используются принципы и законы природы, полученные фундаментальной наукой. Фундаментальная наука, в свою очередь, зависит от техники и технологии, которые для нее разрабатывает приборы и другое оборудование, и является "испытательным" полигоном для новых теорий. Отметим, что границы между отдельными науками и научными дисциплинами условны и подвижны. Наука, как форма познания и социальный институт, сама себя изучает с помощью целого ряда специальных дисциплин, например, истории и логики науки, науковедения и др. В настоящее время активно развивается философия науки, исследующая общие характеристики научно-познавательной деятельности, структуру и динамику знания, логико-методологические аспекты и т.д. Несмотря на такое разделение, наука остается единой и существуют лишь различные формы ее приложения и использования, в том числе и в образовании, как отмечал еще Л. Пастер.

В. Вайскопф образно сравнивал науку с деревом, ствол которого образуют фундаментальные науки, более старые в основании, более новыми и менее известными у вершины, где происходит рост и проникновение в новые области. Ветви представляют собой прикладные направления. Нижние – самые большие, соответствуют прикладным наукам, развившимся из старых фундаментальных наук; более высокие и меньшие являются побегами более современных фундаментальных исследований. Верхушка ствола – передний край фундаментальных исследований, пока не дает никаких ветвей.

Природа представляется людям гигантской сценой, на которой разыгрываются события самого разного масштаба. *Изучение природы составляет предмет естествознания.* При исследовании явлений природы во всем их многообразии мы вводим **понятия**, открываем **законы** и строим **научные теории**, с помощью которых *объясняем, интерпретируем* или *истолковываем* эти явления. По сути дела это и означает, что мы достигаем определенного *понимания* существующих в природе *регулярности, повторяемости и закономерности.*

Каждая из естественных наук, например, физика, химия, биология, геология, география, минералогия и т.д., исследует какую-то

одну из ее сторон, так что в целом картина оказывается "пестрой". Чтобы с ней разобраться, необходимо найти ключ к единству естествознания. Считается, что природа едина и ее изучение также должно базироваться на едином фундаменте, основу которого составляют прежде всего физика, химия и биология.

Слово *естествознание* представляет собой сочетание двух слов – "естество" ("природа") и "знание". Синоним – "природоведение," которое происходит от термина "веда" – "наука", "знание". "Ведать" – значит знать. В настоящее время утвердился первый термин как более точный. Это обусловлено тем, что под естествознанием прежде всего понимают *точное естествознание*, т.е. уже вполне оформленное (часто в математических формулах) – точное знание обо всем, что действительно есть в природе. В настоящее время существует два определения естествознания: 1) *естествознание – это наука о природе как единой целостности*; 2) *естествознание – это совокупность наук о природе, взятая как единое целое*.

Строго говоря, они различны. Первое говорит об *одной единой* науке о природе, подчеркивая ее *единство и целостность*, а второе рассматривает естествознание как множество (совокупность) наук, изучающих природу как единое целое. При этом под совокупностью наук подразумевают не просто сумму разрозненных наук, а единый комплекс тесно взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга естественных наук. С этой точки зрения естествознание – это *обобщенная* наука, которая, по сути дела, и есть одна единая наука. Именно в этом смысле естествознание рассматривается как единая система наук о природе, занимающаяся систематическим экспериментальным исследованием природы. Оно вскрывает специфические закономерности, объясняя *мир с точки зрения единства и взаимосвязи его общих свойств*. Естествознание является теоретической основой техники и медицины, научным фундаментом философского материализма.

Основными компонентами естествознания считаются *физика, химия и биология*. С некоторой условностью в последнее время сюда включают и *психологию*, которую обычно относят к гуманитарным наукам. Для включения психологии в разряд естественных наук имеются определенные основания. Хотя не все здесь до конца ясно, но есть данные, что на уровне человеческой психики психическое оказывается своеобразной формой материи или, дру-

гими словами, существует такая реальность, которая, будучи материальной, одновременно обладает свойствами психического. Перечисленные дисциплины составляют *ядро естествознания*. Эти области естествознания можно отличить по **формам движения материи**, которые они изучают.

Предметом естествознания является познание различных форм движения материи. Устройство и организация всего, что есть во Вселенной, – это все проблемы естествознания. Оно вскрывает специфические закономерности, объясняющие конкретные свойства материального мира. Естественные науки достигли в наше время грандиозных успехов. Физический мир, доступный исследованию, охватывает ныне фантастический диапазон масштабов. В микроскопических масштабах, например, в физике элементарных частиц, мы имеем дело с величинами порядка 10^{-22} с и 10^{-15} см. В макроскопических масштабах, например, в космологии, времена могут достигать 10^{10} лет (возраст Вселенной), а расстояния – 10^{28} см (радиус горизонта событий, т.е. расстояние, с которого можно принимать физические сигналы).

Основная задача изучения естествознания состоит в том, чтобы ясно представить единство природы, ее целостность и то единое основание, на котором построено все бесчисленное разнообразие предметов и явлений природы и из которого вытекают основные законы, связывающие микро-, макро- и мегамиры, Землю и Космос, физические и химические явления между собой и с жизнью, с разумом. Нельзя познать природу во всей ее целостности, изучая только отдельные естественные дисциплины. С другой стороны, такой подход позволяет выявить скрытые связи, которые создают органическое *единство всех физических, химических и биологических явлений* и в результате намного глубже и точнее понять сами эти явления, а значит, полнее и, до известной степени, по-новому освоить физику, химию, биологию. *Цель естествознания* состоит в том, чтобы находить *сущность явлений, их законы* и на этой основе *предвидеть или открывать новые явления и законы*, раскрывать новые возможности использования на практике познанных законов природы. Естествознание дает нам информацию для принятия решений, а также методы “природосообразного” решения задач в различных сферах деятельности, оно демонстрирует примеры научных подходов к исследованию явлений действительности, которые применяли лучшие умы человечества.

В современном естествознании органически переплетаются два противоположных процесса: непрерывной *дифференциации естествознания* на все более узкие области знаний и *интеграции* этих обособленных наук. Приходит понимание того, что достижение успеха в понимании фундаментальных свойств Вселенной возможно только на основе интегральных (общих) представлений об окружающем нас мире, включающем как физический мир, так и человеческое существование. Все ближе наука подходит к пониманию того, что само *существование человека обусловлено основными закономерностями развития Вселенной в целом*.

На современном этапе естествознание становится все ближе к человеку, распространяя свои методы на экономику, гуманитарную сферу знаний и даже на искусство. Представления о единстве человека и природы, о **коэволюции** начали складываться в прошлом веке в России и получили название **русского космизма**. Его представители (П. Флоренский, В. Соловьев, Н. Федоров, Л.Н. Толстой, В. Вернадский и др.) полагали, что *мысль и сознание являются такой же принадлежностью природы*, как и все, что существует в ней.

Сущность и основные черты этого учения кратко можно сформулировать так: человек является составной частью природы, его следует не противопоставлять природе, а рассматривать в единстве; человек и все, что его окружает, – это части единого целого – Вселенной. Именно в русском космизме зародилась мысль о неизбежности возникновения противоречий между природой и разумом, если разум ставит себя над и призывает к покорению и преобразованию природы для сиюминутного блага. В XIX в. приходит понимание, что **Человек – активный фактор Природы**, который не может быть только сторонним наблюдателем. Еще в свое время К. Маркс говорил, что в будущем все науки о природе и обществе должны будут слиться в одну науку.

Развитие естествознания шло от непосредственного созерцания природы через разделение знаний и анализ внутри отдельных дисциплин к синтезу наук, к воссозданию картин мира.

Изучение природы в течение более двух с половиной тысяч лет показало, что, хотя естествознание основывается на *опытных фактах*, но последние не являются единственным источником фундаментальных знаний. Любое *теоретическое знание* осуществляется в рамках общих представлений о природе, содержа-

щих многовековой итог размышлений человечества. Именно эти представления служат независимым источником новых *понятий, принципов и гипотез*. Они выступают как обобщение опыта, хотя порой и не имеют с ним однозначной связи. Эти наиболее общие представления о природе, сложившиеся под влиянием определенных философских идей, называют **фундаментальными концепциями естествознания**.

В отличие от естественных наук, *гуманитарные науки* изучают человека и общество – это система знаний об обществе, законах его развития и возникновения, культуре и т.п. Здесь предметом знаний выступают *ценности общества*. К ним относятся общественные идеалы, цели, нормы и правила мышления, общения и поведения, основанные на определенном понимании полезности для индивида, группы и человечества в целом каких-либо предметных действий. В обществе ничего не совершается без сознательных целей, интересов и мотиваций, тогда как в природе действуют стихийные и независимые от человека процессы. На этом основании часто пытаются гуманитарную культуру противопоставить естественно-научной. Однако, несмотря на различия между естественными и гуманитарными науками, между ними не всегда можно провести четкую грань (например, трудно отнести к какой-то одной области экономическую географию).

Естествознание оказывает значительное влияние на развитие гуманитарных наук как методологией, так и общемировоззренческими представлениями, образами и идеями. Существующие различия между естественно-научным и гуманитарным познанием состоят в том, что естествознание ориентировано на изучение *повторяющегося, общего, универсального, абстрактного*, тогда как гуманитарное – на *специальное, конкретное, уникальное, неповторимое*. Цель естествознания – описать и объяснить свой объект, выразить знание с позиций вневременных принципов бытия. Цель гуманитарных наук – понять свой объект, найти способы конкретно-исторического, личностного переживания, толкования и содержания объекта познания, своего отношения к нему.

Технические науки изучают законы и специфику создания и функционирования сложных технических устройств, которые используются людьми в различных сферах жизнедеятельности. Мир техники уникален, он имеет свои законы, которые необходимо изучать для достижения технического прогресса.

Философия с греческого переводится как “любовь к мудрости”. Она изучает наиболее общие законы природы и общества, объясняя мир с точки зрения единства и взаимосвязи его самых общих свойств. Но в отличие от естествознания, которое исследует мир сам по себе, философию интересует отношение человека к миру. При этом широко используются результаты естественнонаучных дисциплин. Поэтому говорят, что философия и естествознание *необходимо* связаны как две стороны единого процесса познания. Это подтверждает и тот факт, что когда-то наука о природе называлась *натурфилософией* – философией природы.

В античные времена естествознание и философия не разделялись и представляли единое целое. Но, начиная с XVII в., в науке утвердился и стал широко применяться *аналитический метод мышления*, состоящий в мысленном (или действительном) разложении объекта на части и их анализе. Он был чрезвычайно полезен, без него не произошло бы столь мощного накопления эмпирических данных. В то же время этот метод страдает склонностью возводить полученные результаты в догмы, разрывать и абсолютизировать их, рассматривая их как истину в последней инстанции. Перенесенный из естествознания в философию, данный способ создал специфическую ограниченность последних столетий – *метафизический способ мышления*. Поэтому разделение философии и естествознания на определенном этапе было оправданным, оно пошло на пользу и физике, и философии. Физики добывали факты, не задумываясь о глубинной сущности явлений, философы развивали *диалектику мышления*. Это была историческая необходимость временного разрыва. Прежде чем рассматривать природу в ее диалектическом единстве, необходимо было проанализировать ее, разобрав все на части. Таким образом, это был необходимый этап на пути к пониманию диалектики природы. В XIX в. начался обратный процесс – процесс интеграции разрозненных научных знаний, где важную роль стала играть философия. Ф. Энгельс писал в “Диалектике природы”, что XIX в. подвел человека к диалектике природы.

Познание природы – диалектический процесс, возникший благодаря труду, истоки которого совпадают с периодом формирования первобытного человеческого общества. Основным методом познания в естествознании в настоящее время служит *диалектика*. Диалектический метод познания исходит из *принципа постоянно-*

го саморазвития и движения материи. Диалектика рассматривает предметы и явления во взаимосвязи, в движении и развитии. Развитие с точки зрения диалектики – качественное превращение одних предметов и явлений в другие, уничтожение отжившего, устаревшего, что мешает развитию; утверждение нового; признание самодвижения, саморазвития природы и общества.

Противоположностью диалектики выступает *метафизический метод мышления (метафизика)*, который основывается на неизменности или постоянстве устройства мироздания, независимости явлений друг от друга. Метафизика мыслит крайними категориями (можно сказать примитивно) – либо да, либо нет; предметы и явления в метафизике не связаны между собой, они считаются неизменными и застывшими; развитие рассматривается как простое увеличение или уменьшение готовых качеств.

Истоки этих противоположных подходов к осмыслению мира лежат в глубокой древности. На определенном этапе научного познания природы метафизический метод, которым руководствовались ученые-естествоиспытатели, был вполне пригоден и даже неизбежен, так как он упрощал и облегчал процесс познания. Метафизически мыслить проще, тогда как диалектика требует *оценки меры*. Формула диалектики гласит: *”в какой-то мере да, в какой-то нет, нет окончательных истин”*. В какой-то мере верно, в какой-то мере не верно, в какой-то мере можно, в какой-то мере нельзя. Здесь очень важно суметь оценить меру – меру дозволенности, меру правильности полученного результата, меру правды, содержащейся в “изреченной мысли”. Диалектике необходимо учиться.

1.3. Значение естествознания в современном мире

Трудно переоценить ту роль, которую играют естественные науки в развитии современного общества. Обсудим это на примере физики, которая считается самой глубоко развитой областью человеческого знания и составляет фундамент его технического, естественно-научного и теоретического мышления. За последние 100 лет пик достижений естественных наук пришелся именно на физику. В основании современной естественно-научной картины мира лежат физические принципы и концепции, т.е. физика составляет фундамент естествознания. Ее идеи пронизывают все естественные науки, она таит в себе огромный мировоззренческий

потенциал. Приобретая новые представления в процессе познания, она все время развивается, помогает нам лучше и полнее понимать природу, обогащает нас глубокими теориями и гипотезами, увеличивает способности человечества. Не преувеличивая, можно сказать, что физика является *неотъемлемой частью общей культуры человечества*. Ведь недаром представление о физике в умах многих людей сливается с понятием "знание."

Очень давно все проблемы естествознания, космологии и космогонии первоначально относили к физике. Например, Аристотель называл своих предшественников, занимавшихся этими проблемами, физиками, потому что древнегреческое слово "физис" близко к русскому слову "природа" и первоначально означало "происхождение", "рождение". Отсюда и естественная или изначальная взаимосвязь всего естествознания с физикой, которая выступает как бы исходной основой науки о природе. Физика по-прежнему сохраняет роль лидера современного естествознания, определяя стиль и уровень научного мышления. Ее изучение составляет неотъемлемую часть любого полноценного естественно-научного и технического образования. Изначальные общие корни естественных наук до сих пор проявляются в обобщенном истолковании слова "физика". Так, по классификации, принятой ныне в США, в категорию "физические науки" включаются не только геофизика, биофизика и т.д., но также и химия.

Современная физика оказала влияние почти на все стороны человеческой жизни. Она составляет основу всех естественных и технических наук. Практически не существует отрасли промышленности, не использующей достижений физики. Физика оказывает влияние и на политику. Она затрагивает также культуру в целом и образ мышления. Например, это выражается в пересмотре наших взглядов на Вселенную и нашего отношения к ней. Изучение атомного и субатомного мира в начале XX столетия показало ограниченность идей классической механики, что, в свою очередь, привело к пересмотру многих основных понятий (материи, пространства, времени, причины и следствия и т.п.), которые лежат в основе нашего мировоззрения. А радикальный пересмотр основных понятий приводит к пересмотру всей картины мира.

Говоря о роли физики, обычно выделяют три основных момента: 1) физика является для человека важнейшим источником знаний об окружающем мире (*познавательная функция*); 2) физика

расширяет и умножает возможности человека, обеспечивая тем самым технический прогресс (*развивающая функция*); 3) физика вносит существенный вклад в развитие духовного облика человека, формирует его мировоззрение, учит ориентироваться в шкале культурных ценностей (*воспитывающая функция*).

Все эти моменты содержались в физике всегда. Но особенно ярко и весомо они проявились в XX столетии. Именно это и определило ту исключительно важную роль, какую она стала играть в современном мире.

Рассмотрим более подробно каждый из указанных моментов.

• **Физика как важнейший источник знаний об окружающем мире**

Физика исследует общие свойства и формы движения материи. Она ищет ответы на вопросы: "Как устроен окружающий мир, каким законам подчиняются происходящие в нем явления и процессы?", которые имеют решающее значение для человека. Она исследует фундаментальные закономерности природы, что и предопределяет ее ведущую роль во всем цикле естественно-математических наук. На стыке физики и других естественных наук возникли новые научные дисциплины, позволившие получать более конкретные знания об окружающем мире. Например, химическая физика исследует электронное строение атомов и молекул, физическую природу химической связи и др. Астрофизика изучает многообразие физических явлений во Вселенной – физика Солнца, физика планет, физика межзвездной среды и туманностей, космология. Биофизика изучает физические и физико-химические явления в живых системах и влияние на них различных физических факторов. Направления ее исследований: биоэнергетика, фотобиология, радиобиология и др. Геофизика изучает внутреннее строение Земли и физические процессы, протекающие в ее оболочках. Агрофизика изучает физические процессы в почве и растениях, разрабатывает способы регулирования физических условий жизни сельскохозяйственных растений. Петрофизика исследует связь физических свойств горных пород с их структурой и историей формирования. Психофизика изучает количественные отношения между силой и характером раздражителя, с одной стороны, и интенсивностью раздражения – с другой.

Между отдельными дисциплинами и направлениями физики обнаруживаются разнообразные связи. В основе многих, казалось бы совершенно обособленных, физических процессов лежат, как удалось доказать, одни и те же законы. Одинакова природа световых и электрических явлений, много общего между строением вещества, атомов, молекул и их ядер, состоящих, в свою очередь, из элементарных частиц, соединенных сложными взаимодействиями. В науке, как часто и в жизни, тесная связь между внешне далекими областями знаний обнаруживается иногда очень неожиданно. Например, чтобы понять, как возникла Вселенная, необходимо знать физику элементарных частиц.

• **Физика как основа научно-технического прогресса**

На основе физических идей возникают и развиваются принципиально новые области техники. Физические открытия дают возможность решать даже такие технические проблемы, которые до этого не только не были решены, но даже и не могли быть поставлены. Например, исследования тепловых явлений в XIX в. способствовали быстрому совершенствованию тепловых двигателей. Исследования в области электромагнетизма привели к возникновению и развитию электротехники, телеграфа, телефона, радио и впоследствии телевидения, без которых сейчас трудно представить нашу жизнь. Транзистор, лазер, ядерный реактор, полеты в космос и на Луну – все это элементы новейших технологий. К их числу можно отнести и генную инженерию, которая дала возможность прямого воздействия на гены животных и человека. Физика дала жизнь подавляющему большинству современных отраслей техники: энергетике, транспорту, авиакосмической технике, ЭВМ и многому другому. Поэтому можно утверждать, что *физика является истоком современной цивилизации.*

Говоря о связи между развитием физики и научно-техническим прогрессом, подчеркнем, что эта связь двухсторонняя. С одной стороны, достижения физики лежат в основе развития техники. С другой, повышение уровня техники создает условия для постановки принципиально новых физических исследований, т.е. техника создает новые возможности в физике.

• Физика как важнейший компонент человеческой культуры

Физика как фундаментальная естественная наука развивает естественно-научное мышление человека и человечества. Углубляясь в тайны природы, она совершенствует не только свой экспериментально-технический, но и интеллектуально-человеческий инструментарий. Физика – это важнейший элемент, на котором базируются стержневые философские идеи. Воздействуя решающим образом на научно-технический прогресс, физика тем самым оказывает существенное влияние и на все стороны жизни общества, в том числе и на человеческую культуру. Причем это влияние *прямое, непосредственное*, а не опосредованное, что позволяет говорить о физике как *компоненте культуры*, физике присуще *гуманитарное содержание*, которое связано с развитием и формированием мировоззрения, а также воспитанием чувств. Существует органическая связь физики с развитием общественного сознания, с воспитанием определенного отношения к окружающему миру.

Физика – наука не только *точная*, но и *историческая*, так как она хранит немало следов долгого пути через столетия. На решение иных проблем уходили целые эпохи. В физике с поразительной отчетливостью видна *историческая преемственность* в поступательном движении человеческой мысли, духовное родство исследователей, разделенных веками и тысячелетиями, связь времен, поддерживающая единство как науки, так и всего человечества.

Естествознание открыло ряд важных истин, которые стали общечеловеческим достоянием. Укажем на некоторые из них.

А. Доказана **фундаментальность статистических закономерностей** как соответствующих более глубокому этапу в процессе познания мира; доказано, что вероятностная форма причинности является основной, а жесткая однозначная причинность – частный случай. Физика показала, что случайность не только путает и нарушает наши планы, но и может нас обогащать, создавая новые возможности.

Б. Физика XX в. продемонстрировала **всеобщность принципа симметрии**, заставила глубже взглянуть на симметрию, расширив это понятие за рамки геометрических представлений. Был сформулирован вопрос о *симметрии-асимметрии физических законов* и выявлена особая роль *законов сохранения*. Также показано, что

симметрия ограничивает возможность вариантов структур или вариантов поведения. Этот вывод исключительно важен, поскольку во многих случаях можно находить решение как результат выявления возможного варианта без выяснения подробностей (решение из соображений симметрии).

В. Показано, что по мере углубления наших знаний происходит постепенное стирание граней, разрушение перегородок между разными сторонами явлений. Например, стирается грань между корпускулярными и волновыми движениями, между полем и веществом. Оказалось, что как вещество, так и поле состоят из элементарных частиц, а пустота (вакуум) – это вовсе не вакуум в обычном понимании, а *физический вакуум*, “наполненный” *виртуальными частицами*. Нормой поведения этих частиц являются взаимопревращения. В этом мире понятие полностью изолированного объекта отсутствует. Таким образом, “*в природе нет абсолютных граней, они все условны, относительны и подвижны*”.

Г. Современная физика открыла **принцип соответствия**, который первоначально возник в квантовой механике, но затем превратился в один из самых общих методологических принципов, отражающих диалектику процесса познания мира. Данный принцип демонстрирует, что *процесс познания – это процесс постепенного и бесконечного приближения к абсолютной истине через последовательность относительных истин*. Это не простое механическое добавление новых фактов к уже известным, а процесс *последовательного обобщения*, когда новое знание отрицает старое, но отрицает с удержанием всего того положительного, что в нем накоплено.

Современная физика (и естествознание в целом) вносит существенный вклад в выработку *нового стиля мышления*, который называют **планетарным мышлением**. Она обращается к проблемам, имеющим большое значение для всех стран и народов. Это проблемы солнечно-земных связей, воздействия солнечных излучений на магнитосферу, атмосферу и биосферу Земли; прогнозы физической картины мира после ядерной катастрофы, если таковая разразится (“ядерная зима”); глобальные экологические проблемы, связанные с загрязнением Мирового океана и земной атмосферы. Рождается *общепланетарное “зеленое движение”*, общепланетарное понимание характера взаимоотношений природы и человека, новое (причем *гуманитарное*) мировоззрение естествознания, которое может повлиять на конструктивную политическую деятель-

ность людей. И такая система взглядов должна иметь определенный философский фундамент. В основе его должны быть те новые знания и интерпретации, которые возникли в естествознании, прежде всего в физике и биологии наших дней.

Физика позволяет понять, что **в принципе мир познаваем**, что случайность не всегда вредна, что можно и нужно ориентироваться в мире, насыщенном случайностями, что в этом изменяющемся мире есть, тем не менее, устойчивые "опорные точки" (инварианты), что по мере углубления знаний картина мира неизбежно усложняется и вчерашние "перегородки" больше не годятся. Очень часто физика, искусство и история сплетаются воедино. Известный американский физик И. Раби говорил, что физика составляет сердцевину гуманитарного образования нашего времени.

Очевидно, ученые обязаны помочь интеллигенции, занятой в других сферах духовной жизни, а также всем людям понять то, что делают физики, какова природа вещей, какие горизонты открываются. Физика показывает нам, как велик и в то же время близок мир, в котором мы живем. Она позволяет почувствовать человеку все свое величие, всю необыкновенную силу мысли, которая делает его самым могущественным существом на свете. Б. Паскаль писал: "Я не становлюсь богаче, сколько бы ни приобретал земель..., а вот с помощью мысли я охватываю Вселенную."

Все, что здесь сказано о физике, в полной мере относится и ко всему естествознанию.

1.4. Особенности современной науки

Бытие человека покоится на двух китах: чувствах и знаниях. Чувства без знаний не эффективны; знания без чувств бесчеловечны.

В. Вайскопф

Современная наука – наука XX столетия – сама оказывается удивительным феноменом, радикально отличающимся от того ее образа, который сложился в предыдущие века. Не зря ее часто называют "большой наукой". Выделяют следующие ее основные черты.

- *Резко возросшее количество ученых*

Если на рубеже XVIII-XIX вв. во всем мире было всего около тысячи ученых, то в конце нашего века их стало свыше пяти

миллионов. Наиболее быстрыми темпами количество людей, занимающихся наукой, увеличивалось после Второй мировой войны.

- *Рост научной информации*

В XX столетии мировая научная информация удваивалась за 10–15 лет. Например, в 1900 г. было около 10 тысяч научных журналов, в настоящее время – несколько сотен тысяч. Свыше 90 % всех важнейших научно-технических достижений было сделано в XX в. Такой огромный рост научной информации создает особые трудности для выхода на передний край развития науки. Серьезной проблемой становится растущая невостребованность информации. Противоречие между объемом получаемой информации и возможностью ее использования усиливает значение упорядоченности информационного пространства. При этом создаются предпосылки перехода в новую информационную структуру общества.

- *Мир современной науки*

В настоящее время наука охватывает огромную область знаний. Она включает около 15 тысяч дисциплин, которые все более тесно взаимодействуют и оказывают влияние друг на друга. Современная наука дает нам целостную картину возникновения и развития *Метагалактики*, появления жизни на Земле и основных стадий ее развития, возникновения и развития человека. Она постигает законы функционирования его психики, проникает в тайны бессознательного, которое играет большую роль в поведении людей. Наука сегодня изучает все, даже самую себя – то, как она возникла, развивалась, как взаимодействовала с другими формами культуры, какое влияние оказывала на материальную и духовную жизнь общества.

- *Возможности науки*

Сегодня ученые вовсе не считают, что они постигли все тайны мироздания. В сознании современных ученых есть ясное представление об огромных возможностях дальнейшего развития науки, радикального изменения наших представлений о мире и его преобразовании. Особые надежды в этом отношении возлагаются на науки о живом, человеке и обществе. По мнению многих видных ученых, достижения в этих науках и широкое использование их в реальной практической жизни будут во многом определять особенности XXI в. Прогнозируется, что лидером естествознания станет биология.

- *Ученый как особая профессия*

До недавнего времени наука была свободной деятельностью некоторых людей, она мало интересовала бизнесменов и практически не привлекала внимания политиков. Она не была профессией и никак специально не финансировалась. Вплоть до конца XIX в. у большинства ученых научная деятельность не была главным источником их материального обеспечения. Как правило, научные исследования проводились в университетах, а ученые зарабатывали себе на жизнь преподавательской работой. Одна из первых научных лабораторий была создана в 1825 г. Сегодня ученый – особая профессия. Миллионы ученых работают в специальных исследовательских институтах и лабораториях. В XX в. появилось понятие "научный работник". Теперь при выработке и принятии решений по разнообразным вопросам жизни общества не обходятся без участия ученых.

- *Внимание к науке со стороны государства*

Наука стала приоритетным направлением в деятельности государства. Для решения многочисленных проблем науки во многих странах существуют особые правительственные ведомства, не забывают о ней и главы государств. В развитых странах на науку сегодня затрачивается 2 – 3 % (и более) всего валового национального продукта. При этом финансируют не только прикладные науки, но и фундаментальные.

Часто говорят, что в настоящее время наука – это дорогое "удовольствие", ибо она требует не только подготовки научных кадров, оплаты труда ученых, но и обеспечения научных исследований приборами, установками, материалами, информацией, которые очень дороги. Однако оценки показывают, что общая стоимость фундаментальных исследований от Архимеда до наших дней примерно составила 30 млрд американских долларов, что меньше стоимости 12-дневной продукции США, получаемой с помощью приспособлений и машин, появление которых в значительной степени связано с успехами предшествующего развития науки (В. Вайскопф, 1975).

- *Деформация науки под воздействием общества*

Наука, став непосредственной производительной силой, важнейшим фактором культурного развития людей, инструментом политики, испытывает сегодня огромное давление со стороны общества. Как заметил П. Капица, наука стала богатой, но потеряла

свою свободу и превратилась в рабыню. Коммерческая выгода или интересы политиков в какой-то мере определяют сегодня приоритеты в области научно-технических исследований. Как говорится, “кто платит, тот и заказывает музыку”. Убедительным свидетельством этого является тот факт, что в XX в. около 40 % ученых были так или иначе связаны с решением задач, имеющих отношение к военным ведомствам. Но общество влияет не только на выбор актуальных для исследования проблем. В определенных ситуациях оно посягает и на выбор методов исследования и даже на оценку полученных результатов.

Безудержное желание использовать природу в собственных целях привело не только к нарушению экологического равновесия, но и препятствует развитию самого человека. К. Юнг отмечал, что мы стали богаче в познаниях, но бедны мудростью. Наука позволила разложить космос на атомы, в познании победил анализ, но в итоге **нарушена гармония природы, общества и человека**. Внутренний душевный кризис человека представляет сегодня большую опасность. Кризис общества находит свое выражение в росте суеверий и мистицизма.

Одной из центральных проблем, которые характеризуют особенности современной науки, является **вопрос об ответственности ученых** перед обществом: “Насколько и в какой мере ученые ответственны за последствия применения их идей или технических разработок? В какой мере они причастны к многочисленным и многообразным негативным последствиям использования достижений науки и техники в XX столетии?” Наибольшую остроту эти вопросы приобрели после того, как американцы сбросили атомные бомбы на Хиросиму и Нагасаки, и они действительно правомерны, так как массовые уничтожения людей в войнах, разрушение природы и даже распространение низкопробной культуры не были бы возможны без использования результатов современной науки и техники.

Наука позволяет лучше понять мир. Знания также используются и для достижения конкретных целей. Но *наука не может указать, к каким целям следует стремиться, какие задачи следует решать*. Такого рода решения определяются **ценностным подходом**, т.е. моральными, религиозными, этическими или эмоциональными сторонами нашей жизни. Например, наука позволила понять свойства атомов, а вот решение, следует или нет эти

знания использовать для создания ядерного оружия, основано на ценностном подходе, весьма далеком от науки. В то же время научные знания помогают понять истинные ценности, предсказывая последствия конкретных действий. Более того, наука не требует от нас придерживаться определенных принципов и теорий. Она лишь может предсказать, что может случиться, если их игнорировать.

Но наука и не всемогуща. Поэтому к ней необходимо относиться здраво, видя в ней силу, но не мифическую и не магическую. *Научный метод познания истины не является единственным.* Р. Оппенгеймер писал, что "...на сегодняшний день у нас нет ясности относительно того диапазона проблем, который будет доступен науке. Мы не знаем, в какой мере человеческое поведение поддается объективному, часто неожиданному изучению, именуемому наукой... мы, возможно, живем сегодня в состоянии некоего несоответствия между уровнями наших знаний о физическом мире, зачатками познания живого мира и уровнем наших знаний о внутреннем мире. Я, однако, глубоко убежден в том, что те научные познания о человеке, которыми мы, возможно, будем обладать (а они столь незначительны сегодня), всегда останутся, так же как и наше знание физического мира, весьма неполными, а следовательно, научные достижения не всегда будут помогать осознанию нами необходимости жить и действовать в соответствии с традициями, здравым смыслом и мудростью. ... нам следует помнить, что по большей части нынешнее положение вещей является результатом не того, что мы познали, а того, как наши знания применяются в области техники". (Р. Оппенгеймер. "Летающая трапеция: Три кризиса в физике".)

Наука – это только одна из сфер культуры человека со своей спецификой и задачами, и сама по себе не может считаться высшей ценностью человеческой цивилизации. *Наука – только средство в решении различных проблем человеческого существования.* Мы должны позаботиться о том, чтобы научное знание не распространялось на другие области, где оно не приложимо. М. Борн говорил, что человеческие и этические ценности не могут целиком основываться на научном мышлении. Одной науки для этого мало, но, чтобы достичь желаемого, вовсе не надо отворачиваться от науки. Человек постигает реальность также в искусстве, литературе, в философских исканиях т.п. В нормальном гармоничном обществе должно находиться место и для науки, и для философии, и для религии, и для всех частей человеческой культуры.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

гуманитарные науки, диалектика, естествознание, интуиция, истина, коэволюция, концепции, культура, логика, метафизика, наблюдение, наука, научная теория, прикладные науки, рациональные знания, творчество, ценностный подход, цивилизация, физика, фундаментальные науки.

Контрольные вопросы

1. Что такое наука? Ее основные черты и отличие от других отраслей культуры.
2. В чем состоит социальный аспект науки?
3. Что такое наука с информационной точки зрения?
4. Чем отличается понятие “культура” от “природы”?
5. Обоснуйте, почему наука является частью духовной культуры.
6. Наблюдение и эксперимент: в чем различия и в чем сходство?
7. В чем состоит единство наук?
8. Почему научные знания считаются рациональными?
9. Что такое естествознание и в чем его отличия от других наук?
10. Сформулируйте и обоснуйте основные функции физики.
11. Может ли физика влиять на политику и каким образом?
12. В чем состоит гуманитарное содержание физики?
13. Сформулируйте, в чем состоит различие и сходство между естественными и гуманитарными науками.
14. Почему естественные науки играют важную роль в развитии современного общества?
15. Какие существуют науки и в чем их различие?
16. Сформулируйте особенности современной науки.
17. Привлекая материалы средств массовой информации, раскройте функции современной науки.
18. Ответственны ли ученые перед обществом и в чем эта ответственность состоит?
19. Что понимают под концепциями современного естествознания?
20. Почему не следует противопоставлять естественные и гуманитарные науки между собой?
21. Какова роль образования в жизни современного общества?

Литература: [21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31].

Дополнительная литература: [1, 2, 3, 5, 6, 8, 30].

2. НАУЧНЫЙ МЕТОД И ПРИНЦИПЫ ПОЗНАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Особенности и методы научного познания. Научный метод – основа науки. Принципы познания в естествознании: принцип причинности, принцип наблюдаемости, принципы отбора, принципы симметрии, принципы оптимальности, принцип соответствия, редукционизм, парадоксы как движущая сила науки, красота науки.

Знание – сила.
Ф. Бэкон

2.1. Особенности и методы научного познания

Мы познаем мир с помощью органов чувств – естественных физических приборов человеческого организма. Основную информацию об окружающем мире человек получает с помощью органов зрения (глаза). Но наши органы чувств могут обманывать нас. Не все существующие в мире звуки мы воспринимаем, достаточно субъективны наши вкусовые и тепловые ощущения, чувство боли.

Постепенно человек научился создавать приборы и системы для получения информации об окружающем мире, а знания стали более достоверными и глубокими. Научное знание в отличие от обыденного (житейского опыта, здравого смысла) характеризуется рядом специфических черт.

Во-первых, это не опыт отдельного человека и его мироощущение. *Наука – это суммарный опыт всего человечества* на всем историческом пути его развития.

Во-вторых, *научное знание* в отличие от обыденного имеет не простые формы (непосредственного отражения, ощущения и восприятия), а *сложные – специально выработанные формы выражения научной истины в виде научных понятий, принципов, методов и теорий*. Главная особенность научных знаний заключается в глубоком проникновении в суть явлений, в их теоретическом характере. Научное знание начинается тогда, когда за совокупностью фактов осознается *закономерность – общая, необходимая связь между ними*, что позволяет объяснить, почему данное явление протекает так, а не иначе, предсказать дальнейшее его развитие. Научное познание отличает стремление к *объективности*, т.е. к изучению мира таким, каким он есть вне и независимо от человека.

В-третьих, по своей природе научное знание не стихийно, а *строго организовано, упорядоченно, субординированно*.

В-четвертых, оно представляет собой *систему, принципиально проверяемую, основанную на фактах, истинную*.

В-пятых, это не только система готового знания, но и *система приобретения нового знания, т.е. система научных методов – системность знаний*.

Термин “*метод*” означает способ построения системы познания, совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. Метод вооружает человека *системой принципов и правил*, которые позволяют достичь результатов наиболее рациональным путем. Владение методом означает для человека знание того, в какой последовательности совершать те или иные действия для решения какой-либо задачи, и **умение** применять эти знания на практике.

Среди множества используемых в науке методов, перечислим некоторые как наиболее важные:

- *анализ* – расчленение целостного предмета на составные части (стороны, признаки, свойства и отношения) для их всестороннего объяснения;
- *синтез* – соединение ранее выделенных частей предмета в единое целое;
- *абстрагирование* – это мысленное отвлечение от каких-то менее существенных в данных условиях свойств, сторон, признаков, отношений изучаемого объекта с одновременным выделением и формированием одной или нескольких наиболее существенных сторон, свойств или признаков и отношений этого объекта;
- *идеализация* представляет собой мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследований. В результате такого изменения могут быть исключены из рассмотрения какие-то свойства, стороны или признаки объекта. Хорошо известным примером идеализации является понятие материальной точки в механике – это объект, размерами которого пренебрегают. Реально в природе таких объектов не существует, но подобная абстракция позволяет заменить в исследовании самые различные реальные объекты: от атомов и молекул до планет и звезд;

- *обобщение* – прием мышления, в результате которого устанавливаются общие свойства и признаки объектов;
- *индукция* – метод исследования и способ рассуждения, в котором общий вывод строится на основе частных посылок;
- *дедукция* – способ рассуждения, посредством которого из общих посылок с необходимостью следует заключение частного характера;
- *аналогия* – прием познания, при котором на основе сходства объектов в одних признаках делают заключение об их сходстве в других признаках;
- *моделирование* – изучение объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (*модели*), замещающей оригинал с определенных сторон, интересующих исследователя. При моделировании широко используются абстрагирование, аналогии и обобщения. Среди многих методов моделирования отметим *математическое моделирование*, производимое средствами математики и логики. *Мысленный эксперимент* является одним из видов моделирования, широко используемых в науке.

Различают два уровня научного познания: **эмпирический** (опытный) и **теоретический**. *Эмпирический уровень познания* характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов. На этом уровне происходит процесс накопления информации об исследуемом объекте путем наблюдения, выполнения разнообразных измерений и проведения экспериментов, а также производится первичная систематизация получаемых данных и, возможно, формулирование некоторых простых эмпирических закономерностей.

Теоретический уровень научного исследования осуществляется на *рациональной* (логической) ступени познания. Здесь строятся **научные теории**, которые являются основной формой научного знания. Это более высокая ступень в научном познании. Здесь широко используется метод научного абстрагирования и идеализации – переход к обобщенным представлениям и понятиям. В процессе абстрагирования происходит отход от чувственно воспринимаемых конкретных объектов к воспроизводимым в мышлении абстрактным представлениям о них. То, что получают в ре-

зультате, называют *абстракцией*, которая, очевидно, отличается от конкретного. Таким образом, как говорят философы, на теоретическом уровне осмысление представляет собой восхождение от чувственно-конкретного к абстрактному.

На этой основе также строятся **научные понятия**, которые в науке играют очень важную роль. *Понятия – это отражение предметов и явлений со стороны их существенных свойств и отношений*. Всякое познание человеком природы начинается с *ощущений*, которые связывают его с миром *явлений* и рождают *образы*. Явления и образы описываются с помощью *языка (слов)*. Одни и те же слова у разных людей рождают различные образы. Существуют слова или группы слов, которые не связаны непосредственно с образами, хотя и появились благодаря им. Это и есть *понятия*. Понятия обобщают коллективный опыт, но они лишены деталей, присущих конкретным образам, и поэтому пригодны для общения разных людей между собой. Но понятия не вполне однозначны, хотя бы потому, что у разных людей они вызывают различные образы. Даже в повседневной жизни это часто приводит к недоразумениям. В науке такое недопустимо, потому что ее результаты претендуют на объективный смысл, который не должен зависеть от непостоянства человеческих мнений. В науке почти каждому понятию ставят в соответствие формулу – набор символов и чисел, и задают правила действий над ними, чем достигается однозначность науки, позволяющая понимать друг друга ученым разных стран и поколений.

Понятия позволяют обобщать и выделять предметы по их общим признакам. *Процесс образования понятий связан с **огрублением действительности***, так как рассмотрение ведется только со стороны тех свойств и отношений, которые интересуют в данной теории, отвлекаясь от всех прочих. Поэтому их нельзя рассматривать как нечто *неизменное, заданное*. Время от времени они должны пересматриваться, углубляться адекватно познанию внешнего мира. *Научные понятия, составляющие логическую основу законов природы, не статичны, не абсолютны*. Отсюда следует, что законы природы нельзя абсолютизировать, а значит, **наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными**.

Таким образом, *объектами научного (теоретического) познания выступают не сами предметы и явления реального ми-*

*ра, а их своеобразные аналоги (модели) – некие идеализированные объекты. Поэтому **полученная картина природы не обязательно буквально совпадает с реально существующим миром.** Многие ученые ее считают всего лишь рабочей моделью.*

Например, наше представление о строении атома есть только модель – невидимый атом описывается с помощью макроскопических понятий. Мы не знаем, что в действительности представляет собой атом, но можем сказать, что он ведет себя "так-то и так-то", если на него подействовать "вот так". Даже современные методы исследования не позволяют увидеть атом. Получаемые с их помощью изображения интерпретируются также в рамках тех же моделей. Известный физик Р. Фейнман писал: "Раз поведение атомов так не похоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физiku – всем оно кажется туманным и своеобразным. Даже большие ученые не понимают его настолько, как им бы хотелось, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция – все прилагается к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца не поступают. Поэтому, изучая их, приходится прибегать к различного рода абстракциям, напрягать воображение и не пытаться связывать их с нашим непосредственным опытом" (Фейнман, 1987).

Основная задача научного знания – обнаружение *объективных законов действительности* – природных, социальных (общественных), законов самого мышления и т.д. Отсюда ориентация исследования направлена, главным образом, на общие, существенные свойства предмета или явления, их необходимые характеристики и их выражение в системе *абстракций*. Если этого нет, то нет и науки, так как само понятие научности предполагает открытие законов, углубление в сущность изучаемых явлений.

Непосредственная цель и высшая ценность научного познания – это **объективная истина**, которая достигается преимущественно *рациональными средствами и методами*. Поэтому **научные знания имеют рациональный характер**. *Истина* есть правильное, адекватное отражение предметов и явлений действительности познающим субъектом, воспроизведение их такими, какими они существуют вне и независимо от сознания. Она объективна по содержанию, но субъективна по форме – как результат человеческого мышления. Поэтому говорят об *относительной ис-*

тине как отражающей предмет не полностью, а в объективно обусловленных пределах. Абсолютная истина полностью исчерпывает предмет познания. *Всякая относительная истина содержит элемент абсолютного знания. Абсолютная истина складывается из суммы относительных.*

Характерная черта научного познания – *объективность*. Научное познание ориентировано на то, чтобы в конечном счете быть воплощенным в практике. Смысл научного изыскания можно выразить простой формулой: “Знать, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы практически действовать” – не только в настоящем, но и в будущем. Научное познание есть сложный противоречивый процесс воспроизводства знаний, образующих целостную развивающуюся систему понятий, теорий, гипотез, законов и других идеальных форм, закрепленных в языке – естественном или искусственном (математическая символика, химические формулы и т.п.). В процессе познания применяются и такие специфические материальные средства, как приборы и инструменты и другое научное оборудование, зачастую очень сложное и дорогостоящее. Кроме того, для науки характерно использование и таких средств, как современная логика, диалектика, системный анализ и другие общенаучные приемы.

Научному познанию присущи *строгая доказательность, обоснованность результатов и достоверность выводов*. Но вместе с тем здесь немало гипотез, догадок, предположений и т.п. Поэтому важное значение имеют методологическая подготовка, философская культура и многое другое.

2.2. Научный метод – основа науки

Наука ищет пути всегда одним способом. Она разлагает сложную задачу на более простые, затем, оставляя в стороне сложные задачи, разрешает более простые и тогда возвращается к оставленной сложной.

В. Вернадский

Развитие науки имеет свои законы. Из наблюдения окружающего мира рождается предположение о природе и связях процессов и явлений; из фактов и правдоподобных предположений строится теория; теория проверяется экспериментом и, подтвердившись, продолжает развиваться, снова проверяясь бесчисленное множе-

ство раз. Такой ход развития и составляет сущность *научного метода*; он позволяет отличить заблуждение от научной истины, проверить предположения, избежать ошибок. При этом необходимо всегда помнить, что *эксперимент – верховный судья теории (критерий истины)*.

Научный метод познания реальности зародился в начале XVII в., и на нем, как на прочном фундаменте, основываются с тех пор все опытные науки. Сведения о природе мы получаем сначала путем *индукции*, извлекая общие законы из экспериментальных данных. Затем, считая наш закон верным, мы предполагаем, что природа будет вести себя согласно этому закону, считая, что природа единообразна. *Дедуктивная теория* дает нам значительно больше. Прибегая к ней, мы начинаем с допущений и законов, получая их либо на основе догадки, либо в результате эксперимента, либо по аналогии или путем умозрительных рассуждений, а затем делаем новые предсказания. Эти предсказания и выводы необходимо проверять экспериментально. Используемые предположения должны быть основаны на теории и прошедших проверке фактах. О теории судят не по тому, насколько она "правильна", а по тому, насколько она **полезна**, т.е. *какие эксперименты она подсказывает и на какие мысли наводит*.

Можно сформулировать некоторые общие правила, лежащие в основе исследовательского процесса и составляющие сущность научного метода для получения нового знания. **Научный метод** – это такая *процедура получения научного знания, которая позволяет его воспроизвести, проверить и передать другим; это способ организации средств познания для достижения научной истины; это система регулятивных принципов познавательной деятельности*. Подчеркивая важность научного метода, Ф. Бэкон говорил, что этот метод подобен фонарю, освещающему дорогу бредущему. Даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто бежит без дороги.

Сущность научного метода состоит в следующем:

- производить наблюдения и извлекать из них общие правила или законы;
- формулировать гипотезу; выводить следствия из гипотезы и уже известных законов;

- производить эксперименты для проверки этих следствий – **критерий истины**;
- если эксперимент подтверждает гипотезу, ее принимают на вооружение как истинный закон и затем предлагают и проверяют новые гипотезы. В противном случае гипотеза отбрасывается и предлагается другая.

Таким образом, наука строится из наблюдений, экспериментов, гипотез, теорий и аргументации (объяснения). Научный метод начинается с проведения границ *достоверного и невозможного*. Сделать это позволяет *стабильность достижений науки*. Что это значит? Хорошо проверенные законы и соотношения остаются неизменными и после нового открытия или научной революции. Например, теория относительности, перевернув привычные представления о пространстве и времени, практически не изменила хорошо известных законов механики и электродинамики тел, движущихся с обычными скоростями. В науке существует *принцип соответствия*, согласно которому новая теория должна переходить в старую в тех условиях, для которых эта старая была установлена. Зная, что хорошо проверенные законы неизменны, можно отличить явления, не вызывающие сомнений, от тех, что противоречат опыту. Между ними окажется область неизученного, но *возможного* – здесь и сосредоточены интересы науки. В области достоверного окажется все, что не может быть опровергнуто при любом повороте в развитии науки. Наука оберегает свои завоевания, она лишь переосмысливает старое, не отвергая, а вбирая его в себя.

Следующий шаг состоит в том, чтобы отделить даже самую красивую и правдоподобную догадку от доказанного утверждения. Правило **"во всем сомневаться и все проверять"**, доведенное когда-то скептиками до абсурда, ученые взяли на вооружение, пользуясь им в разумных пределах. В науке ничего не принимается **на веру**. Таким образом, в основе научного метода лежит *объективность, воспроизводимость и непредвзятость*; он развивался, совершенствовался и был отобран как самый рациональный, и уже более трех веков им руководствуется наука.

А. Эйнштейн говорил, что научный метод дает средства для достижения цели, но сам по себе не есть цель – сам по себе научный метод никуда не приводит; он и не появился бы без стремления к истине. В действительности научное исследование не столь "ло-

гично” и не так просто. В ходе развития науки мы решаем проблемы и накапливаем знания, используя разные методы. Иногда начинаем с догадки, иногда строим математическую модель, а затем проводим экспериментальную проверку и т.п. Однако необходимо помнить, что эксперимент всегда играет роль главного пробного камня независимо от того, с чего начали.

Научное познание (факты, гипотезы, теории, концепции) строится из перекрестного процесса исследований и рассуждений с различных точек зрения. Мы не движемся к открытию напрямик, не сворачивая с пути, а исследуем явления природы сначала в одном направлении, потом в другом; от одной догадки переходим к другой, которую, в свою очередь, подвергаем экспериментальной проверке и т.д. Со временем мы накапливаем новые понятия различными путями и проверяем их с разных точек зрения. Согласие между результатами, полученными разными методами исследования, дают **уверенность** в том, что достигнутые знания имеют надежную основу. Вся информация в науке основана на *наблюдениях и логических выводах*, из них вытекающих. Отсюда следует возможность ее **проверки** и **уточнения**. Наука ничего не принимает на веру. Ключевое правило науки – **проверять**.

В настоящее время наши знания представляют обширную систему понятий, которым мы *доверяем*, так как она *удовлетворяет нашим представлениям* о ней, составленным на основании самых разных точек зрения.

Лучшая теория та, которая наиболее плодотворна, экономична, доступна и приносит наибольшее удовлетворение. Она должна иметь минимальное число допущений общего характера, но при этом связывать большое число разнообразных фактов. При создании теории начинают с допущений и простых гипотез, тесно связанных с экспериментом; затем строят концепции более общего характера, которые управляют более простыми, и, наконец, стараются вывести всю картину природы в целом из нескольких общих положений. В философии существует методологический принцип, известный как *бритва или лезвие "Оккама"*: разумнее считать *непонятное пока непонятным*, чем изобретать непроверяемые гипотезы (*не умножай сущностей без надобностей*). Другими словами, то объяснение явления ближе к истине, которое основывается на меньшем числе гипотез. Наилучшим можно считать объяснение как можно более широкого круга явлений с помощью

как можно меньшего числа гипотез. Этот принцип и сегодня лежит в основе современного научного мышления.

Качество теории оценивается также *по чувству интеллектуального удовлетворения*, которое она дает, *чувству уверенности* в наших знаниях и *чувству удовольствия* от того, что мы можем их выразить в логичной и компактной форме. Создание таких теорий, которые давали бы нам чувство удовлетворения и уверенности в наших знаниях, – это настоящее искусство; это и есть то, что называется познанием природы.

Научный метод преобразовал мир, в котором мы живем. На основе достигнутых успехов укрепилась вера в науку. Очевидно, что человечество ускоряет свое развитие с помощью наук. Мы настолько привыкли отождествлять понятие "наука" и "знания", что, по сути дела, не мыслим себе иного знания, кроме научного. Но не следует переоценивать роль науки.

Человек постепенно начинает осознавать, что у *научного метода есть свои издержки, область действия и границы применимости*. Одну из таких границ очерчивает наш *опыт*, который является *ограниченным*. Однако основания науки не имеют *абсолютного характера* и, в принципе, могут быть поколеблены. Другой барьер на пути к всемогуществу науки возвела *природа человека*. Дело в том, что человек – существо макромира. И средства, используемые учеными в научном поиске (приборы, язык описания и прочее), – того же масштаба. Наши макропредставления не подходят к микромиру, так как никаких прямых аналогов привычным нам вещам там нет. Поэтому *сформировать макроскопический образ, полностью адекватный микромиру, практически невозможно*. В итоге наш познавательный аппарат при переходе к областям реальности, далеким от повседневного опыта, теряет свою адекватность. Правда, ученые нашли выход в использовании языка абстрактных обозначений и математики. Но сложность ситуации заключается в том, что логика и математика родом из привычного нам макромира. Пока это все работает, но как будет дальше – неизвестно.

В эволюционной теории познания существует точка зрения, что математические способности человека принципиально ограничены, так как имеют биологическую основу и, следовательно, не могут полностью содержать все структуры, существующие в действительности. Поэтому должны существовать и пределы матема-

тического описания природы. Все это и говорит *об ограниченности научного метода*. Тем не менее мы верим в науку, поскольку она позволяет нам правильно предсказывать явления природы и не зависит от произвола познающей личности. Можно сомневаться в структуре ее образов, зависящих от способа мышления, но практически нет сомнений, что **законы природы одинаковы во всей Вселенной**.

Наука и научный метод полезны и необходимы, но они не являются всемогущими. Границы научного метода пока еще размыты и неопределенны. Но, по-видимому, они существуют. Последнее означает признание факта, что *реальный мир гораздо богаче и сложнее, чем его образ, который создается наукой*.

2.3. Принципы познания в естествознании

Принцип (от латинского “принципус”) – основа, первоначало; это центральное понятие, основание системы, обобщение и распространение какого-либо положения на все явления данной области, из которой принцип абстрагирован (выведен). Принципы формулируются в системе понятий, которые вырабатываются в практической деятельности цивилизаций и во многом определяются конкретными условиями.

А. Эйнштейн говорил, что основные фундаментальные идеи науки, в сущности, достаточно просты, их может понять каждый, но чтобы увидеть все следствия, вытекающие из общей идеи, нужно владеть утонченной техникой исследования. В естественных науках существуют специальные правила или принципы, которые позволяют избегать ошибок и гораздо быстрее приходиться к намеченной цели. К числу таких правил относят: **принцип причинности**, проверяемый на опыте; **принцип наблюдаемости**, сыгравший огромную роль в становлении физики XX в.; **принцип соответствия**, который отражает преемственность науки; **принципы симметрии**, отражающие красоту природы; **принципы оптимальности**, **принципы** или **правила отбора** и др. Развитие науки стимулируют **парадоксы**, т.е. противоречия каких-то фактов привычным представлениям. Наконец, не менее важным является требование **красоты научной теории**.

2.3.1. Принцип причинности

*Пора чудес прошла, и нам
Подыскивать приходится причины
Всему, что совершается на свете.*
В. Шекспир

Причинность есть определенная форма упорядочения явлений, процессов и событий в пространстве и времени, связь между отдельными состояниями видов и форм материи в процессе ее движения. Эта упорядоченность накладывает свои ограничения на все, что происходит в мире. *Причина* – это то, что приводит к изменениям, а *следствие* – изменения, которые возникают при наличии причины, т.е. следствие *порождается* причиной. Причина и следствие могут *переходить друг в друга, меняться местами*, т.е. являются *относительными*. Они существуют в *единстве* и *связаны необходимым образом* – если имеется причина, то всегда должно быть следствие и наоборот. По времени причина всегда предшествует следствию или следствие возникает позже причины. История науки учит *не доверять привычному, сомневаться и проверять на опыте*.

Концепция причинной зависимости явлений природы – основа естествознания. Причинные связи носят объективный характер. Причинно-следственные связи – это цепочка: причина – явление – следствие. На принципе причинности основано научное познание действительности и организована вся материально-практическая деятельность человека. Человек не только наблюдает определенную регулярность, повторяемость, временную последовательность возникновения тех или иных явлений, но и активно воздействует на природу, целенаправленно изменяет ее, создает соответствующие условия, заставляет материальные образования взаимодействовать друг с другом и производить определенные изменения и таким образом вызывает к жизни новые явления. *Суть принципа причинности состоит в признании причинной обусловленности любого явления и необходимой связи причины и следствия*. Причинность – это одна из форм выражения *детерминизма* – учения о всеобщей закономерной связи природных, социальных и психических явлений. Сущность детерминизма состоит в том, что *все существующее в мире возникает и уничтожается закономерно, в результате действия определенных причин*.

Явления природы следуют закону причинности. Другими словами, *все явления природы обусловлены*, однако не все связи и отношения выступают одинаково: одни из них **неизбежны**, другие **случайны**. Поэтому причинность может проявляться в зависимости от свойств изучаемого объекта. *В макроскопических процессах причинность* может выражаться в форме **однозначных динамических закономерностей**, в **микром мире** – через **статистические (вероятностные) закономерности**.

В физике, как правило, причинность проявляется в виде закона, с помощью которого можно установить последовательность событий во времени. На языке формул этот закон часто имеет вид дифференциального уравнения. Например, в классической механике это уравнения движения Ньютона, которые позволяют предсказать траекторию движения частицы в любой момент времени, если известны начальные координата и скорость. Данная схема объяснения и предсказания явлений природы составила идеал причинного описания явлений, к которому стремились и в других науках. Однако такое описание не стало универсальным. Например, такой причинности нет в микром мире. Здесь понятие причинности пришлось расширить, его называют **квантово-механической причинностью**. Своеобразие квантово-механической причинности состоит в том, что даже при неизменных условиях она может лишь давать вероятность исхода отдельного испытания, но зато достоверно предсказывает распределение исходов при большом числе однотипных испытаний. Кроме того, принцип причинности в физике требует исключить влияние какого-либо события на все прошедшие события и влияние друг на друга одновременных событий, которые произошли на таком расстоянии, что они не могут быть связаны каким-либо сигналом, даже световым.

Причинность строго проверена на опыте, что подчеркивает важность этого принципа для науки, потому что утверждение считается научным, если его можно *подтвердить* или *опровергнуть*. То, что не подлежит проверке, хотя бы мысленной, лежит вне науки.

2.3.2. Принцип наблюдаемости

Наш язык мудр: между выражениями "я убежден" и "я убедился" - большая разница.

К. Чапек

Принцип наблюдаемости требует, чтобы в науку вводились не умозрительные, а *наблюдаемые* величины. Считается, что в науку опасно вводить умозрительные понятия, основанные только на повседневном опыте. Еще Г. Галилей призывал меньше доверять чувствам, которые легко могут нас обмануть, а стараться, рассуждая, подтвердить предположение или разоблачить его обманчивость.

Наблюдаемым считается объект, который поддается измерению. Наблюдаемость, таким образом, сводится к измеряемости. В физике требование наблюдаемости вводимых понятий утвердилось лишь на рубеже XIX и XX вв. Например, еще в конце XIX в. А. Пуанкаре подчеркивал необходимость введения понятия времени, которое было бы основано на эксперименте. В 1905 г. А. Эйнштейн проанализировал понятие *одновременности*. Его интересовало, как проверить одновременность, абсолютна она или относительна, изменяется ли она в движущейся системе координат или нет. Оказалось, что одновременность относительна, а не абсолютна, как считалось до этого. Такой вывод был сделан в результате последовательно примененного принципа наблюдаемости.

Огромную роль принципа наблюдаемости сыграл и при анализе физического смысла квантовой теории. По этому поводу П. Дирак писал, что наука имеет дело *только* с наблюдаемыми величинами, и мы можем наблюдать объект только в том случае, если дадим ему провзаимодействовать с чем-то внешним по отношению к нему. На наблюдаемость проверили координаты и скорость микрочастицы, и оказалось, что они одновременно не могут быть определены в принципе. В. Гейзенберг выдвинул идею, согласно которой *не нужно говорить о том, что все равно нельзя измерить*. Суть этой идеи можно интерпретировать следующим образом: любые теоретические построения или понятия должны быть такими, чтобы выводы из них (или следствия) можно было бы сравнивать с результатами опыта.

Таким образом, существует точка зрения, что любое используемое в науке понятие имеет смысл лишь тогда, когда ему можно

сопоставить некоторую измерительную процедуру, т.е. измерить. Все объяснения природы, которые являются результатом научной деятельности, основаны на наблюдениях за поведением измеряемых параметров. Этот подход называют *операционной точкой зрения* или *операционализмом*. При таком подходе проще и удобнее анализировать результаты исследований, устанавливать научную строгость и точность исходных предположений и выводов. Операционное определение дать достаточно просто: надо только объяснить, как эта величина может быть измерена и какие способы измерения в каких условиях выбирать. С этой точки зрения объектом исследования физики является то, что можно зарегистрировать физическими приборами. Мышление или эмоции не могут быть (пока?) зарегистрированы приборами, и поэтому к объектам физики не относятся.

Но с таким подходом согласны не все исследователи. Дело в том, что в физике имеются не только понятия, допускающие непосредственную эмпирическую интерпретацию, но и абстрактные теоретические конструкции, непосредственно не связанные с опытом. Р. Фейнман считал, что науку можно создавать не только из тех понятий, которые непосредственно связаны с опытом. Он говорил, что в теории можно использовать все что угодно при условии, что *ее следствия* можно будет сравнить с экспериментом. Идея или понятие, которые невозможно прямо связать с опытом или измерить, могут быть полезными, а могут быть бесполезными. О них можно сказать, что они не обязаны присутствовать в теории.

Ценность теории – в ее способности предвидеть, т.е. сообщать, что случится в опыте, который прежде никогда не ставился. Это делается примерно так. Сначала полагают, что независимо от опыта известно, что произойдет в результате его постановки. Затем экстраполируют опыт, распространяя его в область, в которой он не ставился, т.е. расширяют представления до пределов, в которых они никогда не проверялись. Если этого не сделано, то никакого предсказания нет. Единственный способ обнаружить, в чем мы ошибаемся, это понять, в чем состоят наши предсказания. Так что без умственных построений не обойтись. В связи с этим А. Эйнштейн говорил, что только теория может установить, что можно наблюдать, а что нельзя, и поэтому надо разрешать теоретику фантазировать, так как иной дороги к идеям нет. Но при этом опыт всегда остается единственным судьей математического построения в физике.

2.3.3. Принципы отбора

В мире действуют **принципы отбора** – *законы, выделяющие из возможных (виртуальных) состояний определенное множество допустимых, которые и проявляются в природе*. Другими словами, все, что происходит в природе, не представляет собой абсолютного произвола или не все мыслимое реализуется в природе.

В мире неживой природы – это *законы физики и химии*. Физические законы считаются неизменными, поскольку характерное время их изменения лежит за пределами нашего возможного наблюдения. Человек способен уточнять их формулировки, используя эмпирические данные, но лишь до той степени, пока вмешательство исследователя не превращает его из наблюдателя в участника событий, как это имеет место при изучении явлений микромира.

Эти законы остаются справедливыми и на уровне живого вещества. Но здесь к ним добавляются и свои. Например, стремление сохранить *гомеостаз*, т.е. относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды, устойчивость основных физиологических функций организма; *дарвиновские законы эволюции* – дарвиновская триада: изменчивость, наследственность и естественный отбор.

На уровне общественной организации общественные законы не могут нарушить законы, определяющие процессы, протекающие в живом и неживом веществе, но и не исчерпываются ими. Обществу свойственны свои новые принципы отбора, связанные с *целенаправленной* деятельностью людей. Эти новые принципы отбора, возникающие в мире по мере усложнения организации, постепенно становятся менее жесткими, приобретая характер *тенденций*. Например, закон сохранения энергии никогда не может быть нарушен, тогда как сохранение гомеостаза – всего лишь *тенденция*.

Еще более размыт смысл принципов отбора на уровне общественной организации, где они во многом связаны с представлением о ценностях, которые возникают в сознании человека. Последнее является одной из причин неоднозначности развития и многообразия его путей.

К числу важнейших принципов отбора относят *законы сохранения*. Законы сохранения в физике считаются наиболее общими законами природы. Они говорят нам о тех величинах, которые сохраняются при различных взаимодействиях и превращениях. Чис-

ло известных нам законов сохранения изменяется с развитием физики. По мере расширения круга явлений, доступных исследователю, отбрасываются некоторые старые законы сохранения и формулируются новые. Наиболее известные **законы сохранения** – энергии, импульса и электрического заряда.

Многочисленные факты убеждают, что **закон сохранения энергии** – один из *всеобщих законов природы*. Он лежит в основе физики и всего естествознания в целом. Согласно этому закону в *замкнутой системе энергия не может исчезать или рождаться: она может лишь переходить из одной формы в другую*, например, из механической в тепловую, из тепловой в химическую и т.п. Если вычислить и сложить значения, соответствующие разным видам энергии, то для замкнутой системы полученная сумма всегда будет одинаковой – ее и называют *полной энергией*. По сути дела это абстрактное, чисто математическое правило: полная энергия есть число, которое не меняется, когда бы вы его ни подсчитывали.

Существует много разных видов (форм) энергии: кинетическая, потенциальная, тепловая, электрическая и световая или электромагнитная, энергия упругости в пружинах, ядерная энергия, энергия покоя тела $E = mc^2$ (здесь m – масса, c – скорость света). Тепловая энергия – это всего лишь кинетическая энергия движения частиц в теле. Упругая и химическая энергии имеют одинаковое происхождение, так как обусловлены одними и теми же силами взаимодействия между атомами. Когда атомы перестраиваются в другом порядке, меняются и эти энергии. Например, если что-то сжигается, то меняется химическая энергия, при этом возникает теплота там, где ее раньше не было. Но сумма тепловой и химической энергий должна остаться прежней. Упругая и химическая энергии связаны с взаимодействием атомов, которые являются комбинацией электрической и кинетической энергий. Световая энергия – это электромагнитная энергия, поскольку свет есть электромагнитная волна. Ядерная энергия не выражается через другие виды энергий – она обусловлена действием ядерных сил.

Закон сохранения энергии очень полезен в методическом отношении. Зная его и формулы для вычисления энергии, можно понять другие законы. Он позволяет предсказывать новые явления. С помощью закона сохранения энергии можно подсчитать энергию, освобождающуюся при превращениях частиц, или вычислить энергию, необходимую для образования новых частиц.

Закон сохранения энергии имеет **абсолютный характер**, т.е. нарушение его до сих пор не наблюдалось.

Другой важный закон сохранения – **закон сохранения импульса**. В классической механике импульс определяется как $\vec{p} = m\vec{v}$, где m – масса тела, \vec{v} – скорость. *В отсутствие внешних сил полный импульс всех частиц постоянен* – таково содержание закона сохранения импульса. При больших скоростях выражение для импульса усложняется, но закон сохранения импульса остается. Импульс более фундаментальная физическая величина, чем скорость, поскольку существует закон сохранения импульса, но нет закона сохранения скорости.

Закон сохранения электрического заряда можно сформулировать так: *в замкнутой системе полный электрический заряд всех ее частиц остается постоянным при любых изменениях в ней*. Если заряд теряется в одном месте, то он возникает в другом. *Электрический заряд не может рождаться или уничтожаться* – во всех явлениях сохраняется алгебраическая сумма зарядов. Поэтому одна нейтральная частица никогда не может превратиться в одну заряженную, даже если это превращение не противоречит всем остальным законам сохранения. Закон сохранения электрического заряда также относится ко всеобщим законам природы.

Существуют и другие законы сохранения, которые все вместе позволяют отобрать из всех мыслимых взаимодействий те, которые возможны в природе. Согласие с законами сохранения еще не означает, что интересующее нас явление или процесс происходят. Но если соответствующие законы сохранения нарушаются, то такой процесс или явление происходить не могут. В этом смысле некоторые законы сохранения рассматривают как **принципы отбора** или **запрета**, которые *ограничивают* наше вмешательство в природу в процессе ее преобразования. Подчеркнем, что все физические законы подчинены одним и тем же законам сохранения, которые составляют фундамент современной физики и всего естествознания.

Среди других правил отбора особенно необходимо выделить **второй закон термодинамики** или **закон неубывания энтропии**, который устанавливает *неравнозначность взаимного превращения тепла и работы*. Хорошо известно, что работа может полностью превращаться в тепло, но тепло полностью превратить

в работу **принципиально** невозможно. Последнее означает, что при взаимопревращениях одних видов энергии в другие существует *выделенная самой природой направленность*, т.е. теплота не может самопроизвольно переходить от холодного тела к более горячему. Именно эту *однонаправленность перераспределения энергии* и отражает второе начало термодинамики.

Второй закон термодинамики часто интерпретируют как *закон постепенной деградации, разрушения организации и неизбежного утверждения хаоса*. Как и закон сохранения энергии, второй закон термодинамики имеет **абсолютный** характер – не известно ни одного примера его нарушения. Все замкнутые системы обречены, как говорят, на тепловую смерть – на выравнивание температуры внутри системы. Поэтому если Вселенная замкнута, то ее ждет такая незавидная участь. Кроме того, мы не можем использовать огромные запасы энергии, которые находятся вокруг нас. Если бы можно было понизить температуру воды на долю градуса, то этой энергии хватило бы человечеству на много лет. Но это сделать принципиально нельзя, так же как и построить вечный двигатель.

Мировоззренческое значение таких открытий велико. Эти законы ограничивают возможности человека – **их невозможно преодолеть**. Никакой процесс не может идти вопреки, например, закону сохранения энергии или второму закону термодинамики. Тем самым природа сама ограничивает деятельность человека жесткими рамками своих законов, среди которых *закон сохранения энергии и неубывания энтропии* занимают особое место. Второй закон термодинамики не является следствием каких-либо других законов сохранения – это новое и самостоятельное правило отбора, которое не сводится к другим изначальным принципам отбора. Его действие является одной из важнейших особенностей нашего мира и имеет много разных следствий. Но необходимо помнить, что он справедлив только для замкнутых или изолированных систем. Рассмотренные принципы отбора позволили сделать вывод о невозможности создания вечного двигателя.

2.3.4. Принципы симметрии

Симметрия является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство.

Г. Вейль

Термин “**симметрия**” в переводе с греческого означает *соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей*. Античные философы считали симметрию, порядок и определенность сущностью прекрасного. “Краткий Оксфордский словарь” определяет симметрию как *красоту*, обусловленную пропорциональностью частей тела или любого целого, равновесием, подобием, гармонией, согласованностью. Однако оно не охватывает всей глубины и широты данного понятия.

С симметрией мы встречаемся везде – в природе, технике, науке, искусстве. Она существует не только в макромире, но и присуща микро- и мегамиру. Симметрия, понимаемая в самом широком смысле, противостоит хаосу, беспорядку, она наблюдается везде, где есть хоть какая-то упорядоченность. В этом смысле симметричны не только объекты природы (снежинки, листья, рыбы, насекомые, человеческое тело и т.д.), но и такие упорядоченные явления, как регулярная смена дня и ночи, времен года, круговорот воды и других веществ в природе и др. Идею симметрии можно выразить и такими словами, как *уравновешенность, гармония, совершенство*.

Для человека симметрия обладает притягательной силой. Нам нравится смотреть на проявление симметрии в природе: симметричные кристаллы, снежинки, цветы, которые почти симметричны. Архитекторы, художники, поэты и музыканты с древнейших времен знали законы симметрии. Строго симметрично строятся геометрические орнаменты; в классической архитектуре господствуют прямые линии, углы, круги, равенство колонн, окон, арок и сводов. Конечно, симметрия в искусстве не буквальная. Законы симметрии художественного произведения подразумевают не однообразие форм, а глубокую согласованность элементов.

Понятие симметрии проходит через всю многовековую историю человеческого творчества. Законы природы, управляющие бесконечным многообразием картины явлений, также подчиняются сим-

метрии. Симметрию можно обнаружить практически всюду, если знать, где и как ее искать. Все разнообразие окружающего нас мира подчинено удивительным проявлениям симметрии. Об этом очень удачно написал Дж. Ньюмен: “Симметрия устанавливает забавное и удивительное сродство между предметами, явлениями и творениями, внешне, казалось бы, ничем не связанными: земным магнетизмом, женской вуалью, поляризованным светом, естественным отбором, теорией групп, инвариантами и преобразованиями, рабочими привычками пчел в улье, строением пространства, рисунками ваз, квантовой механикой, лепестками цветов, интерференционной картиной рентгеновских лучей, делением клеток, равновесными конфигурациями кристаллов, снежинками, музыкой, теорией относительности...” (Цит. по кн.: Тарасов Л.В. Этот удивительно симметричный мир, 1982.)

Строгое математическое представление о симметрии сформировалось сравнительно недавно – в XIX в. Современный подход к симметрии предполагает неизменность объекта по отношению к каким-нибудь выполняемым над ним операциям или преобразованиям. Современное определение симметрии формулируется так: *симметричным называется объект (предмет), который можно как-то изменять, получая в результате объект, совпадающий с первоначальным.* Согласно определению, прежде всего должен существовать объект – носитель симметрии. Для разных проявлений симметрии он, конечно, разный. Это материальные предметы или свойства. У объектов должны существовать некоторые *признаки – свойства, процессы, отношения, явления, которые не изменяются при операциях симметрии.* Также должны происходить изменения этих объектов, но не какие угодно, а только такие, которые переводят его в *тождественный* самому себе. И, наконец, должно существовать свойство объекта, которое при этом не изменяется, т.е. остается *инвариантным.*

Подчеркнем, что инвариантность существует не сама по себе, не вообще, а лишь по отношению к определенным преобразованиям, а изменения (преобразования) представляют интерес постольку, поскольку что-то при этом сохраняется. Другими словами, без изменения не имеет смысла рассматривать сохранение, равно как без сохранения исчезает интерес к изменениям. Таким образом, *симметрия выражает сохранение чего-то при каких-то изменениях или сохранение чего-то несмотря на изменение.* Сим-

метрия предполагает неизменность не только самого объекта, но и каких-либо его свойств по отношению к преобразованиям, выполненным над объектом.

Неизменность тех или иных объектов может наблюдаться по отношению к разнообразным операциям – к поворотам, переносам, взаимной замене частей, отражениям и т.д. В связи с этим выделяют разные типы симметрии.

ПОВОРОТНАЯ СИММЕТРИЯ. Говорят, что объект обладает поворотной симметрией, если он совмещается сам с собой при повороте на угол $2\pi/n$, где n может равняться 2, 3, 4 и т.д. до бесконечности. Ось симметрии называется *осью n -го порядка*.

ПЕРЕНОСНАЯ (ТРАНСЛЯЦИОННАЯ) СИММЕТРИЯ. О такой симметрии говорят тогда, когда при переносе фигуры вдоль прямой на какое-то расстояние a либо расстояние, кратное этой величине, она совмещается сама с собой. Прямая, вдоль которой производится перенос, называется *осью переноса*, а расстояние a – *элементарным переносом* или *периодом*. С данным типом симметрии связано понятие периодических структур или решеток, которые могут быть и плоскими, и пространственными.

ЗЕРКАЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ. Зеркально симметричным считается объект, состоящий из двух половин, которые являются зеркальными двойниками по отношению друг к другу. Трехмерный объект преобразуется сам в себя при отражении в зеркальной плоскости, которую называют *плоскостью симметрии*.

СИММЕТРИИ ПОДОБИЯ представляют собой своеобразные аналоги предыдущих симметрий с той лишь разницей, что они связаны с одновременным уменьшением или увеличением подобных частей фигуры и расстояний между ними. Простейшим примером такой симметрии являются матрешки.

Иногда фигуры могут обладать разными типами симметрии. Например, поворотной и зеркальной симметрией обладают некоторые буквы: **Ж, Н, Ф, О, Х**.

Выше перечислены так называемые геометрические симметрии. Существует много других видов симметрий, имеющих абстрактный характер. Например, **ПЕРЕСТАНОВОЧНАЯ СИММЕТРИЯ**, которая состоит в том, что если тождественные частицы поменять местами, то никаких изменений не происходит; **НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ** – это тоже определенная симметрия.

КАЛИБРОВОЧНЫЕ СИММЕТРИИ связаны с изменением масштаба. Например, известно, что при подъеме тела на некоторую высоту затраченная энергия зависит лишь от разности начальной и конечной высоты, но не зависит от абсолютной высоты. Говорят, что существует симметрия начала отсчета высот, ее и относят к классу калибровочных симметрий. Все фундаментальные взаимодействия имеют калибровочную природу и описываются калибровочными симметриями. Этот факт отражает единство всех фундаментальных взаимодействий. Калибровочная инвариантность позволяет ответить на вопрос: “Почему и зачем в природе существует такого рода взаимодействия?” Это обусловлено тем, что требование калибровочной инвариантности порождает конкретный вид взаимодействия. Поэтому форму взаимодействия уже не постулируют, а она выводится как результат калибровочной инвариантности.

На этом принципе строится единая теория всех физических взаимодействий. Интересно заметить, что этот принцип выходит далеко за рамки физики и может стать мощным *регулятивным принципом при решении проблем социального и экономического характера*. Думается, такие принципы, как социальная справедливость, равенство, устойчивый уровень жизни населения и другие, могут быть поставлены в соответствие с некоторой симметрией.

В неживой природе симметрия прежде всего возникает в таком явлении природы, как *кристаллы*, из которых состоят практически все твердые тела. Именно она и определяет их свойства. Самый очевидный пример красоты и совершенства кристаллов – это известная всем снежинка. Все снежинки, несмотря на разнообразие их форм, обладают зеркальной и поворотной симметрией 6-го порядка. Доказано, что все кристаллы могут обладать поворотной симметрией 2, 3, 4 и 6-го порядков. Симметрия кристалла связана с наличием *кристаллической решетки* – пространственной решетки из атомов. Отсюда видно, что симметрия ограничивает возможности вариантов структур.

Физические законы и явления также подчиняются законам симметрии. Р. Фейнман писал, что “все многообразие законов физики пронизано несколькими общими принципами, которые так или иначе содержатся в каждом законе. Примерами таких принципов могут служить некоторые свойства симметрии” (Фейнман, 1987).

Существует несколько **симметрий физических законов**:

1. Физические законы неизменны, инвариантны по отношению к *переносам в пространстве*, что обусловлено *однородностью пространства*. Это значит, что при переносе какого-либо устройства из одной точки пространства в другую его свойства, особенности функционирования и результаты опытов не изменятся.

2. Физические законы *инвариантны по отношению к поворотам в пространстве*. Это называют *изотропностью пространства*. Например, на север ли, на восток ли повернута установка, результаты опыта будут одни и те же.

3. Симметрия физических законов определяется и *однородностью времени*, т.е. они *инвариантны по отношению к переносам во времени*. Таким образом, однородность пространства и времени являются свойствами симметрии.

4. *Принцип относительности законов природы* – это тоже симметрия по отношению к переходу из одной инерциальной системы отсчета в другую. Эта симметрия устанавливает равнозначность всех инерциальных систем отсчета.

5. Никакие физические явления не изменяются при *перестановке двух идеально одинаковых частиц* (например, электронов или протонов) – *перестановочная симметрия*.

6. Еще один вид симметрии физических законов – *инвариантность по отношению к зеркальному отражению*. Это значит, что две физические установки, одна из которых построена как зеркальное отображение другой, будут функционировать одинаково. Отметим, что эта симметрия при определенных взаимодействиях нарушается.

Свойства симметрии относятся к числу самых фундаментальных свойств физических систем. Однако не все законы природы инвариантны к любым преобразованиям. Например, *геометрический принцип подобия не применим к физическим законам*. Еще Г. Галилей догадался, что законы природы несимметричны относительно изменения масштаба. Р. Фейнман приводит пример с моделью собора, который сложен из спичек. Если ее увеличить до натуральных размеров, то строение разрушится под собственной тяжестью. С точки зрения современной физики отсутствие симметрии физических законов относительно преобразования подобия объясняется тем, что порядок размеров атомов имеет абсолютное, одинаковое для всей Вселенной значение. Законы классической

физики перестают работать в микромире, вместо них приходят законы квантовой механики. Это уже проявление **асимметрии**, т.е. несимметрии.

Между симметрией и законами сохранения существует глубокая связь. В начале XX в. Э. Нётер сформулировала теорему, согласно которой если свойства системы не изменяются от какого-либо преобразования над ней, то этому соответствует некоторый закон сохранения — *теорема Нётер*. Поскольку независимость свойств от преобразования означает наличие в системе симметрии относительно данного преобразования, постольку теорема Нётер может быть сформулирована как утверждение о том, что наличие в системе симметрии обуславливает существование для нее сохраняющейся физической величины. Так, например, закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства, а закон сохранения энергии – следствие однородности времени. Законы сохранения, действуя в самых различных областях и в различных конкретных ситуациях, выражают то общее для всех ситуаций, что в конечном счете связано с соответствующими принципами симметрии. Таким образом, *симметрия связана с сохранением* и выделяет в нашем изменчивом мире различные *инварианты* – некие своеобразные “опорные точки”. Можно сказать, что симметрия вносит порядок в наш мир. В окружающем нас мире “все течет, все изменяется,” он наполнен взаимодействиями и превращениями, всюду присутствует случайность и неопределенность. Но при этом *законы мира обнаруживают симметрию*: энергия сохраняется, за летом следует зима и т.п. *Симметрия выделяет общее как в объектах, так и в явлениях*, подчеркивая, что несмотря на то, что *мир многообразен*, но в то же время он и *един*, так как *в разнообразных явлениях природы присутствуют черты общности*.

В мире живой природы также проявляются все основные виды геометрических симметрий. Специфика строения растений и животных определяется особенностями среды обитания, к которой они приспособляются, особенностями их образа жизни. У любого дерева есть основание и вершина, “верх” и “низ”, выполняющие разные функции. Значимость различия верхней и нижней частей, а также направление силы тяжести определяют *вертикальную ориентацию* поворотной оси “древесного конуса” и плоскостей симметрии. Для листьев характерна зеркальная симметрия. Эта

же симметрия встречается и у цветов, однако у них зеркальная симметрия чаще выступает в сочетании с поворотной симметрией. Нередки случаи и переносной симметрии (веточки акации, рябины). Интересно, что в *цветочном мире наиболее распространена поворотная симметрия 5-го порядка, которая принципиально невозможна в периодических структурах неживой природы*. Этот факт академик Н. Белов объясняет тем, что ось 5-го порядка – своеобразный инструмент борьбы за существование, “страховка против окаменения, кристаллизации, первым шагом которой была бы их поимка решеткой” (цит. по кн.: [37]). Действительно, живой организм не имеет кристаллического строения в том смысле, что даже отдельные его органы не обладают пространственной решеткой. Однако упорядоченные структуры в ней представлены очень широко.

В мире рыб, насекомых, птиц, млекопитающих характерна *билатеральная симметрия* (билатеральный в переводе с латинского – “дважды боковой”) – так в биологии называют зеркальную симметрию. Это обусловлено тем, что в отличие от растений, которые не меняют места жительства, для животных актуально перемещение в пространстве: у них нет симметрии относительно того направления, в котором они передвигаются, т.е. задняя и передняя части животного асимметричны. Плоскость симметрии у животных, кроме вектора направления движения, определяется, как и у растений, направлением силы тяжести. Эта плоскость делит животное на две половины – правую и левую. Это же относится и к человеку.

Симметрия подобия проявляется в природе во всем, что растет. Ствол дерева имеет вытянутую коническую форму. Ветви обычно располагаются вокруг ствола по линии, похожей на винтовую, но она постепенно суживается к вершине. Это пример *симметрии подобия с винтовой осью симметрии*. Всякий живой организм повторяет себя в подобном. Природа обнаруживает *подобие как свою глобальную генетическую программу*. Подобие правит живой природой в целом. Геометрическое подобие считается общим принципом пространственной организации живых структур. Лист березы подобен другому листу березы и т.п.

Есть еще одна замечательная симметрия – **самоподобие** или **масштабная инвариантность (скейлинг)**, которая имеет самое прямое отношение к природе. При построении моделей, описывающих окружающий нас мир, мы привыкли использовать такие из-

вестные геометрические понятия, как линия, круг, сфера, квадрат, куб и другие. Но на самом деле мир устроен по более сложным законам. Оказалось, что не всегда можно ограничиться такими простыми понятиями, т.е. мир не всегда можно изучать, используя только “линейку и циркуль”. Геометрия Евклида не способна описать форму ни облаков, ни гор, ни деревьев, ни берега моря. Дело в том, что облака – это не сферы, горы – не конусы и т.д. Природа демонстрирует нам совершенно другой уровень сложности, чем мы привыкли считать. В природных структурах, как правило, число различных масштабов бесконечно.

Математики разработали математические понятия, выходящие за рамки традиционной геометрии, идеи которой, как теперь начинают понимать, позволяют все глубже постигать сущность природы. Одним из таких ярких примеров можно назвать *фрактальную геометрию*, центральным понятием которой является понятие “*фрактала*”. На русский язык это слово переводится как “*изломанный объект с дробной размерностью*”.

Существует множество различных определений фрактала. Прежде всего, математическое понятие фрактала выделяет объекты, обладающие структурами различных масштабов, отражая иерархический принцип организации. Фракталы обладают свойством *самоподобия*: их вид существенно не изменяется при рассмотрении через микроскоп с различным увеличением, т.е. фрактал выглядит практически одинаково, в каком бы масштабе его не наблюдали. Другими словами, фрактал состоит из однотипных элементов разных масштабов и, по сути, представляет собой повторяющийся при изменении масштабов узор. Малый фрагмент такого объекта подобен другому, более крупному фрагменту, или даже структуре в целом. Поэтому и говорят, что *фрактал есть структура, состоящая из частей, которые подобны целому*. Фракталы в какой-то степени отражают принцип восточной мудрости: “одно во всем, и все в одном”.

Главная особенность фракталов состоит в том, что они имеют *дробную размерность*, являющуюся следствием масштабной инвариантности. С математической точки зрения геометрические объекты, в том числе и *фракталы*, можно рассматривать как множество точек, вложенных в пространство. Например, множество точек, образующих линию в евклидовом пространстве, имеют размерность $D = 1$, а множество точек, образующих поверхность в

трехмерном пространстве, имеют размерность $D = 2$. Шар имеет размерность $D = 3$. Их характерная особенность состоит в том, что длина линии, площадь поверхности или объем пропорциональны, соответственно, линейному масштабу в первой, во второй или третьей степени, т.е. их размерность совпадает с размерностью пространства, в которое они вложены. Однако существуют объекты, для которых это не так. К таким объектам, в частности, относятся *фракталы*, размерность которых выражается дробным числом $1 < D_f < 3$, где D_f – *фрактальная размерность*. На рис. 2.1 показан один из таких типичных примеров, демонстрирующих, что *кривая может иметь размерность $D_f > 1$* , так называемая *кривая Кох*.

Она строится следующим образом. Исходный отрезок единичной длины делится на три равные части. Затем выполняются построения, показанные на рис. 2.1. В результате в первом поколении ($n = 1$) получаем ломаную кривую, состоящую из четырех звеньев длиной по $1/3$. Длина всей кривой в этом поколении составляет $L(1/3) = 4/3$. Следующее поколение ($n = 2$) получается путем той же самой операции над каждым прямолинейным звеном первого поколения. Здесь получается кривая, состоящая из $N = 4^2 = 16$ звеньев, каждое длиной $\delta = 3^{-2} = 1/9$. Вся длина равна $L(1/9) = (4/3)^2 = 16/9$. И так далее. На n -м шаге длина прямолинейного звена $\delta = 3^{-n}$. Число поколений можно представить в виде $n = -\ln \delta / \ln 3$, а длина всей ломаной $L(\delta) = (4/3)^n = \exp \ln \delta [\ln 4 - \ln 3] / \ln 3 = \delta^{1-D_f}$, $D_f = \ln 4 / \ln 3 = 1,2628$. Число сегментов $N(\delta) = 4^n = 4^{-\ln \delta / \ln 3}$ и может быть записано как $N(\delta) = \delta^{-D_f}$, где D_f – фрактальная размерность кривой Кох. Таким образом, кривая Кох есть фрактал с фрактальной размерностью $D_f = \ln 4 / \ln 3$. Подобным образом можно построить много разновидностей и других фракталов. Можно построить и такие объекты, для которых необходимо вводить не одну, а несколько размерностей. Иногда такие объекты называют *математическими фракталами*, которые, в отличие от природных или физических фракталов, обладают идеальным самоподобием. Для физических фракталов (реально существующие объекты) самоподобие или масштабная инвариантность выполняется *приблизительно* (или, как говорят, в среднем).

Примером фрактального объекта, часто встречающегося в природе, является береговая линия. На рис. 2.2 показана южная

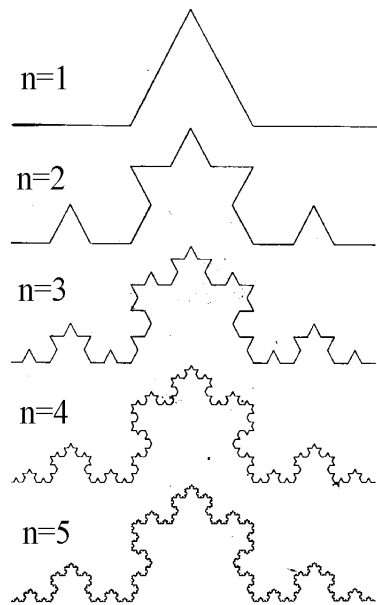


Рис. 2.1. Построение триадной кривой Кох

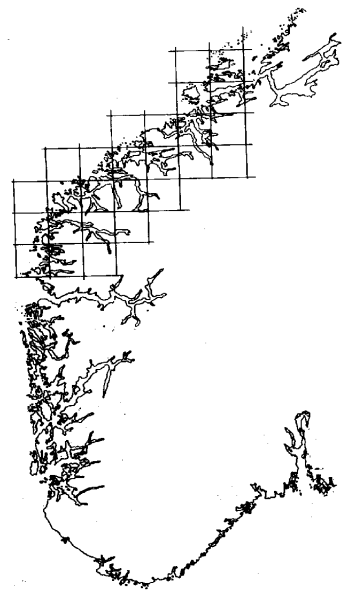


Рис. 2.2. Побережье южной части Норвегии

часть побережья Норвегии, которое имеет вид сильно изрезанной линии. Можно показать, что измерить длину такой линии, используя обычные способы евклидовой геометрии, невозможно. Но для этой цели хорошо подходит фрактальная геометрия. Оказалось, что длина береговой линии хорошо описывается формулой $L(\delta) = a\delta^{1-D_f}$, где δ – используемый для измерения масштаб (например, некоторый раствор циркуля), a – число единиц масштаба. Для побережья Норвегии это $D_f \simeq 1,52$, для береговой линии Великобритании – $D_f \simeq 1,3$. В природе фрактальные структуры встречаются часто: очертания облаков, дым, деревья, береговая линия и русла рек, трещины в материалах, бронхи легких, пористые губки, ветвящиеся подобно лишайникам структуры, поверхности порошков, артерии и реснички, покрывающие стенки кишечника, и многие другие, которые не имеют, на первый взгляд, закономерностей в своем строении. Но отсутствие порядка в них иллюзорно. Внешне они выглядят как изрезанные, “лохматые” или “дырявые” объекты, представляя собой нечто промежуточное между точками, линиями, поверхностями и телами.

Введение понятия фрактала и фрактальной геометрии позволяет выделить ранее скрытые закономерности в строении и свойствах природных объектов, имеющих неупорядоченную структуру, классифицировать и исследовать их свойства. Когда мы смотрим на фрактальный объект, то нам он представляется неупорядочен-

ным. При увеличении или уменьшении масштаба мы опять увидим то же самое. Это и есть проявление свойства симметрии – *масштабной инвариантности, или скейлинга*. Именно оно и обуславливает их необычные свойства. Благодаря самоподобию фракталы обладают удивительно притягивающей *красотой*, которой нет в других объектах. Они могут описывать многие процессы, которые до сих пор не удавалось описать, благодаря своей дробной размерности и самоподобию. Даже считается, что фрактальный мир гораздо ближе к реальному, так как свойства фракталов демонстрируют многие природные объекты. Видимо, не зря говорят, что природа любит фракталы.

Столь удивительное сходство реального мира и фрактального обусловлено, прежде всего, тем, что свойства физического мира изменяются медленно с изменением масштабов. У песка на берегу много свойств, общих со свойствами гальки. Маленький ручеек во многом похож на большую реку. Такая неизменность относительно масштаба – характерная черта фракталов. В живой природе внешний вид и внутреннее строение заданы в генотипе алгоритмически. Ветка дерева похожа на само дерево, поскольку построена по тому же алгоритму. Это относится и к кровеносной системе животных, человека, и к сложным листьям некоторых растений.

Различные фрактальные множества можно получать и с помощью простых (элементарных) преобразований, например, типа $x_{n+1} = x_n^2 + c$, где c – некоторое комплексное число, $n = 1, 2, 3, \dots$. Множество чисел, полученных по этой формуле, при определенных значениях c также обладают свойствами фракталов. Отображая их на плоскости или в трехмерном пространстве, получают удивительно красивые изображения (см., например, рис. 2.3 и рис. 2.4).

Интересно отметить, что фрактальная математика может быть использована для анализа изменений цен и заработной платы, статистики ошибок на телефонных станциях, частот слов в печатных текстах и т.д.

Подчеркнем, что симметрия в живой природе никогда не бывает абсолютной, всегда присутствует какая-то доля несимметрии. Хотя с симметрией мы встречаемся практически всюду, но при этом замечаем часто не ее, а ее нарушение. *Асимметрия* – другая сторона симметрии. Асимметрия – это несимметрия, т.е. отсутствие (нарушение) симметрии.

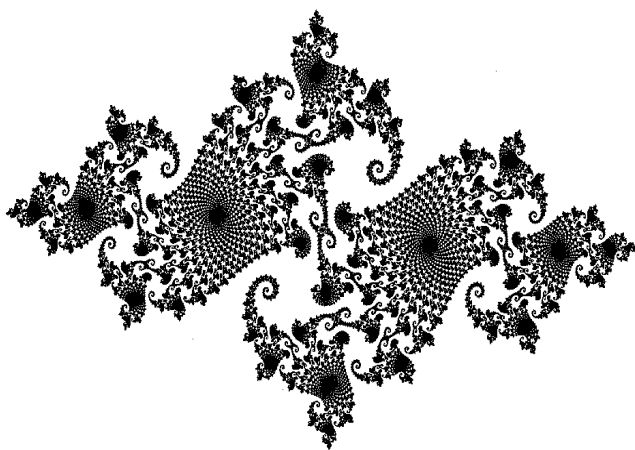


Рис. 2.3. Характерное изображение фрактального множества Жюлиа

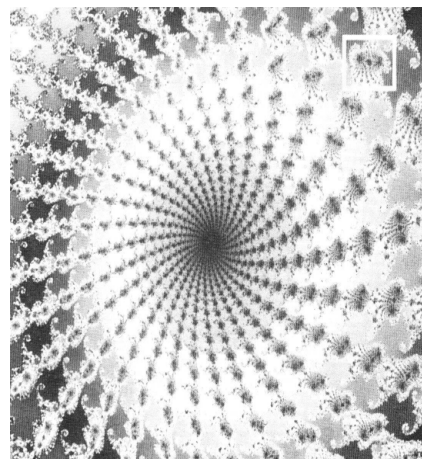


Рис. 2.4. “Глаз морского конька”

Симметрия и асимметрия – две полярные противоположности объективного мира. На разных уровнях развития материи присутствует то симметрия – относительный порядок, то асимметрия – тенденции нарушения покоя, движения, развития.

Асимметрия присутствует уже на уровне элементарных частиц и проявляется в абсолютном преобладании в нашей Вселенной частиц над античастицами. Известный физик Ф. Дайсон писал: “Открытия последних десятилетий в области физики элементарных частиц заставляют нас обратить особое внимание на концепцию нарушения симметрии. Развитие Вселенной с момента ее зарождения выглядит как непрерывная последовательность нарушений симметрии. В момент своего возникновения при грандиозном взрыве Вселенная была симметрична и однородна. По мере остывания в ней нарушается одна симметрия за другой, что создает возможности для существования все большего и большего разнообразия структур. Феномен жизни естественно вписывается в эту картину. Жизнь – это тоже нарушение симметрии” (цит. по ст.: И. Акопян // Знание – сила. 1989).

Молекулярная асимметрия открыта Л. Пастером, который первым выделил “правые” и “левые” молекулы винной кислоты: правые молекулы похожи на правый винт, а левые – на левый. Такие молекулы химики называют *стереоизомерами*. Молекулы-стереоизомеры имеют одинаковый атомный состав, одинаковые размеры, одинаковую структуру – в то же время они различимы, поскольку являются *зеркально асимметричными*, т.е. объект оказывается нетождественным со своим зеркальным двойником.

Поэтому здесь понятия “правый-левый” – условны. В настоящее время хорошо известно, что *молекулы органических веществ, составляющие основу живой материи, имеют асимметричный характер*, т.е. в состав живого вещества они входят только либо как *правые*, либо как *левые молекулы*. Таким образом, каждое вещество может входить в состав живой материи только в том случае, если оно обладает вполне определенным типом симметрии. Например, молекулы всех аминокислот в любом живом организме могут быть только левыми, сахара – только правыми. Это свойство живого вещества и его продуктов жизнедеятельности называют **дисимметрией**. Оно имеет совершенно фундаментальный характер. Хотя правые и левые молекулы неразличимы по химическим свойствам, *живая материя их не только различает, но и делает выбор*. Она отбраковывает и не использует молекулы, не обладающие нужной ей структурой. Как это происходит, пока не ясно. Молекулы противоположной симметрии для нее яд. Если бы живое существо оказалось в условиях, когда вся пища была бы составлена из молекул противоположной симметрии, не отвечающей дисимметрии этого организма, то оно погибло бы от голода. В неживом веществе правых и левых молекул поровну.

Дисимметрия – единственное свойство, благодаря которому мы можем отличить вещество биогенного происхождения от неживого вещества. Мы не можем ответить на вопрос, что такое жизнь, но имеем способ отличить живое от неживого. Таким образом, асимметрию можно рассматривать как разграничительную линию между живой и неживой природой. Для неживой материи характерно преобладание симметрии, при переходе от неживой к живой материи уже на микроуровне преобладает асимметрия. В живой природе асимметрию можно увидеть всюду. Очень удачно это подметил в романе “Жизнь и судьба” В. Гроссман: “В большом миллионе русских деревенских изб нет и не может быть двух неразлично схожих. Все живое неповторимо. Немыслимо тождество двух людей, двух кустарников шиповника... Жизнь глохнет там, где насилие стремится стереть ее своеобразие и особенности”.

Симметрия и асимметрия составляют единство, они взаимосвязаны друг с другом, как две стороны одной медали. Нельзя представить полностью симметричный мир, так же как и невозможно помыслить о мире, вообще лишенном симметрии. Симметрия лежит в основе вещей и явлений, выражая нечто общее, свойствен-

ное разным объектам, тогда как асимметрия связана с индивидуальным воплощением этого общего в конкретном объекте.

На принципе симметрии основан *метод аналогий*, предполагающий отыскание общих свойств в различных объектах. На основе аналогий создаются физические модели различных объектов и явлений. Аналогии между процессами позволяют описывать их общими уравнениями. Принципы симметрии лежат в основе теории относительности, квантовой механики, физики твердого тела, атомной и ядерной физики, физики элементарных частиц. Разработан метод решения задач из соображений симметрии.

Принципы симметрии выражают наиболее общие свойства природы, они имеют более общий характер, чем законы движения. Поэтому проверка принципов симметрии всегда интересовала физиков, а поиск новых симметрий составляет одну из задач физики вообще. Поиски новых свойств симметрии — это вместе с тем поиски и новых законов сохранения. Наши представления о симметрии устанавливаются путем обобщения опытных данных. Некоторые симметрии оказываются только приближенными. С другой стороны, обобщая опыт, мы открываем новые законы сохранения и, следовательно, новые принципы симметрии.

Существует точка зрения, согласно которой в нашем познании о мире есть три ступени: *уровень явлений или событий, законов природы и принципов симметрии*, поднимаясь на которые, мы глубже и дальше познаем природу, лучше ее понимаем. Уровень *явлений* самый элементарный. Это все, что происходит в мире: движение тел, столкновения частиц, поглощение и излучение света и много других явлений. С первого взгляда кажется, что между ними нет ничего общего. Однако при более внимательном рассмотрении мы обнаруживаем, что *между явлениями имеются определенные взаимосвязи*, которые и называют *законами*. В принципе, если бы мы располагали полной информацией обо всех явлениях и событиях в мире, то нам законы не были бы нужны. С другой стороны, если бы мы знали все законы или один всеобъемлющий закон природы, то свойства инвариантности этих законов не давали бы ничего нового. Но, к сожалению, нам не известно даже большинство законов природы. Поэтому познание свойств симметрии, как писал Е. Вигнер, “состоит в наделении структурой законов природы или установлении между ними внутренней связи, так же как законы устанавливают структуру или взаимо-

связь в мире явлений” (Вигнер, 1971). Поэтому говорят, что если *законы управляют явлениями*, то *принципы симметрии – это законы физических законов*. Таким образом, можно сказать, что *симметрия характеризует собой эпоху синтеза*, когда разрозненные знания сливаются в **единую, целостную картину**.

Выявление различных симметрий в природе, а иногда и постулирование их, стало одним из методов теоретического исследования микро-, макро- и мегамира. *Законы природы позволяют предсказывать явления, а принципы симметрии – открывать законы природы*. Например, уравнения Максвелла в электродинамике получены на основании симметрии между электрическими и магнитными явлениями. Д. Максвелл исходил из убеждения, что взаимодействия электрического и магнитного полей должны быть симметричными, и поэтому ввел в свои уравнения дополнительное слагаемое, учитывающее это обстоятельство. Уверенность в симметрии законов природы привела его к выводу о существовании электромагнитных волн. Также можно сказать, что идея А. Эйнштейна, приведшая его к созданию теории относительности, опиралась на уверенность в глубокой симметрии природы, которая должна одновременно охватывать механические, электромагнитные и все другие явления.

О. Мороз в книге “В поисках гармонии” писал, что физики гонятся за симметрией подобно тому, как путники преследуют в пустыне ускользящий мираж. Вот возникла на горизонте прекрасная манящая картина, но как только вы попытаетесь к ней приблизиться, она исчезает, оставляя чувство горечи.

2.3.5. Принципы оптимальности

Эти принципы также называют **экстремальными** или **вариационными**. Считается, что лучшей является та теория, в которой используется как можно меньше исходных положений, а объясняется и предсказывается как можно больше новых фактов. Развитие естественных наук показало, что естественную науку, имеющую дело с явлениями природы, не удастся построить как замкнутую систему, т.е. раз и навсегда перечислить все ее исходные положения. Теория должна оставаться открытой, для того чтобы иметь возможность включать новые факты и распространяться на новые области реальности. В то же время положения теории неравноправны: среди них есть некоторое так называемое

”динамическое ядро”, задающее силы и тенденции движения, и набор условий, в которых действуют эти силы. Такой набор условий характеризует конкретную систему и может меняться или расширяться. Как показывает история науки, ядро теории может быть сведено к единственному принципу. Например, все факты классической механики можно свести к *принципу наименьшего действия*. Суть этого подхода состоит в следующем. Для описания состояния любой системы вводится так называемая функция Лагранжа $L(q, t)$, зависящая от координат и скоростей. Если известно, что в моменты времени t_1 и t_2 система имеет определенные координаты, то среди возможных движений между этими положениями реальным будет такое, вдоль которого *действие*, определяемое как $S = \int_{t_1}^{t_2} L(q_1, q_2, t) dt$, будет иметь минимум.

В геометрической оптике законы распространения, отражения и преломления света сведены к *принципу скорейшего пути Ферма*: свет распространяется по такому пути, что время его прохождения минимально.

Такое направление развития характерно для систем самой различной природы: технических, биологических, социальных и др. Всем экстремальным принципам присущи лаконизм и простота, и в то же время они имеют общий, универсальный характер. Например, зная принцип Ферма, можно рассчитать любую оптическую систему, не нуждаясь в каких-либо других законах геометрической оптики. Содержанием всякого экстремального принципа является утверждение о минимуме или максимуме некоторой физической величины. Например, расчет траектории рассматривается как отыскание истинного пути среди множества возможных. Основная проблема состоит в том, чтобы найти оптимизируемую величину, выяснить ее конструкцию.

Формальные понятия и представления, выросшие на почве классической механики, вышли далеко за ее пределы. Понятие ”действие”, введенное Гамильтоном, сейчас распространяется на социальные системы, экономические и т.п.

Среди экстремальных принципов важное место занимает **принцип минимума диссипации энергии**. В мировом процессе развития этот принцип играет особую роль. Его суть коротко можно сформулировать так: *если допустимо не одно состояние системы, а целая совокупность состояний, согласных с правилами отбора, то реализуется то состояние, которому соответ-*

ствует минимальное рассеивание (диссипация) энергии или, что то же самое, минимальный рост энтропии. Так как убывание энтропии возможно только за счет поглощения внешней энергии, то реализуются те из возможных форм организации материи, которые способны в максимальной степени поглощать энергию.

Область применения этого принципа постоянно расширяется. На протяжении всей истории человечества стремление овладеть источниками энергии и вещества было одним из важнейших стимулов развития и устремлений человеческих интересов. И поэтому всегда было источником разнообразных конфликтов. По мере истощения природных ресурсов возникает тенденция к экономному расходованию этих ресурсов, появлению безотходных технологий.

Если говорить об иерархии принципов отбора, то принцип минимума диссипации энергии как бы играет роль завершающего принципа: когда другие принципы не выделяют единственного устойчивого состояния, этот принцип служит дополнительным принципом отбора. Поэтому его рассматривают в качестве универсального принципа.

2.3.6. Принцип соответствия

Планк установил, что классическая теория хорошо работает в случаях, когда постоянной Планка h можно пренебречь. Это указало на взаимосвязь квантовой теории с классической. В дальнейшем Бор сформулировал принцип, получивший название *принципа соответствия*: для больших квантовых чисел частота излучения, испускаемого атомом при переходе из одного состояния в другое, асимптотически совпадает с одной из частот, ожидаемых по классической теории. Другими словами, в пределе при h , стремящейся к нулю, *результаты квантовой теории должны переходить в предсказания классической теории.* Этот принцип сыграл важную роль в развитии и становлении квантовой физики. Согласно данному принципу квантовая механика содержит в себе классическую как предельный случай. Принцип соответствия является в квантовой физике неотъемлемой частью теории.

Принцип соответствия служит *методологическим принципом* и не ограничивается рамками физики. С этой точки зрения необходимо рассматривать весь процесс развития не только физики, но и естествознания в целом. Действительно, теория относительности возникла как обобщение классической механики, поэтому

последняя выступает как частный случай релятивистской механики. Волновая оптика представляет обобщение геометрической оптики, а последняя есть частный случай волновой оптики, и т.д.

Во всем этом проявляется общая закономерность развития физики, которую можно сформулировать так: *теории, справедливость которых экспериментально установлена для той или иной области физических явлений, с возникновением новых более общих теорий не устраняются как нечто ложное, но сохраняют свое значение для прежней области и становятся частным случаем новых теорий.* Принцип соответствия считается одним из важнейшим достижением всего естествознания в XX в. Благодаря ему история физической науки предстает перед нами не как хаотическая смена различных теорий, не как череда их крушений, а как закономерный и последовательный процесс развития познания, идущего ко все более широким обобщениям, как познавательный прогресс, каждая ступень которого имеет объективную ценность.

Философское значение принципа соответствия в том, что он показывает, как реализуется тезис диалектического материализма в естествознании о том, что абсолютная истина складывается из бесконечной последовательности относительных истин. Принцип соответствия утверждает, что:

1) каждая физическая теория – относительная истина, содержащая элемент абсолютной истины; она соответствует определенному этапу в процессе познания;

2) смена физических теорий – это не череда катастроф, а естественный процесс развития физики, постепенное проникновение в сущность вещей и явлений;

3) сколь бы "безумными" и противоречивыми не казались новые теории, они всегда образуют единое целое.

Итак, *развитие физики – это не механическая замена старых теорий новыми, а процесс их последовательного обобщения, когда новое отрицает старое, но не просто отрицает, а с удержанием всего того положительного, что было накоплено в старом.* По-видимому, это применимо к любому развитию, о чем желательно никогда не забывать.

2.3.7. Редукционизм

Редукционизм (редукция) – стремление свести объяснение сложного через более простое, непонятное (неизвестное) через известное. В основе редукционизма лежит представление о том, что, зная свойства отдельных элементов, составляющих систему и особенности их взаимодействия, можно вывести все свойства этой системы. Другими словами, свойства системы являются следствием свойств элементов системы и их взаимодействий. Таким образом, суть редукции как метода познания и объяснения явлений и материальных образований более сложного уровня можно представить как результат закономерного усложнения более простых явлений и материальных образований. Такой взгляд особенно распространен в физике, поэтому его иногда называют *физическим редукционизмом*.

Редукционизм – это своеобразный метод (образ) мышления, который пронизывает все науки, хотя и в разной степени. Часто он служит мощным средством исследования и позволяет изучать явления самой разной природы. Как способ мышления, редукционизм возник, по-видимому, в процессе эволюции, и прививается человеку в процессе обучения как объяснение “на пальцах”. Под редукционизмом также понимают и попытки заменить исследование реального объекта его упрощенной моделью или наглядной интерпретацией. Такой подход породил метод анализа, позволяющий связывать логическими переходами различные этажи моделей, построенных физикой.

В рамках редукционизма решено множество важнейших проблем естествознания. Впервые он был реализован в небесной механике, где взаимодействия особенно просты – это силы гравитации и законы Ньютона. Особенно ярким предсказанием явилось предсказание существования планеты Нептун. Идеи редукционизма оказались плодотворными не только в физике и механике, но и в биологии и других областях естествознания. Считается, что редукционизм был необходимым и неизбежным этапом развития естествознания.

История физики, по сути дела, состоит из демонстрации метода редукции, а именно синтезирования на основе множества явлений одной или несколько теорий. С давних пор были известны тепловые, звуковые и световые явления, механические движения и гравитация, которые когда-то считались совершенно различными.

После того как И. Ньютон объяснил законы движения, оказалось, что некоторые из перечисленных явлений, на первый взгляд не связанных между собой, – просто разные стороны одного и того же явления. Например, звуковые явления (звук) – это движение атомов воздуха. Поэтому их перестали считать чем-то самостоятельным, отдельным от движения. Теплота также объясняется законами механического движения. В результате большие разделы физики слились в одну более простую теорию. Но гравитацию до сих пор не удается объяснить простыми законами движения, и она до сих пор стоит обособленно от всех остальных теорий.

За синтезом явлений движения, тепла и звука были открыты электрические и магнитные явления. В 1873 г. Д. Максвелл объединил их со световыми и оптическими явлениями, создав единую теорию, в которой свет рассматривался как электромагнитная волна. В начале XX в. была создана электронная теория вещества, которая объяснила, что такое вещество. Развитие этой теории привело к пониманию того, что электроны движутся вокруг ядра. Однако попытки объяснить это на основе законов механики оказались неудачными. Разработка новой теории или *новой системы взглядов*, способной заменить законы Ньютона, заняла определенное время. При этом пришлось расстаться со здравым смыслом, так как все, что происходит на атомном уровне, выглядит очень странно. В 1926 г. была разработана, как тогда считалось, “бредовая” теория, которая объясняла поведение электронов в веществе – квантовая механика. Слово “квантовая” относится к той странной особенности природы, которая противоречит здравому смыслу. Но, тем не менее, она позволила объяснить всю химию и различные свойства вещества.

Несмотря на столь значительные достижения и успехи, в настоящее время пришло понимание, что **редукционизм как метод мышления не является универсальным**. Поэтому не следует думать, что любые сложные явления или системы можно изучать с помощью расчленения на части и исследования их отдельных составляющих. Особенно ярко это стало видно в биологии при изучении феномена жизни. Именно здесь физический редукционизм как концепция наталкивается на трудности принципиального характера при попытках интерпретации явлений жизни в понятиях физики и химии. Хорошо известно, что биология имеет дело с объектами иерархической организации. Иерархичность организа-

ции живой материи предполагает, что на каждом более высоком уровне организации появляются свойства, которые отсутствуют на предыдущих уровнях. Эти свойства рассматриваются отдельными биологическими науками и описываются соответствующими теоретическими представлениями.

В биологии даже существует принцип **качественной несводимости** или *биологический антиредукционизм* в противовес физическому редукционизму. Его суть состоит в утверждении, что *законы и принципы, управляющие живой материей, качественно не сводимы к физическим и химическим взаимодействиям.*

Конструктивный смысл этого принципа состоит в осознании того факта, что физико-математические модели не могут быть адекватными биологическому прообразу, если в этих моделях не содержатся качественные элементы функциональной организации живых систем. Он утверждает, что никакие теоретико-физические или математические ухищрения не способны преодолеть барьер качественной несводимости, и только *эвристика*, основанная на глубоком знании биологии, может стать ключом к решению проблем, которые являются подлинно биофизическими. Принцип качественной несводимости означает существование предела, после которого физические представления перестают быть самостоятельным средством познания. Дальше этого предела определяющим фактором становятся некоторые биологические истины, без которых уже не обойтись.

2.3.8. Парадоксы как движущая сила науки

Истина часто проявляет себя в форме парадокса.

Парадокс – это то, что противоречит общепринятому, казалось бы, очевидному представлению. Парадоксы не только важны для построения новых теорий или глобальных задач; умение отыскать и сформулировать парадокс – важный познавательный прием и в повседневной научной работе. Разрешение парадокса вызывает дальнейшее движение науки вперед; убедительно обоснованные парадоксы много раз приводили к научным революциям.

Сила тяготения и сила инерции одинаково зависят от массы, предметы в свободно падающей камере находятся в состоянии невесомости – сила тяжести компенсируется силой инерции. Все это было известно много лет и ничего в этом не было странного.

Для Эйнштейна это было парадоксом, и отсюда родилась общая теория относительности. По сути дела, все великие открытия были разрешением тех или иных парадоксов.

2.3.9. Красота науки

*Нет ничего практичней
хорошей теории.*

Физический фольклор

Красота – понятие очень абстрактное, о нем до сих пор спорят и философы, и эстетики, но нет сомнений, что именно она служит источником вдохновения ученых. *Красота* – совокупность качеств, которые доставляют наслаждение взору, слуху; все красивое, прекрасное, что необходимым образом нравится всем (или почти всем). Истинное всегда прекрасно, но и прекрасное часто оказывается истинным. А. Пуанкаре писал: "Полезные комбинации – самые красивые. Специальное эстетическое чувство – ощущение красоты – играет роль решета... Тот, кто не владеет им, никогда не будет истинным творцом". (Цит. по: [32].)

В свое время гелиоцентрическая система Коперника сменила сложную геоцентрическую систему Птолемея, хотя последняя и позволяла рассчитывать положения планет на небе. Согласно теории относительности во Вселенной не существует выделенной системы координат и с этой точки зрения обе системы равноправны, первая принимает за систему отсчета Солнце, а вторая – Землю. Но в конце концов все решила красота – красота системы Коперника. Простота описания движения планет в гелиоцентрической системе так облегчает работу интуиции, что превращается в качественно новое явление, дает дорогу развитию теории. Открытие законов Кеплера, небесная механика Ньютона – все это следствия открытой Коперником гармонии и красоты мира. Не зря А. Пуанкаре говорил, что универсальная гармония мира есть источник всякой красоты.

Наука, в том числе и физика, ищет *скрытую внутреннюю красоту мироздания*, но красота самой физической теории часто настолько убедительна, что заставляет физиков ставить сложнейшие эксперименты, чтобы подтвердить или опровергнуть сделанные предположения. Когда ученый находит изящное построение, оно почти всегда или решает задачу, или пригодится в будущем для других задач. Таким образом, поиски красоты ведут нас к

познанию природы. Природа красива. Мы не знаем почему, но этому нас учит опыт, который показывает, что *красота влечет за собой полезность*. Эффективные теории всегда красивы. Но красивы они не потому, что эффективны, а потому что наделены внутренней симметрией и экономичны с точки зрения математики. Красота в физике – представление, включающее в себя профессиональную интуицию, и суть ее наилучшим образом выражается на языке математики. Для тех, кто владеет этим языком, красота теории столь же очевидна, как и красота природы. Ведь недаром понятие красоты встречается в научной лексике, когда говорят о красивых уравнениях или красивом техническом решении.

Красота в науке возникает при сочетании трех условий: правильности решения, его неожиданности и экономичности за счет открытия общего принципа, позволяющего преодолеть исходную сложность изучаемого объекта или явления. В. Гейзенберг писал, что "проблеск прекрасного в точном естествознании позволяет распознать великую взаимосвязь еще до ее детального понимания, до того, как она может быть рационально доказана." (Гейзенберг, 1987.) Вопросы красоты творений в науке играют немалую роль. Даже считается, что *только красивая теория может быть истинной*. Другими словами, красота начинает выступать в качестве одного из критериев правильности решения задачи или завершенности технической идеи. История науки и техники подтверждает, что красиво все, что совершенно. Однако строгих критериев красоты не существует, она, в первую очередь, связана с интуицией. Даже при решении логических задач важную роль играет внелогическая компонента – критерий красоты. Тем не менее применительно к теоретической физике можно определить несколько признаков, описывающих структуру понятия красоты теории.

1. *Простота*. Математический аппарат может быть сколь угодно сложным, но теория считается простой, если в ней заложено очень малое количество исходных положений, аксиом и постулатов, взятых из опыта, а из них вытекает большое число разнообразных выводов, следствий и эффектов. Все фундаментальные уравнения имеют чрезвычайно простую математическую форму, что позволяет говорить о них как о красивых уравнениях. История науки показывает, что из двух конкурирующих научных теорий, как правило, побеждает более простая. Выше мы уже говорили, что видимое движение планет может быть объяснено как в геоцен-

трической системе Птолемея, так и в гелиоцентрической системе Коперника. Но если в первом случае приходилось использовать достаточно сложные математические расчеты, то другая свелась к простым уравнениям Кеплера. Д.Максвелл ввел в рассмотрение понятие *электромагнитного поля* и получил простые уравнения, которые лежат в основе всей классической электродинамики. Иногда говорят, что простота – печать истины. В некоторых случаях, когда дальнейший путь не ясен, именно математическая красота и изящество ведут ученых к истине. Физик интуитивно чувствует, что природа предпочитает красивые решения некрасивым.

2. *Адекватность математического аппарата.* Математический аппарат должен соответствовать данной физической теории, подходить для ее формулировки (векторный анализ в электродинамике, тензорный анализ в теории тяготения и т.д.). А. Эйнштейн говорил, что если бы не было тензорного анализа, он может быть не создал общую теорию относительности.

3. *Четкость и ясность обозначений и терминологии.* Например, в физике высоких энергий существуют такие понятия, как странность, цвет, очарование и другие, которые имеют не только качественный смысл, но и количественное выражение: странность частицы равна 0 или ± 1 . Конечно, все эти термины не имеют буквального смысла, они абстрактны, но все же в какой-то мере отдаленно с ними связаны. Можно просто эти свойства пронумеровать, но это было бы скучным, а физический мир – мир эмоциональный. Термин "странность" возник тогда, когда были обнаружены частицы со свойствами, которые не укладывались в существующие представления и потому казались странными. Выбор удобных компактных обозначений часто помогает работе, способствует обобщению, связан с возникновением и становлением абстрактных понятий. История науки показывает, что введение эффективных и простых обозначений влечет за собой далеко идущие последствия. В научной работе обозначения нередко заменяют наглядные представления о физическом объекте. Так, когда физик думает об электромагнитном поле, в его представлении возникают обозначения векторов напряженности поля. Во многих вопросах физики и математики обозначения часто непосредственно связаны и с сутью дела, и с глубиной обобщения, и с абстрактностью используемых понятий.

4. *Симметрия*. Она играет огромную роль в природе и в эстетичности нашего восприятия мира. В природе симметрия почти никогда не бывает абсолютной, она, как правило, несколько нарушается.

5. *Привычка*. Если человек сталкивается с чем-то совершенно непривычным, то вряд ли это сразу ему покажется красивым. Чтобы почувствовать красоту явления, необходимо его глубокое понимание, нужно как бы привыкнуть к нему.

История науки связывает естественно-научные и технические знания с гуманитарными и отражает место науки в общей культуре. С одной стороны, в настоящее время язык и понятия науки стали широко проникать в социальную и общественную жизнь. С другой стороны, гуманитарные знания также оказывают определенное влияние на формирование современных физических представлений. Нередко гуманитарные представления служат неким интуитивным толчком, который приводит к рождению иного видения мира. Поэтому эстетические вкусы создателей физической картины мира проявлялись на протяжении всей истории науки. Выдающийся математик Г. Вейль говорил: “В своей работе всегда пытался объединить истину с красотой, а когда мне приходилось выбирать между ними, я обычно выбирал красоту” (Вейль, 1969). В подобных высказываниях содержится глубокая вера в единство науки и искусства.

Физическая теория подобна костюму, сшитому для природы. Хорошая теория подобна хорошо сшитому костюму, а плохая – тришкину кафтану.

Я. Френкель

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

абстрагирование, анализ, аналогия, асимметрия, вероятность, возможность, гипотеза, дедукция, дисимметрия, идеализация, индукция, метод, моделирование, научный метод, необходимость, обобщение, парадокс, понятие, принцип, причина, принцип причинности, редукционизм, симметрия, синтез, следствие, случайность, стохастичность, теория, фрактал, хаос.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте особенности научного познания.
2. В чем состоит сущность научного метода? Почему он имеет ограничения?

3. Какие уровни познания существуют? Дайте краткую характеристику.
4. Объясните, как строятся понятия.
5. В чем сущность принципа “бритва Оккама”?
6. В чем состоит принцип причинности, детерминизма? Что они отражают?
7. В чем сущность принципа наблюдаемости?
8. В чем сущность принципов отбора и какую роль они играют в науке? Приведите примеры.
9. Перечислите и поясните виды симметрий и их проявление в неживой и живой природе. Какова их роль в естествознании?
10. Приведите примеры симметрии физических законов.
11. Какую роль в природе играет асимметрия?
12. В чем сущность принципа соответствия и какова его роль в науке?
13. Сформулируйте сущность редукционизма и антиредукционизма.
14. Что такое парадокс и какова его роль в науке? Приведите примеры парадоксов.
15. Что понимают под красотой науки?

Литература: [21, 22, 23, 27, 28, 32, 34, 36, 37, 39, 55].

Дополнительная литература: [1, 2, 3, 7, 8].

3. ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Универсальность законов природы. Фундаментальность вероятностных закономерностей. Математическая гармония природы. Язык и реальность в современной физике.

3.1. Универсальность законов природы

Окружающий нас мир многообразен и изменчив. Каждый предмет обладает только ему присущими чертами и не тождествен другому подобному предмету. Невозможно найти два совершенно одинаковых предмета. Все явления природы неповторимы, не похожи одно на другое. Но их неповторимость не мешает исследователям выделять при изучении природы наиболее *существенные характеристики предметов и явлений и находить повторяющиеся,*

*устойчивые связи между ними, т.е. устанавливать **законы природы**. Естественные законы описывают неизменные регулярности, существующие в природе, которые считаются общими для какого-нибудь класса явлений и отражают необходимость их возникновения при определенных, точно сформулированных условиях. С одной стороны, эти законы объективны и описывают связь реальных процессов и явлений природы между собой, а с другой – они представляют собой отражение объективных закономерностей природы в нашем сознании. По выражению А. Пуанкаре, “закон природы есть наилучшее выражение гармонии мира”. Естествознание изучает мир с целью познания законов его функционирования, отражающих периодически повторяющиеся факты действительности.*

*Фундаментальные физические законы – это наиболее полное на сегодняшний день, но приближенное отражение объективных законов в природе. При этом важно понимать их статус, так как реальные природные объекты, строго говоря, не являются объектами изучения физики. Физика изучает всего лишь некоторые модели реальных объектов, явлений и процессов, отражающих лишь ту **часть** их свойств, которая доступна измерению (регистрации) с помощью различных приборов, и описывает их в своих терминах и понятиях. Вообще говоря, такое разграничение справедливо для любой науки. Наука имеет дело не с реальными природными объектами, а исследует довольно абстрактные модели, которые отражают лишь часть свойств и параметров реальных объектов. Законы и теории, полученные при изучении моделей, принимаются в качестве законов природы. По-видимому, правильнее называть их законами науки. Поэтому важно не забывать границы модельных представлений, четко знать их, не терять интереса к получению новых знаний о явлениях и причинно-следственных связях.*

У законов природы есть одно удивительное свойство – они могут быть сформулированы различными способами, другими словами существуют различные способы описания природы. Многообразие возможных схем толкования природы – одна из поразительных ее особенностей. Никто не может объяснить, почему правильные законы физики допускают большое количество различных формулировок, но тем не менее это действительно так. Рассмотрим это на примере закона всемирного тяготения, который

может быть сформулирован в различных, но совершенно эквивалентных формах.

Первая формулировка называется *ньютоновской*, так как она основана на представлении закона всемирного тяготения, данном самим И. Ньютоном: сила взаимодействия между двумя телами F определяется уравнением $F = Gmm'/r^2$, где m и m' – массы взаимодействующих тел, r – расстояние между ними, G – гравитационная постоянная. Здесь утверждается, что сила притяжения между телами зависит от чего-то, находящегося на конечном расстоянии, т.е. она обладает свойством *нелокальности* – действует на расстоянии. Часто это называют *принципом дальнего действия*.

Другой способ основан на понятии **поля**. Согласно данному подходу всякое тело в пространстве вокруг себя создает *гравитационное поле*, с которым взаимодействуют другие тела. Его величина в каждой точке пространства разная – она зависит от расстояния от тела до данной точки. При таком подходе формулу для силы тяготения можно переписать в виде $F = mE$, где $E = Gm'/r^2$ – напряженность гравитационного поля, создаваемого телом массой m . Формально (математически) это можно представить так: каждой точке пространства можно приписать число, которое при переходе из одного места в другое меняется. Если в какую-то точку пространства поместить другой предмет, то на него будет действовать сила, пропорциональная этому числу. Можно сформулировать и правило, с помощью которого определяется направление данной силы. Такая формулировка *локальна и во времени, и в пространстве*, потому что здесь речь идет о соседних точках. Ее так и называют *локально-полевой*.

Возможна и третья формулировка, основанная на *принципе минимума действия* (см. принципы оптимальности), суть которой состоит в следующем. Предположим, что имеется несколько частиц и мы хотим знать, как одна из них перемещается из одного места в другое. Вообразим все возможные пути перехода из одного места в другое за определенный промежуток времени, например, из точки X в Y . Чтобы узнать, какой из них будет истинным, подсчитывают величину, называемую *действием*, которое строится по определенным правилам (в некоторых случаях это просто разность между кинетической и потенциальной энергией). Оказывается, *истинным путем будем тот, для которого действие минимально*. Р. Фейнман замечает, что здесь уже не надо ду-

мать о причинности, о том, что частица чувствует притяжение и движется в согласии с ним. Все выглядит так, как будто частица "обнюхивает" разом все пути и выбирает тот, у которого действие минимально. Используя такой подход, можно показать, что в гравитационном поле Солнца планеты движутся по эллипсу, а также вывести все остальные законы небесной механики.

Несмотря на различия, все три формулировки – ньютоновская, локально-полевая и принцип минимума – приводят к совершенно одинаковым следствиям, т.е. математически они эквивалентны, и нельзя сказать, какая же из них правильнее. Они все правильные, равнозначные. Но психологически они различны. Во-первых, они могут нравиться или не нравиться в философском плане. Во-вторых, психологическое различие между ними становится важным, когда ищут новые законы. Различные формулировки могут служить отправными точками к пониманию того, что произойдет при других обстоятельствах. Их психологическое различие толкает на разные догадки относительно того, как может выглядеть закон в более общем случае. Оказалось, что ньютоновская формулировка закона всемирного тяготения, а также законов механики неудобна и очень громоздка для применения в квантовой физике.

Таким образом, в физике, исходя из разных точек зрения, можно прийти к одним и тем же выводам. В настоящее время представляется, что законы физики должны иметь *локальный характер* и в то же время сочетаться с *принципом минимума*, но точно это неизвестно (это пока гипотеза).

Современная наука позволяет сделать вывод, что вся материя во Вселенной, по крайней мере в ее видимой части, одинакова. Материя, из которой состоят звезды, точно такая же, как и материя, из которой сделана Земля. Характер света, испускаемого звездами, позволил установить, что они состоят из тех же атомов, что и на Земле. Природа, как неживая, так и живая, образованы из атомов одинакового типа, поэтому атомы считаются повсюду однотипными. Атомы имеют одинаковую структуру – они состоят из ядер, окруженных электронами. Известен набор частиц, из которых состоит мир – это *электроны, фотоны, нейтроны, протоны, нейтрино* и *гравитоны* плюс соответствующие *античастицы*. Электроны составляют внешнюю оболочку атомов, ядро состоит из протонов и нейтронов. Согласно квантовой теории свет состоит из фотонов, а гравитационное поле – из гравитонов, квантов гравитационного поля. Трудноуловимая частица нейтри-

но рождается, например, в процессе β -распада. С помощью перечисленных частиц можно объяснить практически все явления, которые протекают при низких энергиях в любой части Вселенной. Именно поэтому **законы природы считаются универсальными** – они применимы ко всему миру, доступному нашему наблюдению. Более того, если какой-то закон верен, то с его помощью можно отрывать другие законы. Все это подтверждается многочисленными исследованиями. *Универсальность физических законов подтверждает единство природы и Вселенной в целом.*

Многие ученые считают, что для понимания явлений живой природы не нужно открывать новых законов физики. Также утверждается, что среди известных на сегодня явлений нет такого, которое нельзя объяснить подобным образом. Но так было не всегда. Например, для явления сверхпроводимости, когда металл при очень низкой температуре проводит электричество, не оказывая ему сопротивления, долгое время было не очевидно, что оно есть следствие уже известных законов. Но, как известно, сверхпроводимость удалось объяснить на основе уже имеющихся знаний – на основе квантовой механики.

Конечно, и сейчас есть некоторые явления, такие как *телепатия, телекинез, астрология, гипноз* и др., которые не удается объяснить на основе существующих физических законов и принципов. Однако многие ученые считают, что пока нельзя достоверно гарантировать существование этих явлений. Если бы их удалось подтвердить экспериментально, это означало бы, что наша физика неполна, поэтому физики, вообще говоря, заинтересованы в том, чтобы выяснить возможности такого восприятия. Сейчас многие опыты показывают, что такого восприятия нет.

Однако относительно гипноза считается, что его можно объяснить обычными, но пока еще неизвестными физиологическими процессами и для этого не понадобится вводить какой-либо новый тип взаимодействия. Таким образом, теория всего, что происходит вне ядра атома, выглядит довольно точной и полной и позволяет рассчитывать все с точностью, с какой мы можем проводить измерения.

3.2. Фундаментальность вероятностных закономерностей

Наука рассматривает два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономер-

ностей – **динамические** и **статистические (вероятностные, случайные, стохастические)**. *Динамический закон* – это закон, который управляет поведением индивидуального объекта и позволяет установить однозначную связь его состояний; *статистический закон* управляет поведением больших совокупностей и приводит к неоднозначным предсказаниям. Первые позволяют делать предсказания *абсолютно точные* и *однозначные*, а вторые – *вероятностные*, недостоверные, неточные. Говорят, что динамический закон описывает возможность, которая с необходимостью (т.е. обязательно) должна реализоваться. Статистический закон определяет широкий диапазон возможностей для отдельного элемента, взятого из большой совокупности. Каждый отдельный элемент может реализовать какую-либо одну возможность. Статистический закон не является однозначным, он приписывает всего лишь определенную вероятность каждому из возможных видов случайного поведения.

Возникает вопрос о соотношении между динамическими и статистическими закономерностями, а именно – какие из них являются первичными, фундаментальными. Первоначально данный вопрос решался в пользу динамических закономерностей. Считалось, что *статистические законы обусловлены неполнотой наших знаний* и к вероятностному описанию приходится прибегать, когда неизвестны детали картины, когда трудно или нельзя точно учесть все данные, все взаимодействия. Эту концепцию так и называют *концепцией неполноты знаний*. Фактически она предполагает, что за статистическими законами скрываются динамические, поскольку в основе всего лежат динамические законы, которые и выражают объективные причинно-следственные связи. Только в одних случаях мы используем динамические законы, а в других не можем этого сделать, и вот тогда на сцену выходят вероятностные законы.

Долгое время считалось, что вероятностные законы описывают большие коллективы, например, поведение газа, состоящего из большого числа молекул. Однако квантовая механика показала, что *вероятностное поведение* присуще и отдельным *микрообъектам*, а не только большому коллективу. Это привело к пересмотру роли статистических законов. В рамках концепции неполноты знаний причинность связывается только с динамическими закономерностями. Случайность же рассматривается только в субъек-

тивном плане как неполнота наших знаний. Поэтому случайность отождествлялась с отсутствием причинности. С такой точки зрения *вероятностное поведение микрообъектов рассматривалось как нарушение принципа причинности в квантовой механике – индетерминизм.*

Концепция неполноты знаний оказалась очень распространенной и живучей. Это обусловлено такими факторами: 1) динамические теории возникли раньше статистических. Последние, в свою очередь, основывались на динамических законах; 2) представлялось, что динамические теории больше соответствуют духу "точных наук" (привычка так мыслить); 3) для понимания роли статистических закономерностей требуется владение диалектикой. Именно метафизическое понимание таких категорий, как необходимое и случайное, возможное и действительное, является причиной живучести данного подхода. Представления детерминизма, по-видимому, лежат в основах человеческого мышления, они присущи самой биологической природе человека, стремящегося предвидеть результаты своей деятельности и выбирать наиболее эффективные. Даже считалось, что законы естествознания – это только детерминированные утверждения, согласно которым запущенный однажды механизм делает затем все остальное, все то, что происходит или должно произойти вполне однозначным и предсказуемым образом.

В свое время была выдвинута *концепция равноправия*, которая исходила из того, что динамические и статистические закономерности в определенном смысле равноправны, т.е. они играют одинаково важную роль, но в разных областях: законы поведения индивидуальных частиц динамические, а больших коллективов – статистические. При этом возможен переход от динамических законов к статистическим. Но подобный подход также противоречит выводам квантовой механики.

Современная наука считает, что не только *динамические*, но и *статистические законы выражают объективные причинно-следственные связи*. Более того, именно **статистические закономерности являются более фундаментальными**, так как они глубже и полнее выражают эти связи. Статистические закономерности приводят к тому, что будущее определяется настоящим *неоднозначно*, а лишь с некоторой *вероятностью*, но они не исключают *причинных связей*, а, наоборот, приводят к более глу-

бокому и широкому представлению о них. Современную концепцию формулируют так: *динамические законы представляют собой первый, низший этап познания окружающего мира; статистические законы более совершенно отображают объективные связи в природе, они являются следующим, более высоким этапом познания.* Таким образом, вероятностное описание мира не показатель нашего незнания или невежества и не следствие вмешательства человека в объективный ход развития природы.

Все фундаментальные физические теории можно разделить на две группы – *динамические* и *статистические*. В динамических теориях величины подчиняются однозначным закономерностям; статистические теории основаны на вероятностных законах. К динамическим теориям относятся: классическая механика, механика сплошных сред, феноменологическая термодинамика, классическая электродинамика, специальная и общая теория относительности. Статистические теории: статистическая механика, микроскопическая электродинамика, все квантовые теории. *Фундаментальные физические теории представляют собой совокупность наиболее существенных знаний о физических закономерностях неживой природы. Эти знания не являются исчерпывающими, но на сегодняшний день они наиболее полно отражают физические процессы в природе.*

Основу любой физической теории составляют три элемента: *совокупность физических величин*, с помощью которых описываются объекты или явления данной теории (например, в механике Ньютона это координаты, импульс, энергия, сила); понятие *состояния* и *уравнения движения*, которые описывают эволюцию состояния рассматриваемой системы. Принцип детерминизма особенно просто выглядит в классической механике, которая учит, что по начальным данным можно полностью описать *движение* (поведение или, как говорят физики, *состояние*) механической системы в любом сколь угодно далеком будущем (и даже проследить прошлое). Здесь детерминизм господствует самым безраздельным образом.

Абсолютизацию динамических законов связывают с именем П. Лапласа, которому приписывают высказывание о том, что если бы нашелся ум, которому были бы известны для любого данного момента времени все силы, действующие на все тела во Вселенной, а также их местоположение, и если бы он мог проанали-

зировать эти данные в единой формуле движения, то ему было бы открыто как прошлое, так и будущее Вселенной. С этой точки зрения все явления в природе жестко предопределены. Такой механический детерминизм называют **лапласовским детерминизмом**. Однако в действительности динамические законы не универсальны. Хотя лапласовский детерминизм с определенной степенью и отражает реальное движение тел, тем не менее его нельзя абсолютизировать.

Понятие о статистических закономерностях впервые было введено в 1859 г. Д.Максвеллом, который первым понял, что при рассмотрении систем, состоящих из большого числа частиц, нужно ставить задачу совсем иначе, чем это делалось в механике Ньютона. Для этого он ввел в физику понятие *вероятности*, выработанное в математике для анализа случайных процессов. Многочисленные опыты с макроскопическими телами показали, что в принципе невозможно не только проследить за изменением импульса или положением одной молекулы на протяжении достаточно большого интервала времени, но и точно определить импульсы и координаты всех молекул газа или другого макроскопического тела в данный момент времени, поскольку в таком теле число молекул или атомов очень велико. Поэтому их следует рассматривать как *случайные величины*, которые в данных макроскопических условиях принимают различные значения, и описывать с помощью понятия вероятности. Вероятность носит совершенно объективный характер, так как отражает объективные отношения реальности, а ее введение обусловлено лишь незнанием нами деталей течения процесса. Она позволяет определять *статистические средние*, под которыми понимают сумму отдельных значений всех величин, деленную на их число. Нахождение средних значений физических величин – это основная задача всех статистических теорий.

Все статистические теории отличаются от динамических прежде всего понятием *состояния системы*. В отличие от динамических в статических теориях поведение системы описывается не значениями физических величин, а *законами их распределения*, которые дают вероятности того, что рассматриваемые величины принимают те или иные значения в некотором интервале. Сами же величины являются случайными, т.е. не принимают определенных значений в заданных условиях. Эти вероятности (статистическое распределение) подчиняются определенным *уравнениям движе-*

ния, которые описывают их эволюцию и позволяют однозначно предсказывать в любой момент времени при заданных условиях и тем самым *однозначно определяют средние значения соответствующих физических величин.*

Общий взгляд на историю возникновения фундаментальных физических теорий позволил сделать вывод, что *динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком*, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории. Таким образом, *вероятностные законы являются более глубокими, более фундаментальными по сравнению с динамическими.* **Индетерминизма нет.** На уровне статистических закономерностей мы также сталкиваемся с причинностью. Статистические закономерности ничуть не менее объективны, чем динамические, и также отражают взаимосвязь явлений материального мира. Но детерминизм в статистических закономерностях представляет собой более глубокую форму детерминизма в природе. В отличие от классического детерминизма его называют **вероятностным** или **современным детерминизмом**. Статистические законы и теории – это более совершенная форма описания природы. Более того, можно показать, что динамические теории не противоречат статистическим, а включаются в рамки последних как их предельный случай.

Вероятностные закономерности считаются фундаментальными и в других областях естествознания, например в биологии. *Генетика – принципиально статистическая теория*; она дала строгое научное обоснование дарвиновской теории происхождения и эволюции видов, объяснила, как происходит наследование измененных признаков. **Процесс эволюции в живой природе принципиально непредсказуем** в том смысле, что нельзя предвидеть возникновение того или иного вида, т.е. *любой вид есть явление случайного характера*. Можно уничтожить вид, можно создать какой-нибудь новый вид, но нельзя восстановить исчезнувший вид. В этом смысле **любой из существующих ныне видов уникален.**

Генетика и эволюционная теория ярко демонстрируют фундаментальность вероятностных закономерностей в биологии, здесь особенно ярко видна принципиальная роль случайностей. *Эволюция нашего мира есть также результат цепи случайностей.* В связи с этим интересно отметить, что попытки смоделировать работу мозга хотя бы в рамках распознавания образов были неудач-

ными, пока рассматривались только жесткие, однозначные связи. Решение этой проблемы было найдено при использовании вероятностного подхода. Сегодня уже нет сомнений в том, что любая реалистическая модель мозга должна быть стохастической, т.е. основываться на вероятностных законах.

В своей повседневной деятельности человек все время сталкивается со *случайностью* и *неопределенностью*, с невозможностью точно предсказать исход тех или иных событий. Человечество долго верило в предопределение Божие и, позднее, в жесткую причинную связь. Теперь мы должны признать, что *в жизни Вселенной нельзя игнорировать элемент азартной игры, т.е. случайности*. Его Величество Случай пользуется явной благосклонностью Закона и подстраивает нам порой вещи неожиданные и маловероятные. Можно даже указать область, где он особенно чувствует себя вольготно – физика микромира. В свое время Больцман даже выдвинул гипотезу, что наблюдаемая нами область Вселенной есть результат огромной флуктуации. Таким образом, нам необходимо привыкнуть к мысли, что мир не устроен так прямолинейно и просто, как порой нам хочется.

Итак, **случайность и неопределенность лежат в основе природы вещей**. Более того, как мы увидим далее, они порождаются и нашим незнанием прошлого даже при использовании динамических (детерминированных) законов, т.е. динамическим системам при определенных условиях присущи свойства процессов вероятностной природы. Неопределенность и стохастичность есть та реальность, которую мы постоянно фиксируем в экспериментах, они пронизывают все мироздание, включая и человека с его непредсказуемыми эмоциями, невероятным разнообразием поведения в одних и тех же условиях. Такое понимание роли случайных закономерностей требует дальнейшего развития принципа причинности, который отражает наше представление о существовании зависимости нашего настоящего от прошлого.

Весомым аргументом в пользу фундаментальности статистических законов выступает вероятностное поведение простых нелинейных динамических систем – **явление динамического (детерминированного) хаоса**. Всегда считалось, что простые системы, которые описываются динамическими теориями, должны вести себя однозначно, детерминированно – предсказуемо. При рассмотрении таких систем нет необходимости обращаться к вероятностям. Однако оказалось, что так бывает не всегда. Мы уже отмечали,

что в классической механике возможно однозначное определение будущего состояния системы по ее начальным данным. Строго говоря, это не совсем так, это всего лишь абстракция, идеализация, основанная на исключении случайности. Осуществление идеального классического детерминизма практически невозможно.

Действительно, во-первых, начальные данные не могут быть определены бесконечно точно; во-вторых, в процессе движения на систему будут действовать случайные силы, которые мы, как правило, не учитываем (или о них ничего не знаем). Даже если они малы, то их эффект может оказаться значительным по истечении достаточно большого промежутка времени. В-третьих, невозможно гарантировать, что в процессе движения система будет оставаться изолированной. Поэтому необходимо задавать условия на границе той области, внутри которой движется система. Перечисленные обстоятельства обычно игнорируются (или замалчиваются) при изложении классической механики. Однако, как показывает анализ, они оказывают существенное влияние на предсказания, вытекающие из законов классической механики. *Влияние случайностей в общем виде не может быть игнорировано*, так как с течением времени *неопределенность в начальных данных* накапливается и предсказание по прошествии некоторого конечного времени становится совершенно бессодержательным. *Для каждой механической системы существует какое-то критическое время, начиная с которого невозможно точно предсказать ее поведение.*

Впервые к этому пришел А. Пуанкаре в начале XX в., когда он показал, что в определенных механических системах, эволюция которых во времени описывается известными уравнениями, может появляться хаотическое движение. Научный мир сначала это не воспринял, посчитав курьезом. В 1963 г. метеоролог Е. Лоренц показал, что даже решение достаточно простой системы, состоящей из трех уравнений первого порядка, вообще говоря, оказывается случайным.

Теперь хорошо известно, что даже в такой точной науке, как небесная механика, необходимо время от времени подправлять исходные данные, чтобы устранить накопившуюся ошибку. Точно так же машины и станки не могут работать долгое время без вмешательства механика, роль которого сводится к устранению погрешности, накапливающейся при работе станка. Значит, дви-

жение, предсказываемое классической механикой, в конечном счете оказывается неустойчивым относительно малых случайных отклонений начальных данных или в результате действия случайных сил. Как бы не были малы эти воздействия, всегда можно найти такое время, при котором их эффект оказывается превалирующим. Эта нестабильность движения относительно малых случайностей полностью разрушает иллюзию о возможности однозначного предсказания будущего по начальным данным без того, чтобы в дальнейшем не вносить корректив "по ходу дела".

Таким образом, **вероятности обнаруживают себя даже там, где царствуют однозначные причинно-следственные связи.** Случайности обнаруживаются, например, в поведении весьма простых динамических систем, описываемых в рамках классической механики и гидродинамики. Следовательно, *хаотическое, случайное поведение возможно даже в очень простых динамических системах.* Данное явление получило название **динамического** или **детерминированного хаоса.** Его относят к числу замечательных открытий современной науки. *Под динамическим хаосом подразумевают нерегулярное или хаотическое поведение простой системы, подчиняющейся регулярным, неслучайным динамическим законам.* Или коротко – это рождение случайного из неслучайного. При этом *система* должна быть **нелинейной**, т.е. описываться нелинейными уравнениями. Это приводит к тому, что *становится невозможным предсказывать поведение таких систем на больших промежутках времени.*

Открытие динамического хаоса затронуло основы физики, в частности проблему предсказуемости. До этого классическая физика наглядно демонстрировала предсказуемость тех или иных явлений. В свое время это вызвало определенное потрясение среди физиков, сходное с открытием квантовой механики. Сегодня известно, что большинство уравнений классической механики должны приводить к хаосу, или, как говорят, *не интегрируемы.* Даже в известной задаче трех тел могут возникать хаотические движения. Отсюда возникает вопрос и об устойчивости Солнечной системы.

К настоящему времени открыто несколько путей перехода к хаосу. В частности, возникновение динамического хаоса связывают с *неустойчивостью движения системы по отношению к начальным условиям. Чувствительность к начальным услови-*

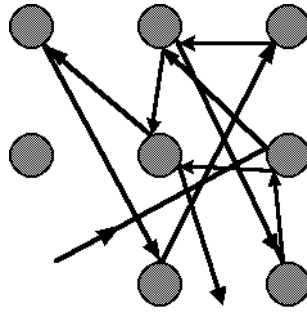


Рис. 3.1. Система шаров, испытывающая упругие столкновения

ям иногда называют эффектом "бабочки". Именно такая неустойчивость неслучайную динамику делает случайной. Неустойчивая динамическая система оказывается, по сути дела, системой статистической.

Простым примером такой системы может служить система шаров, испытывающих упругие столкновения; ничтожное изменение начального положения ударяющего шара приводит к существенному изменению его траектории при столкновении с другими шарами (см. рис. 3.1).

На рис. 3.1 показана одна из возможных траекторий ударяющего шара. Будем приписывать состоянию шара 1, если отражение произошло от левой половины другого шара, 0 – если от правой; тогда последовательность изображенных на рисунке отражений можно записать в виде последовательности из единиц и нулей: 1,0,1,0,0,1,0,1,1,0. Можно показать, что данная последовательность является случайной, ибо здесь нет корреляции между появлением следующих друг за другом цифр. Малейшее изменение исходного направления движения частицы коренным образом меняет картину – реализуется новая случайная последовательность цифр.

В настоящее время известно достаточно большое количество систем, в которых имеет место такой эффект: именно так ведет себя жидкость вблизи порога возникновения турбулентности; в лазерах и нелинейной оптике, химических реакциях и биологических моделях популяций, нелинейные волны в плазме и др. Все эти системы оказываются неустойчивыми и потому статистическими, несмотря на то, что их поведение во времени детерминировано, т.е. описывается известными дифференциальными уравнениями, которые определяют их будущее, исходя из начальных условий. Именно поэтому при выведении космических аппаратов на орбиту приходится регулярно осуществлять коррекцию их движения, что-

бы предотвратить случайное отклонение от расчетной траектории. С этим же связана невозможность предсказания долгосрочного прогноза погоды (правда, здесь все значительно сложнее). В настоящее время установлено, что такие явления в природе часто встречаются и имеют далеко идущие последствия во многих областях науки. При этом хаотическое поведение системы возникает не из-за внешних источников шума, не из-за бесконечного числа свободы или неопределенности, связанной с квантовой механикой, а в силу внутренне присущей им природы. Мы долго верили, что *почти одинаковые причины* будут давать *почти одинаковые следствия*, причем как в природе, так и в хорошо поставленном эксперименте. Как правило, так и происходит, особенно на коротких временных интервалах. Но это оказывается *не всегда верным для больших промежутков времени* даже в случае типичного течения природных процессов – одна и та же причина может приводить к совершенно разным следствиям. Другими словами, даже мельчайшие отклонения в начале движения могут привести через определенное время к гигантским различиям, т.е. самые незначительные причины вызывают через некоторое время огромные последствия. Для природных процессов это *типичное* явление.

3.3. Математическая гармония природы

Математика – наука о хитроумных операциях, производимых по специально разработанным правилам над специально придуманными понятиями.

Е. Вигнер

Современное естествознание трудно представить без математики, которая в огромной степени определяет *научность* (истинность, достоверность) знания. Большинство различных отраслей естествознания основано на математическом описании со своей строгой логической структурой. Ее роль в естествознании все более усиливается. От использования математики естествознание получает очень много. Например, она выполняет роль *универсального языка естествознания*, специально предназначенного для лаконичной и точной записи различных утверждений. Оказывается, что все, что можно описать языком математики, поддается выражению и на обычном (естественном) языке, но тогда объяснение становится длинным, запутанным, а порой не совсем точным.

А. Пуанкаре отмечал, что законы природы, выраженные в математическом виде, отражают ее гармонию.

Учитывая важность роли, которую играет математика в науке, рассмотрим более подробно, что же такое математика и какую роль она играет в современном естествознании на примере физики. *Математика* – древнегреческое слово, переводимое на русский язык как “учение”, точнее, оно образовано от глагола, означающего “учиться через размышление” (иногда переводят как “наука об истине”).

Математика сама непосредственно не изучает природу, она *изучает пространственные формы и количественные соотношения между различными объектами*. Что это за формы и объекты и какое отношение они имеют к природе – этот вопрос математикой не решается, он может быть выяснен только с привлечением других наук. В определенном смысле – это язык, инструмент других наук. Язык есть средство мысленного абстрагирования и обобщения. Предмет современной математики составляет совокупности объектов самого различного вида и любые возможные соотношения между ними.

Одним из наиболее ярких достижений человечества считается создание языка. *Язык* – это средство человеческого общения, средство передачи информации и инструмент, с помощью которого формируются понятия. В науке формируется и развивается свой язык, который выполняет и перечисленные функции обычного языка, и ряд других, не менее важных. Типичный путь развития какой-либо области науки можно представить примерно так. Сначала собирают опытные данные и классифицируют их. Потом вводят абстрактные понятия, характеризующие данный объект или явление, для которых подбираются термины (масса, импульс, энергия и др.). Далее устанавливают количественную меру установленных понятий и выводят законы, связывающие эти количественные характеристики между собой – их эволюцию во времени, т.е. уравнения. Последние выражаются на языке математики.

Роль обычного (естественного) языка в человеческой цивилизации трудно переоценить. Это считается величайшим достижением человека, без него было бы невозможно общение на уровне, превышающем общение чисто биологическое, бытовое, без него не могла бы возникнуть человеческая цивилизация. В мире суще-

ствуется несколько тысяч языков и диалектов. Всем им присущи некоторые общие черты. Сильные стороны естественного языка – универсальность и выразительность, так как он позволяет выразить любые человеческие чувства, эмоции и знания. Но порой он громоздок, слова его неоднозначны по смыслу, грамматика затрудняет применение его в науке.

В науке также создается и развивается свой язык, который выполняет не только функции обычного языка, но и ряд других. Научные теории формулируются на языке науки. Язык науки возникает в процессе формирования соответствующей научной дисциплины на основе конкретных естественных языков. Но язык современной науки существенно отличается от естественного языка. Он содержит много специальных терминов, выражений и т.п. В нем широко используются средства формализации, среди которых важнейшее место занимает *математическая формализация*. Под *формализацией* понимают особый подход в науке, который заключается в использовании специальной символики, позволяющей отвлечься от изучения реальных объектов и оперировать вместо этого некоторым множеством символов или знаков. Используя формализацию, создаются искусственные языки, на основе которых можно проводить исследования чисто формальным путем, оперируя только символами, без непосредственного обращения к объекту. Хотя эти языки не обладают такой гибкостью и богатством, как естественный, но *они однозначно определяют правила между символами и соотносительность знаковой системы с определенной предметной областью*. Однако нельзя создать какой-то единый язык науки, который применялся бы ко всем ее областям. Поэтому в разных науках создаются свои искусственные языки, предназначенные для решения тех или иных задач. К одному из таких языков относится математика.

Математика – это язык, который определяет весь стиль мышления в естествознании, без него вообще не могла бы возникнуть наука такой, как теперь мы ее представляем. Математика – это язык и рассуждения одновременно (*язык и логика вместе*). Поэтому говорят, что математика – это инструмент для размышления. В ней сконцентрированы результаты точного мышления многих людей. При помощи математики можно связать одно рассуждение с другим, т.е. это организованные рассуждения. Таким образом, можно сказать, что *математика есть формальный*

язык, словарем которого служит система символов, обозначающих объекты и переменные, а также операции над объектами, которые отвечают определенным требованиям. Причем переход от одних формул к другим совершается по строго определенным правилам, которые не допускают неоднозначного толкования. Естественный и математический языки дополняют друг друга. В свое время К. Маркс и Ф. Энгельс говорили, что область знаний, которая не говорит на языке математики, не имеет право называться наукой. Обычно такая область находится в зачаточном состоянии.

Математика достигает высшей степени абстракции. Ее истоки и начало связаны с практической деятельностью, с потребностями практики и повседневной жизнью людей: торговлей, навигацией, планировкой земель, строительством и т.д. Сначала появилось понятие числа, которое постепенно абстрагировалось от пересчитываемых объектов, число стало существовать самостоятельно. То же самое относится к геометрической фигуре. В истории математики было много различных революционных достижений. По-видимому, важнейшим из них является переход от постоянной величины к переменной и возникновение начал высшей математики, т.е. дифференциального и интегрального исчисления (исчисление бесконечно малых величин). Человечество к этому пришло постепенно, понятия эти чрезвычайно глубоки по своей идее, содержанию и возможностям.

Уровень абстракции в математике фантастичен. Например, она может описать мир с числом измерений больше, чем 3 или 4, и даже мир с бесконечным числом измерений или с нецелым числом измерений. Такой мир может быть населен функциями или другими объектами. Причем это абстрактное описание оказывается чрезвычайно полезным и эффективным.

На современном этапе развития математика переживает бурный расцвет. Возникают новые разделы, некоторые из старых преобразуются. Появление ЭВМ произвело революцию в человеческой цивилизации. С появлением ЭВМ математика становится неотъемлемой составной частью почти всех элементов человеческой деятельности. Так, математические методы в настоящее время эффективно "работают" в экономике, медицине, педагогике, психологии, лингвистике, теории искусства и т.д.

Математика строит здание *аксиоматически*, т.е. сначала выбирается система *аксиом* – первичная система определений, например аксиомы Евклида в геометрии. Этот выбор осуществляется либо из потребностей практики, например физики, либо, в определенной мере, произвольно. Затем на этой основе строго логическим путем строится теория. Математика – наиболее строгая и логичная из всех известных наук.

Математическое познание выводимо, т.е. его элементы связаны между собой. Когда физик использует свои знания для предсказаний на основе нескольких экспериментов, проведенных в конкретное время и в конкретном месте, и с помощью подходящей теории пытается объяснить явления природы, происходящие в совершенно другом месте, а эти предсказания сбываются, то это граничит с чудом. При этом он делает вывод, что теория верна. *Установление математических законов, которым подчиняется физическая реальность, – одно из самых поразительных открытий, сделанных человечеством.* Ведь математика не основана на эксперименте, а порождена человеческим разумом.

Но почему реальный мир должен подчиняться математической теории? Полной ясности в этом вопросе нет. В свое время Кант отвечал, что само наше восприятие выстраивает действительность таким образом, что нашим разумом отражается и воспринимается как реальность только то, что подчиняется математическим законам. Современный ответ восходит к Л. Больцману и наиболее полно сформулирован К. Лоренцем: в смиренную рубашку математики одевает природу не наша чувственная или познавательная деятельность, а сама Природа в ходе своего эволюционного развития "вкладывает" математику в наш разум как реально существующую структуру, неотъемлемую от нее самой. Способность к математике – это часть зафиксированного генетически видового опыта. Тем не менее широкий спектр способов математического описания природы выглядит как чудо. Наши геометрические и логические возможности простираются далеко за пределы окружающего мира. А это означает, что реальный мир подчиняется математическим законам в гораздо большей степени, чем нам известно до сих пор.

Ни физика, ни какая-либо другая наука не могут строиться по образу и подобию математики. В физике исследование природы начинается не с первооснов, а как бы с середины, с макроскопиче-

ского мира, а затем продолжается в обе стороны: в стороны мегамира и микромира. Кроме того, в физике существенны различные приближения, различные варианты выбора замкнутых систем и т.д. Отметим, что после того, как какая-то теория приобретает более или менее законченный вид, ее пытаются построить по образу и подобию математики (например, теоретическая механика). Математика приносит огромную пользу физике там, где речь идет о деталях сложных явлений. Не имея непосредственного отношения к реальности, она не только описывает эту реальность, но и часто позволяет делать новые и неожиданные выводы о реальности из теории, которая представлена в математической форме.

Каждая из областей физики, узких или широких, основана на своих исходных упрощающих предположениях, на *приближенном описании реальных процессов природы и техники*. В физике толкование результатов эксперимента называют *моделью* или *интерпретацией*. Но в основе всех современных исследований лежит осознание, что **любая модель приближительна**. Физики знают, что при помощи аналитических методов и логики нельзя описать сразу все природные явления, так как они обладают множеством связей, которые невозможно охватить. Они выделяют определенную группу явлений и строят модель для ее описания. При этом они оставляют без внимания остальные явления, предполагая, что то, что не принимают во внимание, либо незначительно и не дает ничего существенного, либо не известно в момент создания теории. Поэтому, строго говоря, *модель не соответствует реальной ситуации полностью*, т.е. она по своей природе приближительна.

Важная задача при создании модели – определение ограничений для ее применимости. Переход к моделям – это сложный и ответственный этап применения математического аппарата в физике. Успешное решение данной задачи определяется опытом и интуицией физика в каждой конкретной области. Можно сформулировать некоторые самые общие требования к математической модели. Прежде всего *достаточная точность* и *предельная простота*. Обеспечить достаточную точность значит учесть при *идеализации реального объекта* все существенные свойства и связи, отвлекаясь от второстепенных и несущественных в данном конкретном случае. Представляя реальный объект с достаточной точностью, математическая модель должна быть по возможности *проще*, так как работа со сложной моделью затруднительна. При

этом она должна содержать как можно меньше предположений в своей основе.

Итак, *математика – это язык физики*, без математики физика не существует, но математика – далеко не вся физика. Кроме нее чрезвычайно важен *физический смысл* получаемых результатов, их соответствие природе. Для физика решить задачу – значит получить конкретный результат, заведомо приближенный, справедливый в практических условиях: получить число или некоторую зависимость. Здесь полнота системы аксиом решающей роли не имеет. Это связано с тем, что, собирая из опыта отдельные факты и обобщая их, человек формулирует законы, связи между переменными, каждая из которых *абстрагирована* от непосредственных результатов опыта. Однако, собирая эти факты, ученые не могут быть полностью уверены, что исследовали все, что нужно и с необходимой степенью точности. Поэтому у них никогда не может быть абсолютной уверенности в *полноте* и *”замкнутости”* своих знаний. Математики нет и не может быть без полной системы аксиом для каждого из ее разделов.

Математика для физики не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории. Она также позволяет нам выявлять следствия, анализировать ситуации и видоизменять законы, чтобы связать различные утверждения. Приход в физику понятий, взятых из математики, ”придуманных” ею, играет также чрезвычайно важную роль. ”Математический язык удивительно хорошо приспособлен для формулировки физических законов. Это чудесный дар, которого мы не понимаем и которого не заслуживаем. Нам остается лишь благодарить за него судьбу и надеяться, что и в своих будущих исследованиях мы сможем по-прежнему пользоваться ими. Мы думаем, что сфера его применимости (хорошо это или плохо) будет непрерывно возрастать, принося нам не только радость, но и новые головоломные проблемы”, – пишет американский физик Е. Вигнер, восхищаясь успехами этой, как он называет, странной науки. (Цит. по: [60].)

Нельзя объяснить красоты всех законов природы так, чтобы люди восприняли их одними чувствами, без глубокого понимания математики. Вот что писал по поводу математики Ч. Дарвин: “...в последние годы я глубоко сожалел, что не успел ознакомиться

с математикой, по крайней мере, настолько, чтобы понимать что-нибудь в ее великих руководящих началах; так усвоившие их производят впечатление людей, обладающих одним органом чувств более, чем простые смертные”. (Цит. по: [6].)

Физика начала “овладевать” математикой при Г. Галилее и Р. Декарте. Чтобы действительно понимать современную физику, надо очень хорошо знать математику – язык, на котором, по образному выражению Г. Галилея, природа говорит с человеком. “Философия написана в той величественной книге, которая постоянно лежит открытой у нас перед глазами (я имею в виду Вселенную), но которую невозможно понять, если не научиться предварительно ее языку и не узнать те письмена, которыми она написана. Ее язык – язык математики, и эти письмена суть треугольники и другие геометрические фигуры, без помощи которых невозможно понять в ней по-человечески хотя бы одно слово; без них мы можем кружиться впустую по темному лабиринту”. (Цит. по: [6].) Г. Галилей первым объединил математику и эксперимент, поэтому его называют отцом современной науки.

Многие ученые считают, что **математика – естественный язык природы**, это язык для описания процессов и явлений. Математика – основной язык физического исследования. Первичным языком, который вырабатывают в процессе научного уяснения фактов, в теоретической физике обычно служит язык математики, а именно – математическая схема, позволяющая физикам предсказывать результаты будущих экспериментов.

Задача физики – установить и понять связи между наблюдаемыми явлениями и величинами, с помощью которых их описывают. *Количественное совпадение предсказаний с опытом – наиболее убедительная проверка понимания.* Количественное описание физического мира невозможно без математики. Математика не только дает способы решения уравнений физики, но и создает методы описания, соответствующие характеру физической задачи. Приложением математики к физическим задачам занимаются физики-теоретики. Однако теоретическая физика не представляет собой нечто вроде прикладной математики. И по характеру задач, и по методам подхода к задачам математика и физика различаются.

В математике важнейшую роль играет логическая стройность, т.е. безупречность всех выводов вместе с исследованием всех ло-

гически возможных вариантов, вытекающих из принятых аксиом. Задача же физики – *воссоздать по возможности точную картину мира*, используя все известные экспериментальные и теоретические факты, основанные на *интуиции-догадке*, которые в дальнейшем будут проверены на опыте. Так, математик исследует все логически возможные типы геометрий; физик же выясняет, какие геометрические соотношения осуществляются в реальном мире. Математические построения сами по себе не имеют отношения к свойствам окружающего мира, это чисто логические конструкции. Они приобретают смысл физических утверждений, только когда применяются к реальным физическим телам. Математик получает соотношения, не интересуясь тем, для каких физических величин они будут использованы. Обычно уравнение может описывать одновременно множество физических объектов. Именно эта общность делает математику универсальным инструментом для изучения всех естественных наук.

Физика интересуют не только и не столько методы решения, сколько вопрос о том, насколько законны упрощения, которые пришлось сделать при выводе уравнений, с какой точностью и при каких значениях переменных они правильно описывают явления, наконец, самый важный вопрос – от каких предположений придется отказаться и как изменится наш взгляд на все другие известные явления, если результат не подтвердится на опыте. Физик чаще всего имеет дело с задачами, в которых исходных данных недостаточно для решения, и искусство состоит в том, чтобы угадать, какие недостающие соотношения реализуются в природе. Именно для этих догадок требуется не математическая, а *физическая интуиция*. Убедительность в физике достигается получением одного и того же результата из разных исходных посылок, при этом приходится вводить лишние, логически необязательные аксиомы, каждая из которых сама по себе не абсолютно достоверна. Единственное условие состоит в том, чтобы уметь оценить степень убедительности того или иного предположения и ясно понимать, какие из них требуют дальнейшей проверки.

3.4. Язык и реальность в современной физике

В любом познании исходным всегда выступает естественный язык повседневного общения. Первоначальные сведения о мире человек получает именно с его помощью. Но естественного язы-

ка в связи с дальнейшим развитием науки оказывается недостаточно. Основная задача науки – познание объективных законов природы. Это познание начинается с изучения опытных фактов и установления качественных зависимостей между ними. Знание качественных зависимостей, сформулированное на естественном языке, не позволяет точно предсказать течение событий. Создаваемые на базе (и для объяснения) качественных зависимостей гипотезы, как правило, оказываются не проверяемыми в эксперименте, так как не ведут к строгим, количественно определенным следствиям, допускающим однозначное сопоставление с экспериментом. Появление естествознания в строгом смысле слова (начиная с XVI в.) было отмечено переходом от констатации качественных зависимостей к установлению строгих количественных соотношений. Развитие познания, переход от эмпирической констатации к формулировке общих фундаментальных законов необходимо требует перехода от естественного языка к языку математики. Что дает использование математического языка?

1. Прежде всего, математика позволяет *кратко* и *наглядно* записать то, что в принципе можно выразить словами, но более длинно и не так очевидно. Математический язык краток, более точен и компактен.

2. *Точное предсказание течения событий.* Математика позволяет сформулировать основные законы в виде соответствующих уравнений, а значит, прогнозировать течение событий. Она может служить источником моделей, алгоритмических схем и процессов, составляющих предмет естествознания.

3. *Предсказание новых явлений:* так, например, было предсказано существование планеты Нептун (Леверье), электромагнитного поля (Максвелл, 1865 г.), позитрона (Дирак, 1929 г.), мезона (Юкава, 1936 г.) и др.

4. *Математическая форма законов природы часто подготавливает условия для качественно новых обобщений.* Становление квантовой механики было облегчено тем, что в классической механике были получены различные математические формы выражения основных законов движения. А. Эйнштейн отмечал, что без соответствующего уровня развития геометрии ему бы не удалось сформулировать общую теорию относительности.

5. *Проверка теорий, претендующих на роль фундаментальных законов природы.* На современном уровне гипотеза утвер-

ждается в науке лишь в том случае, если ее основные положения получают количественное математическое выражение.

Роль математики в физике исключительно велика, но она должна правильно пониматься. Развитие теории всегда связано с глубоким физическим анализом применяемых и вновь создаваемых математических схем. Л. Мандельштам писал, что всякая физическая теория состоит из двух дополняющих друг друга частей: одна часть – уравнения теории, устанавливающие соотношения между математическими символами, а другая – связь этих символов с физическим миром.

Современная физика немыслима без математики и математических понятий, но не сводится к ним. Более того, главное в физике не формулы и уравнения, а их *интерпретация*, т.е. понимание, которое питает интуицию. Физика развивается не только с помощью *математической логики*, но и с помощью *физической интуиции*. Математик готовит абстрактные доказательства, которыми физик может воспользоваться, приписав реальному миру некоторый набор аксиом. Но физик не должен забывать о значении своих понятий. Это очень важно. Физика – не математика, а математика – не физика. Одно помогает другому. Но в *физике нужно понимать связь слов с реальным миром*. Получив какие-то выводы, необходимо перевести их на язык природы. Только так можно проверить истинность выводов. В математике этой проблемы нет. Но доказательства и способы мышления, найденные математиками, становятся могучими и полезными орудиями для физика, а рассуждения физиков часто также приносят пользу математикам.

В отличие от математика, который любит придавать своим рассуждениям наиболее общую форму, физик интересуется в большей степени конкретными вещами. Например, физика интересуется законом тяготения в трехмерном пространстве, а не n -мерном. Когда известно, о чем идет речь, и известны значения символов, можно обратиться за помощью к здравому смыслу, к интуиции. Часто излишняя строгость не очень полезна в физике.

Математические расчеты нередко выступают в качестве "мысленных" экспериментов. В современной физике математика – не просто орудие расчета, это наиболее адекватный язык для формулировки основных законов, которые вне этого языка не могут быть даже приблизительно нащупаны. Физика проникла в такие области действительности, где для *изучаемых ею объектов уже нельзя подобрать соответствующие наглядные образы*, кото-

рые всегда связаны с миром повседневного опыта. Поэтому основным языком здесь является язык математики. Физик может довольствоваться тем, что обладает математической схемой и знает, как можно ее применять для истолкования своих опытов. Но ведь он должен сообщить о своих результатах и нефизикам, которые не будут удовлетворены до тех пор, пока им не будет дано объяснение на обычном языке, понятном каждому. Для физика *возможность описания на обычном языке считается критерием того, какая степень понимания достигнута* в соответствующей области.

В каком объеме это можно сделать? Можно ли, например, говорить о самом атоме, как таковом? Это проблема как языковая, так и физическая. *Важно понимать разницу между математическими моделями и их словесными описаниями.* Математические модели строги и последовательны, но их символы не связаны с нашим восприятием непосредственно. Словесные модели используют символы, которые могут восприниматься интуитивно, но всегда неточны, двусмысленны, ограничены. Все словесные описания неточны и неполны, непосредственное восприятие реальности лежит за пределами мышления и языка. Поэтому Н. Бор говорил, что никакое сложное явление нельзя описать с помощью одного языка. Но базовый язык, на котором человек произносит свое первое слово, все же должен быть, иначе и другие интерпретации не будут понятны.

Человеческий ум располагает двумя способами познания, двумя типами сознания, которые обозначаются как *рациональное (аналитическое или логическое)* и *интуитивное (синтетическое, образное или художественное)*. Первое обычно ассоциируется с наукой, второе – с религией и искусством. В настоящее время имеются доказательства того, что за эти способы мышления ответственны разные полушария человеческого мозга. Рациональное знание приобретается в процессе взаимодействия с предметами и явлениями окружающего мира. Оно относится к области интеллекта (разума), функции которого – различать, сравнивать, измерять и распределять по категориям, т.е. *анализировать*. Основу такого способа мышления составляют *абстрагирование* и *идеализация*. Поэтому **рациональное знание** рассматривают как *систему абстрактных понятий и символов*.

Но реальный мир гораздо сложнее и разнообразнее. В нем нет абсолютно прямых линий и правильных форм, явления происходят

одновременно, а "пустое" пространство даже искривлено. Очевидно, что при помощи абстрактных понятий такой мир полностью описать нельзя, как нельзя покрыть сферическую поверхность Земли плоскими картами. Здесь можно надеяться лишь на приближенное описание реальности, и поэтому **рациональное познание изначально ограничено в своих возможностях.**

Рациональное познание прежде всего свойственно науке, которая измеряет, оценивает, классифицирует и анализирует. Физики уже сознают **ограниченность всех знаний**, приобретенных при помощи этих методов. В. Гейзенберг говорил, что каждое слово или понятие, каким бы понятным оно ни казалось, может найти лишь ограниченное применение. Поэтому *важно не смешивать наши представления о реальности с самой реальностью.* Аналитический метод мышления склонен возводить получаемые данные в догмы, разрывать, абсолютизировать их, рассматривать как абсолютную истину. Ф. Энгельс писал, что аналитический метод "оставил нам вместе с тем и привычку рассматривать вещи и процессы природы не в движении, а в неподвижном состоянии, не как существенно изменчивые, а как вечно неизменные, не живыми, а мертвыми... Этот способ понимания создал специфическую ограниченность последних столетий – метафизический способ мышления". (Цит. по: [24].)

Хотя физики в основном интересуются познанием рациональным, им приходится иметь дело с обоими типами познания. За рациональным знанием часто стоит *интуиция*, которая приводит ученых к открытиям и таит в себе творческую силу. Однако физика не может использовать интуитивные прозрения, если их нельзя сформулировать на математическом языке и дополнить описанием на обычном языке. При этом надо помнить, что слова нашего языка не имеют четких определений. У них несколько значений, большая часть которых смутно осознается нами и остается в подсознании, когда мы слышим слово. Наука же стремится к четким определениям и недвусмысленным сопоставлениям.

Научный метод абстрагирования очень продуктивен и полезен, но за его использование приходится платить. **Чем точнее мы определяем понятия и делаем все более строгими правила сопоставлений, тем все больше удаляемся от реального мира.** Вот почему приходится пояснять словами модели и теории, прибегая к понятиям, которые можно воспринимать интуитивно.

Именно поэтому в *физике невозможно обойтись без обычного языка*. Однако в *современной физике естественный человеческий язык становится абсолютно непригодным для описания атомной и субатомной действительности*. Микромир не подчиняется законам классической логики. Микрообъекты недоступны непосредственному чувственному восприятию человека. Использование сложных приборов и методов позволяет проникнуть в субмикроскопический мир, но мы *воспринимаем уже не сами явления, а только их следы*. Сам же субатомный мир остается скрытым для нас. Но таким образом мы в какой-то степени все же познаем его.

Однако *эти знания в корне отличаются от знаний о том, что нас окружает в повседневной жизни*. Они уже не определяются непосредственным чувственным восприятием, и поэтому обычный язык, заимствующий свои образы из мира чувств, не годится для описания исследуемых явлений, и мы должны отказываться от образов и понятий обычного языка. И уже нельзя в полной мере опираться на привычную нам логику и здравый смысл. Здесь мы имеем дело с *нечувственно воспринимаемой реальностью* и сталкиваемся с парадоксами.

Однако задача физики не в том, чтобы снабжать нас наглядными образами (“картинками”), а в том, чтобы формулировать законы, управляющие явлениями, и использовать их для открытия новых явлений. Если наглядная картина существует, то хорошо, но есть она или нет – это второстепенный (не столь важный) вопрос. (Применительно к атому роль наглядной “картинки” играет модель атома – классическая или более правильная квантовая.) В физике микромира строится точная математическая теория, *не имеющая наглядных образов*, т.е. детальной классической картины. Именно поэтому существует определенная трудность в изучении современных разделов физики.

Интересно отметить, что есть такая точка зрения: модели и образы современной физики стали родственны моделям и образам восточной философии или мистике (Капра Ф. Дао физики. СПб: ОРИС, 1994). Согласно восточным представлениям разделение природы на отдельные предметы не является изначальным, все они обладают текучим и изменчивым характером. Для восточного мировоззрения космос – это единая нерасчлененная, вовлеченная в бесконечное движение реальность, живая и органичная, идеаль-

ная и материальная. Чем глубже физики проникают в микромир, тем больше убеждаются, что мир необходимо рассматривать как систему, состоящую из неделимых и пребывающих в непрерывном движении компонентов, причем неотъемлемой частью этой системы является и сам наблюдатель.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

закон природы, динамический закон, вероятностный (статистический) закон, индетерминизм, динамический хаос, математика, язык, формализация, действительность, нелинейность.

Контрольные вопросы

1. Что такое законы природы?
2. Объясните сущность высказывания: “Законы природы можно формулировать разными способами”. Приведите примеры.
3. В чем состоит сущность универсальности законов природы?
4. Сформулируйте сущность динамических и вероятностных законов. В чем их различие и сходство? Какие из них являются фундаментальными?
5. В чем сущность концепции неполноты знаний?
6. В чем сущность лапласовского детерминизма?
7. Что такое динамический хаос и условия его наблюдения? Почему это явление считается фундаментальным свойством природы? Приведите примеры.
8. Что такое математика и что она изучает? Какую роль она играет в науке?
9. Что означает высказывание: “Математика – естественный язык природы”?
10. Что дает математика физике?
11. Почему в физике обычного языка недостаточно?
12. Сформулируйте сущность рационального метода познания.
13. Почему рациональные знания ограничены?
14. Почему знания о микромире отличаются от знаний о макромире?

Литература: [21, 23, 24, 27, 34, 36, 39, 51, 53, 60].

Дополнительная литература: [1, 2, 5, 6, 47, 48].

4. КАРТИНЫ МИРА

Разные способы видеть мир, мировоззрение. Механическая и электромагнитная картины мира. Кризис физики и "новейшая революция в естествознании". Научные революции.

Настанет время, когда потомки наши будут удивляться, что мы не знали таких очевидных вещей.

Сенека

4.1. Разные способы видеть мир, мировоззрение

Одной из важнейших характеристик человека, отличающей его от животного, является то, что он в своих действиях опирается на разум, на систему знаний и их оценку. Поведение людей, степень эффективности решаемых ими задач, конечно, зависит от того, насколько адекватно и глубоко их понимание реальности, в какой мере они могут правильно оценивать ту ситуацию, в которой им приходится действовать и применять свои знания.

С давних пор в человеческой жизни большое значение приобретали не только те знания, которые имели непосредственное практическое значение, но и те, которые относились к общим представлениям о природе, обществе и самом человеке. Именно последние как бы скрепляют в единое целое духовный мир людей. На их основе возникали, формировались и развивались традиции во всех сферах человеческой деятельности. Важную роль при этом играет то, как человек представляет устройство мира. Человеческое самосознание стремится представить себе окружающий мир, т.е. увидеть мысленным взором то, что называют Вселенной, и найти свое место среди окружающих вещей, определить свое положение в космической и природной иерархии. С древних времен людей беспокоят вопросы об устройстве мироздания, о возможности его познания, его практического освоения, о судьбах народов и всего человечества, о счастье и справедливости в человеческой жизни. Без стремления постичь мир в его целостности, желая понять природу и общественные явления человечество не создало бы ни науки, ни искусства, ни литературы.

Современная наука нацелена на построение **единой целостной картины мира**, изображая ее как взаимосвязанную "сеть бытия". В общественном сознании исторически складываются и постепен-

но изменяются разные картины мира, которые обычный человек воспринимает как данность, как объективность, существующую независимо от наших личных мнений. *Картина мира означает как бы зримый портрет мироздания, образно-понятийную копию Вселенной*, взглянув на которую, можно понять и увидеть связи действительности и свое место в ней. Она подразумевает понимание того, *как устроен мир, какими законами он управляется, что лежит в его основе и как он развивается*. Поэтому понятие "картина мира" занимает особое место в структуре естествознания.

Картины мира отводят человеку определенное место во Вселенной и помогают ему ориентироваться в бытии. Они возникают как в рамках повседневной жизни, так и в ходе духовной деятельности человеческих сообществ. Различают несколько картин мира.

Обыденная картина мира, возникающая из повседневной жизни: здесь в центре стоит человек, так как повседневность – это мир, где он является главной фигурой.

Научная картина мира, или научный взгляд, создаваемый учеными-специалистами. Научная картина мира строится вокруг объектов, понятых как *не зависящие от человеческой субъективности, свободные от влияния наших желаний и особенностей восприятия*. Наука хочет видеть мир "таким, каким он есть".

Религиозные представления о мироздании, сложившиеся в деятельности религиозных групп. Здесь главное внимание уделяется соотношению повседневного опыта и потустороннего, божественного.

Эзотерическая концепция Вселенной – знания, полученные путем озарений и откровений, которые появились в узком кругу посвященных и по сей день передаются в личном опыте, от учителя к ученику (эзотерия – совокупность знаний и духовных практик, закрытых от непосвященных).

Философский подход к человеку и космосу. Философские картины мира многообразны, но все они строятся вокруг отношения мир – человек.

Каждая из этих картин дает свою версию того, каков мир на самом деле и какое место занимает в нем человек. Отчасти эти картины противоречат друг другу, а отчасти взаимодополнимы и способны составлять целое.

Мы будем рассматривать только научный взгляд на мир, который возник в рамках естественных наук и называется *естественно-научной картиной мира*. Существенный вклад в эту картину дает физика. С каждым естественно-научным открытием система научных представлений о мире становится все полнее. С развитием науки на смену одной картине мира приходит другая. Это называют *научной революцией*, понимая под ней коренную ломку прежних представлений о мире. Каждая картина мира сохраняет от своих предшественниц лучшее, важнейшее, отвечающее объективному устройству Вселенной. Новая картина сложнее старой. С философской точки зрения мир есть действительность, взятая как целое, схваченная в некотором ее качественном единстве. Однако мир как целое не дан нам непосредственно, поскольку мы занимаем конкретную позицию; мы частичны и ограничены небольшим сегментом реальности.

Научная картина мира – это наши теоретические представления о мире. Она не только итог развития знания, но и *самое общее теоретическое знание* – система важнейших понятий, принципов, законов, гипотез и теорий, лежащих в основе описания окружающего нас мира. Картина мира не только обобщает все ранее полученные знания о природе, но и вводит в естествознание новые философские принципы и гипотезы, которые коренным образом меняют основы физического теоретического знания. Термин “картина мира” указывает, что речь идет не о части или фрагменте знания, а о целостной системе. Поэтому она позволяет нам видеть мир, не полагаясь на опыт и не зная многих его деталей, а также качественно объяснять и не охваченные теориями явления.

Когда мы говорим “картина мира”, то предполагаем, что есть мир и есть еще его картина, точно так же, как считается, что есть события и есть еще восприятие событий. Это означает, что мы “видим” мир не потому, что существует картина мира, а наоборот, картина мира возникает потому, что существует мир, сущность которого мы воспринимаем теоретически. Она указывает на отнесенность наших знаний к объекту – миру в целом – и свидетельствует об *относительности* человеческого знания. Картина мира является необходимым элементом современного естественно-научного мышления.

С понятием “картина мира” сопряжено понятие “*мировоззрение*”, которое, в отличие от картины мира, подчеркивает *субъек-*

тивный ракурс рассмотрения и отражает общий взгляд на место человека в реальной действительности. В узком смысле слова "мировоззрение" – это мои собственные представления об окружающем мире, сложившиеся на основе восприятия моими органами чувств. В широком смысле – это мои накопленные суждения обо всем, что воспринимают мои органы чувств и чем заняты мои мысли, основные цели и ценности. Мировоззрение указывает не на мир сам по себе, а на наше отношение к нему. Это своеобразная "рамка", через которую мы смотрим на мир и которая определяет поле нашего зрения и тем самым характер и направление нашей деятельности. *Мировоззрение – комплекс представлений человека о мироздании, природе, обществе, о себе, выраженное в понятиях, образах, ощущениях, отражающих целостное восприятие мира и отношение к нему. Оно реализуется в системе ценностей и идеалов личности, социальной группы, общества.* Это понятие содержит в себе позицию субъекта, его отношение к действительности, цели, идеалы и ценности. В реальной жизни объективное и субъективное тесно связаны, поэтому картина мира органически переходит в мировоззренческие представления и, как говорят, сопряжена с ними.

В основе мировоззрения лежит *мировосприятие*, которое представляет собой совокупность определенных знаний, имеющих важное значение для целостного восприятия как объективного, так и субъективного мира, как материальной действительности, так и ее образа, который возникает в нашем индивидуальном и общественном сознании. В него входит система ценностей, управляющих поведением человека, и ее обоснование.

В мировоззрение входит также и *миропонимание*, выраженное в образах реальности, которые формируются в практической жизни, искусстве, литературе, науке, религии. Миропонимание придает наглядность нашим мировоззренческим установкам, которые мы вырабатываем.

Мировоззрение всегда *исторично*. Оно тесно связано с переживаемыми обществом стадиями его развития, совокупностью тех проблем, которыми непосредственно живет общество, и т.п. Каждой эпохе свойственно свое мировоззрение. *На современном этапе развития выработка правильного мировоззрения имеет первостепенную важность для человечества.*

Формирование мировоззрения – очень сложный процесс, происходящий под действием множества факторов (но не по приказу!). Это и семья, и обычаи, и общение с людьми, и чтение книг, и соприкосновение с искусством и природой, и реальная повседневность и т.п. Среди многих факторов формирования мировоззрения выделяют три основных источника. Прежде всего – это **традиции и мифы**, которые создавались в течение тысячелетий, когда люди жили в условиях, которые им диктовала природа. Сейчас традиции играют заметную роль лишь в процессе семейного воспитания, но их игнорировать нельзя. Второй источник – **религия**, или идея Бога, которая возникла на более позднем этапе развития человечества. Во многих странах даже в наше время она является не только системой верования, но и образом жизни, например, шариат в некоторых мусульманских странах. Любая религия – это феномен истории. Она возникает в определенных условиях, под действием различных причин и определяется особенностями цивилизации. Считается, что потребность в вере в нечто Высшее, недоступное человеческому сознанию, видимо, вечна. Эти два источника мировоззрения относятся к сфере гуманитарных знаний и связаны с духовным, эмоциональным миром человека, с его алогичным восприятием действительности.

Третий источник мировоззрения современного человека – это **идея природы**, которую дает наука, прежде всего, естествознание. Считается, что общение с природой играет особую роль в формировании миропредставления, и поэтому мировоззрение должно включать знания об окружающем мире, в котором мы живем, знания, связанные со способностью предвидеть последствия принятых нами решений. *Научное мировоззрение есть определенное отношение к окружающему нас миру явлений, при котором каждое явление входит в рамки научного изучения и находит объяснение, не противоречащее основным принципам научного изыскания.* Новая информация неизбежно изменяет наше видение положения человека в мире, она будет изменять традиции, цивилизационные установки и даже само представление об истине. *В настоящее время человечество уже стоит перед необходимостью пересмотра самых глубинных основ своего мировоззрения, понимания своего места в природе, своих взаимоотношений с окружающим миром.*

4.2. Механическая и электромагнитная картины мира

Физическая картина мира создается благодаря фундаментальным экспериментальным исследованиям, на которых основываются теории, объясняющие факты и углубляющие наше понимание природы. XX в. стал *веком коренной смены парадигм научного мышления и радикального изменения естественно-научной картины мира*.

Вплоть до нашего столетия в науке господствовала возникшая в Новое время **ньютоновско-картезианская парадигма** – *система мышления, основанная на идеях Ньютона и Декарта*. Последнему принадлежала **идея принципиальной двойственности реальности: материя и ум (сознание) являются различными, независимыми, параллельными субстанциями или мирами**. Другими словами, мир существует независимо от воли людей. Поэтому *материальный мир можно описать объективно, не включая в описание человека-наблюдателя с его специфической позицией, его субъективностью*. Таким образом, идея строго объективной науки вытекает из декартовских онтологических построений (*онтология* – теория бытия).

Данное разделение позволило ученым рассматривать материю как нечто неживое и полностью отдельное от них самих, а материальный мир – как огромный и сложный агрегат, состоящий из множества различных частей. Эти идеи оказали огромное влияние на развитие общества и в наше время еще полностью не изжиты. Это проявляется в том, что такое разделение отражает наш взгляд на "внешний" мир, который мы воспринимаем как множество отдельных вещей и событий. К природной среде относятся так, как если бы она состояла из независимых частей, используемых группами людей с различными интересами. Это разделение распространяется и на общество, которое мы делим на нации, расы, религиозные и политические группировки. По-видимому, это одна из основных причин ряда социальных, экологических и культурных кризисов современности. Такое разделение настраивает нас против природы и других людей, порождает несправедливое разделение природных богатств, повинно в возникновении экономических и политических беспорядков, ведет к непрерывному росту насилия, загрязнению окружающей среды и т.д.

Картезианское разделение и механистическое мировоззрение в свое время оказали благотворное влияние на развитие классиче-

ской механики, но они во многом отрицательно воздействовали на нашу цивилизацию. Современная наука пытается преодолеть **ограниченность** этого разделения и возвращается к **идее единства**, которая высказывалась еще древними философами Греции и Востока. Ее суть состоит в том, что *все чувственно воспринимаемые предметы и явления есть различные взаимосвязанные аспекты единой реальности*, поэтому изучать явления природы необходимо в их совокупности и взаимодействии. Только при этом условии мы можем представить картину мировых процессов, верно отражающую реальное положение вещей.

Наше стремление разделить мир на отдельные самостоятельные вещи – это всего лишь *иллюзия*, которая порождена нашим оценивающим и анализирующим сознанием. Ряд фактов говорит о том, что современную цивилизацию ожидают качественные перемены. Существует множество примеров – предупреждений, что возможности порядка, существующего тысячелетия, уже исчерпаны. В настоящее время людям нужны новые знания и новое мировоззрение. Этому способствует *современная естественно-научная картина мира*.

В своем развитии физика прошла длинный путь: от первых шагов, которые начинались в лоне древнегреческой философии две с половиной тысячи лет назад, до современных представлений о мире. Однако основные открытия были сделаны в последние 300 лет. Мы остановимся лишь на трех наиболее крупных этапах развития: XVII – середина XIX вв., середина XIX в. – 1930 г. и период с 1885 по 1905 гг. Именно в это время были сформулированы представления об окружающем мире, которые теперь называют **механической (механистической) и электромагнитной картинами мира**. Коротко рассмотрим период, когда произошла коренная ломка представлений о мире, который, по определению В. Ленина, называют *”новейшей революцией в естествознании”*, для того, чтобы показать, что в развитии науки неизбежны смены концепций или парадигмы развития.

Становление механической картины мира связывают с именами Г. Галилея, И. Кеплера, и особенно И. Ньютона. Формирование **механической картины мира** потребовало нескольких столетий; практически оно завершилось лишь в середине XIX в. Механическая картина мира возникла на основе классической механики, обобщении законов движения свободно падающих тел и движения

планет, а также создания методов количественного анализа механического движения в целом. Эту картину следует рассматривать как важную ступень в познании человеком окружающего мира.

Рассмотрим основные ее черты. Основу механической картины мира составляет *идея атомизма*, т.е. все тела (твердые, жидкие, газообразные) состоят из атомов и молекул, находящихся в непрерывающемся тепловом движении. Взаимодействие тел происходит как при их непосредственном контакте (трение, силы упругости), так и на расстоянии (силы тяготения). Все пространство заполняет всепроникающий эфир – среда, в которой распространяется свет. Атомы рассматриваются как некие цельные, неделимые ”кирпичики”; сцепляясь друг с другом, они образуют молекулы и в конечном счете все тела. Природа этого сцепления не исследовалась, не было понимания сущности эфира.

Эта картина мира основана на четырех принципиальных моментах.

1. Мир в этой картине построен на едином фундаменте – на *законах механики Ньютона*. Все наблюдаемые превращения в природе, а также тепловые явления сводились на уровне микроявлений к механике атомов и молекул – их перемещениям, столкновениям, сцеплениям, разъединениям. Открытие закона сохранения и превращения энергии, казалось, окончательно доказывало механическое единство мира – все виды энергии можно свести к энергии механического движения.

С такой точки зрения мир выглядел стройной гигантской машиной, построенной по законам механики и по тем же законам функционирующей. В это время развернулись исследования электрических и магнитных явлений, которые сначала не подрывали, а лишь только усложняли и дополняли механическую картину мира. Например, под этим углом зрения рассматривалось внешнее сходство закона Кулона с законом всемирного тяготения.

2. Механическая картина мира исходила из представлений, что *микромир аналогичен макромиру*.

Механика макромира была хорошо изучена; считалось, что точно такая же механика описывает движение атомов и молекул. Как движутся и сталкиваются обычные тела, точно так же движутся и сталкиваются атомы. Также считалось, что и неживая, и живая материя ”сконструированы” из одних и тех же ”механических деталей”, различающихся только размерами. Как человек конструирует разные механизмы из относительно крупных деталей, так и

Бог конструирует живые объекты, используя более мелкие детали. Но в основе мира одни и те же "механические детали". Таким образом, *механическое мировоззрение видело в малом то же, что и в большом, но лишь в меньших размерах*. Это порождало представление о мире, похожем на вставленных одна в другую матрешек.

3. В механической картине мира *отсутствует развитие*, т.е. мир считался в целом таким, каким он был всегда. Ф. Энгельс отмечал, что для данной психологии было характерно мировоззрение, центром которого являлось представление об абсолютной неизменности природы. Ведь все наблюдаемые процессы и превращения сводились только к механическим перемещениям и столкновениям атомов. Поэтому в биологии данного периода господствовала *концепция преформизма*, согласно которой в яйцеклетке любого живого существа уже содержится в миниатюре будущий взрослый организм; в зародышах заключены свои зародыши и т.д. (матрешечная теория). Таким образом, механическая картина фактически отвергала качественные изменения, сводя их к чисто количественным. И в этом виделся залог незыблемости природы.

4. В механической картине мира *все причинно-следственные связи – однозначные*, здесь господствует лапласовский детерминизм, согласно которому, если известны начальные данные системы, то можно точно предсказать ее будущее. В результате мир функционирует с точностью отлаженного часового механизма: огромный космический механизм подчинен законам классической механики, которые и управляют движением всей Вселенной. Хотя в середине XIX в. Д. Максвелл, а затем Л. Больцман, ввели в физику *вероятность*, но ученые это не считали принципиальным, полагая, что использование вероятностей связано лишь с нашим незнанием всех деталей сложного механизма природы.

Данная парадигма господствовала в естествознании до середины второй половины XIX в. По своей сути эта картина мира является *метафизической*, поскольку в ней *отсутствуют внутренние противоречия и качественное развитие, все происходящее в мире жестко предопределено, а все разнообразие мира сведено к механике*. В механической картине мира *понимание* сводится к построению механической модели: если я могу представить такую модель – я понимаю, если не могу – значит, не понимаю его.

Рационально-механический образ этого мира демонстрирует нам мир как единый и единственный: мир твердой материи, который подчинен жестким однозначным законам. Сам по себе он лишен духа и свободы. Жизнь и разум в механической картине мира не обладают никакой качественной спецификой. Такая действительность не несет в себе никакой необходимости появления человека и сознания. Человек в этом мире – ошибка, курьезный случай, побочный продукт звездной эволюции. Полагая человека случайностью, механистическая наука не интересуется его судьбой, его целями и ценностями, которые выглядят смешными в грандиозной машине Вселенной, похожий на огромный полностью детерминированный часовой механизм, в котором действует непрерывная цепь взаимосвязанных причин и следствий.

Электромагнитная картина мира начала формироваться во второй половине XIX в. на основе исследований в области *электромагнетизма*. Основную роль здесь сыграли исследования М. Фарадея и Д. Максвелла, которые ввели понятие **физического поля**. В процессе формирования этого понятия на смену механической модели эфира пришла *электромагнитная модель*: электрическое, магнитное и электромагнитные поля трактовались первоначально как разные "состояния" эфира. Впоследствии необходимость в эфире отпала. Пришло понимание того, что *электромагнитное поле само есть определенный вид материи* и для его распространения не требуется какая-то особая среда-эфир.

Электромагнитная картина мира продолжала формироваться в течение трех десятилетий XX в. Она использовала не только учение о магнетизме и достижения атомистики, но также и некоторые идеи современной физики (теории относительности и квантовой механики). После того как объектом изучения физики наряду с веществом стали разнообразные поля, картина мира приобрела более сложный характер, но все равно это была картина классической физики.

Основные ее черты следующие. Согласно этой картине материя существует в двух видах – *веществе и поле*, между которыми имеется непроходимая грань: вещество не превращается в поле и наоборот. Известны два вида поля – *электромагнитное* и *гравитационное*, соответственно – два вида фундаментальных взаимодействий. Поля, в отличие от вещества, непрерывно распределяются в пространстве. *Электромагнитное взаимодействие* объясня-

ет не только электрические и магнитные явления, но и другие – оптические, химические, тепловые. Теперь все стремятся свести к электромагнетизму. Вне сферы господства электромагнетизма остается лишь тяготение.

В качестве элементарных ”кирпичиков”, из которых состоит вся материя, рассматриваются три частицы – *электрон, протон и фотон*. Фотоны – кванты электромагнитного поля. *Корпускулярно-волновой дуализм* ”примирает” волновую природу поля с корпускулярной, т.е. при рассмотрении электромагнитного поля используются, наряду с волновыми, и корпускулярные (фотонные) представления. Элементарные ”кирпичики” вещества – электроны и протоны. Вещество состоит из молекул, молекулы из атомов, атом имеет массивное ядро и электронную оболочку. Ядро состоит из протонов. Силы, действующие в веществе, сводились к электромагнитным. Эти силы отвечают за межмолекулярные связи и связи между атомами в молекуле; они удерживают электроны атомной оболочки вблизи ядра; они же обеспечивают прочность атомного ядра (что оказалось неверным). Электрон и протон – стабильные частицы, поэтому атомы и их ядра тоже стабильны. Картина, на первый взгляд, выглядела безупречно. Но в эти рамки не вписывались такие, как считалось тогда, ”мелочи”, например, радиоактивность и др. Скоро выяснилось, что эти ”мелочи” являются принципиальными. Именно они и привели к ”краху” электромагнитной картины мира.

Электромагнитная картина мира представляла огромный шаг вперед в познании мира. Многие ее детали сохранились и в современной естественно-научной картине: понятие физического поля, электромагнитная природа сил, отвечающих за различные явления в веществе (но не в самих атомах), ядерная модель атома, дуализм (двойственность) корпускулярных и волновых свойств материи и др. Но и в этой картине мира также господствуют однозначные причинно-следственные связи, все таким же образом жестко предопределено. Вероятностные физические закономерности не признаются фундаментальными и поэтому не включаются и в нее. Эти вероятности относили к коллективам молекул, а сами молекулы все равно следовали однозначным ньютоновским законам. Не менялись представления о месте и роли человека во Вселенной. Таким образом, и для *электромагнитной картины мира также характерна метафизичность мышления*, где все четко разграничено, внутренние противоречия отсутствуют.

4.3. Кризис физики и "новейшая революция в естествознании"

Нужно твердо усвоить хотя бы то, что нам известно, для того чтобы поставить на место новые факты, когда они появятся.

А.Конан Дойл

Особое место в развитии науки занимает период с конца XIX в. по начало XX в. К 80-м годам XIX в. сложилось убеждение, что физика как наука находится на завершающем этапе своего развития, а описание законов природы должно вскоре принять всеобъемлющую и окончательную форму. Достижения физики в области механики, электромагнетизма, оптики, термодинамики породили иллюзию полного торжества человеческого разума, раскрывшего все тайны природы, привели к абсолютизации знаний. Эта вера нашла свое выражение, например, в известном вопросе Кирхгофа: "Разве осталось еще что-нибудь открывать?" Можно также привести и воспоминание М. Планка: "Когда я начал свои физические занятия и спросил у своего почтенного учителя Ф. Жолли совета об условиях и перспективах моих занятий, он представил мне физику как . . . почти вполне созревшую науку, которая должна вскоре принять свою окончательную устойчивую форму . . .". (Цит. по: [34].) Об этом свидетельствует и тот факт, что выдающийся математик Гильберт предложил рассмотреть проблему *аксиоматизации всей физики*, т.е. сформулировать конечное число исходных аксиом, из которых чисто логическим путем можно было бы вывести все следствия, достаточные для полного описания физической картины мира. Это шестая из двадцати трех знаменитых проблем, выдвинутых им в августе 1900 г. на II Международном конгрессе математиков.

Но в относительно короткий период с 1885 по 1905 гг. были сделаны открытия, которые говорили, что ни о каком завершении физики как науки не может быть и речи. Эти открытия не только вступали в противоречие с существующими концепциями, но и опровергали многие "старые" принципы.

Перечислим кратко некоторые наиболее важные открытия. В 1885 г. И. Бальмер обнаружил закономерность в открытой им серии спектральных линий водорода; в 1887 г. Г. Герц открыл *фотоэффект*, который затем был переоткрыт и другими учеными; в

1895 г. В. Рентген открыл новый вид излучения (X-лучи) – *рентгеновское излучение*; в 1896 г. А. Беккерель – явление самопроизвольного излучения урановой соли, которое получило название *радиоактивности*. В 1898 г. открыты новые элементы, обладающие радиоактивностью. В 1897 г. Дж. Томсон открыл первую элементарную частицу – *электрон*. Природа новых открытий не была понятна, они не укладывались в рамки сформированных к тому времени представлений. Впервые в физике была обнаружена *дискретность*, которая проявилась в линейчатости спектров газов. Понятие дискретности потребовалось и для объяснения загадок фотоэффекта. Физики привыкли к тому, что физические величины всегда изменяются *непрерывно* – *идея дискретности* им казалась "безумной". Оказалось, что эфир не существует, не была понятна природа X-излучения. Всегда считалось, что химические элементы неизменны, но выяснилось, что они могут *взаимопревращаться*. Непонятно откуда берется энергия. Все это сильно потрясло физиков. В связи с этим стали возникать сомнения в справедливости даже закона сохранения энергии. Создалось впечатление, что рушатся фундаментальные законы. Начали ставиться под сомнение основополагающие принципы: закон сохранения энергии, второе начало термодинамики и другие. Среди физиков стала модной фраза, что материя исчезла – остались лишь одни уравнения.

Этот период А. Пуанкаре назвал **кризисом физики**. Анализ сущности и причин кризиса был сделан В. Лениным в книге "Материализм и эмпириокритицизм", которая вышла в 1909 г. Пятая глава книги называлась "Новейшая революция в естествознании и философский идеализм". Здесь было показано, что *сущность революции состоит в замене метафизического материализма диалектическим*.

Таким образом, XIX в. подвел человека к пониманию *диалектики природы*, как говорят философы, но он сам остался на позициях метафизического материализма. Метафизическое мышление является массовым практическим мышлением, характерным для опытного и обыденного сознания. Ф. Энгельс отмечал, что для метафизика вещи и их мысленные отражения, т.е. понятия, суть отдельные, неизменные, застывшие раз и навсегда данные предметы. Человек с таким мышлением рассматривает мир не в развитии, связях и противоречиях, а как механическую совокупность явле-

ний, в которой его интересуют не связи вещей, их противоречия и направленность развития, а отдельные события, факты, явления. Иногда это называют здравым смыслом. Но важно помнить, что здравый смысл бывает плохим советчиком, ибо он ограничен, ориентирован на повторяющееся, на постоянство, на привычное и известное. Метафизическое мышление не позволяет за отдельными вещами видеть их движение, так же как за деревьями не видно леса. Метафизика – это основа бюрократизма и догматизма.

Как уже отмечалось, согласно диалектическому взгляду предметы и явления находятся в движении, во взаимосвязи и развитии; материи присуще качественное превращение одних предметов в другие, уничтожение отжившего, устаревшего и утверждение, укрепление нового. Диалектика признает самодвижение, саморазвитие природы и общества. С этой точки зрения *материя не исчезла, а исчез тот предел, до которого мы знали материю*; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными. *Все грани в природе подвижны, условны, относительно и выражают разные степени приближения нашего ума к познанию материи.*

Оценивая качественный поворот в миропонимании, который произошел на рубеже XIX-XX столетий, А. Эйнштейн и Л. Инфельд писали, что в физику были введены новые революционные идеи, открывшие путь к новому философскому взгляду, отличающемуся от механического. Они привели к развитию современной физики, к созданию новых понятий, образующих новую картину действительности.

4.4. Научные революции

То, что мы знаем, – ограничено, а то, чего не знаем, – бесконечно.

П. Лаплас

Развитие естествознания не является монотонным процессом количественного накопления знаний об окружающем мире. В развитии науки время от времени возникают переломные этапы, кризисы, выход на качественно новый уровень знаний, который радикально изменяет прежнее видение мира или картину мира. Такие переломные в истории науки этапы называют **научными революциями**. *Научная революция есть процесс коренного, качествен-*

ного переворота знаний и представлений о мире, вызванный научными достижениями и открытиями; это коренная ломка представлений о строении мира и положения в нем человека, великий поворот в мышлении, перелом в развитии науки. При этом старое, занимавшее до тех пор господствующее положение, заменяется на новое, а не переделывается постепенно шаг за шагом. Революционные преобразования в естествознании означают коренные, качественные изменения в концептуальном содержании его теорий, учений и научных дисциплин.

Революции совершаются людьми как их *сознательная, целенаправленная деятельность*. В природе также происходят коренные и качественные изменения, но здесь они носят стихийный характер. В любой научной революции можно хронологически выделить более или менее длительный исторический период, в течение которого она происходит. Революция, неся разрушение старому в самом его фундаменте, приводит и к позитивному – создает на месте разрушенного старого новое. Это естественный, закономерный процесс. Периоды спокойного развития сменяются взрывной волной научного творчества. В этот период появляются богато одаренные личности, которые поднимают определенные области знаний на небывалую высоту. Эти периоды, как писал известный французский физик Луи де Бройль, характеризуют решающие этапы в прогрессивном развитии наших знаний.

Научные революции приводят к изменению основ научного знания, которые складываются из целого ряда устойчиво связанных систем, учений и понятий, называемых *парадигмами*. Переход от одной парадигмы к другой совершается путем научной революции, которая ломает устаревшую парадигму и открывает дорогу к выработке и установлению новой. Характер и содержание самих научных революций изменяются по мере того, как происходит общее развитие всего научного знания. Оно проходит последовательно различные ступени, переходит от более низких на более высокие, продвигаясь вперед к более полному раскрытию познаваемой истины. Каждый такой переход с одной ступени познания на другую происходит в виде революционного переворота в науке.

Всякое познание начинается с эмпирической стадии, т.е. с ощущений, улавливаемых непосредственно нашими органами чувств. Ее содержанием служит живое созерцание наблюдаемых нами явлений. Далее от изучения непосредственных явлений мы перехо-

дим к раскрытию их сущности, которая обнаруживается посредством работы нашего абстрактного мышления. Особенности научных революций обусловлены тем, что сама *сущность вещей и явлений носит многоступенчатый характер*. Переход от одной ее ступени к последующей при движении вглубь познаваемой сущности влечет за собой каждый раз коренную ломку прежних научных представлений. Сначала люди познавали видимый для них окружающий мир – мир макровещей и макроявлений (макромир). Когда этот мир был достаточно познан, люди перешагнули ”границу”, отделявшую макромир от скрытого внутри него микромира. С тех пор они двигаются все дальше и дальше вглубь микроявлений.

Существуют различные классификации научных революций как по времени их происхождения, так и по решаемым ими задачам. Здесь мы рассмотрим классификацию, предложенную известным философом естествознания Б. Кедровым. Он выделяет *три типа научных революций*.

1) Научные революции I типа (середина XIV в. – конец XVIII в.). Они привели к *разрушению наивных представлений о макромире*. На ранней стадии своего развития человечество еще не выработало правильного представления об окружающем мире. Оно мыслило наивно и примитивно: то, что я вижу и осязаю, и есть сама действительность. Такой я ее воспринимаю своими органами чувств. В результате в течение длительного времени у людей складывалась уверенность в том, что видимое или кажущееся нам и есть сама действительность. Такое убеждение превратилось в барьер на пути к познанию истины, которая, как правило, скрывается от непосредственного взора людей за обманчивой видимостью.

Разрушение данного барьера составляло задачу революций I типа. Каждый раз, когда такие революции совершались, прежние наивные и ошибочные представления как бы “переворачивались”. Эти революции доказывали *необходимость для науки критического разума*. Так происходило в астрономии (XVI в. – открытие Н. Коперника того, что планеты движутся вокруг Солнца), в механике (XVII в. – открытия Г. Галилея и И. Ньютона), в химии (XVIII в. – учение А. Лавуазье, установившего сущность процесса горения), а позднее – в биологии, общественных науках и философии.

Открытие Коперником гелиоцентрической системы мира, которая пришла на смену Птолемеевой геоцентрической системе, считается *первой глобальной научной революцией* в истории человечества. Она привела к принципиально новому миропониманию, которое исходило из того, что Земля одна из планет, движущихся вокруг Солнца по круговым орбитам. Коперник впервые высказал очень важную мысль о движении как естественном свойстве небесных и земных объектов, подчиненном некоторым закономерностям единой механики. Учение Коперника подрывало опирающуюся на идеи Аристотеля религиозную картину мира, исходившую из признания центрального положения Земли, что давало основание объявлять находящегося на ней человека центром и высшей целью мироздания.

2) Научные революции II типа (вторая половина XVIII в. – XIX в.) привели к *проникновению идеи развития в науку о макромире*. Революции I типа, разрушая веру в видимость, все же не доводили начатое до конца. Оставалось нетронутым убеждение, что процессы в мире неизменны испокон веков, что они повторяются в одном и том же вечном круге. Объявлялись неизменными, раз и навсегда данными вновь открываемые законы природы, а также сущность наблюдаемых явлений. Такой взгляд означал не только признание абсолютной неизменности природы, но и ее дробление на различные не связанные между собой области, между которыми проводились резкие границы.

Научные революции II типа разрушали веру в абсолютную неизменность природы, в ее разделение на изолированные друг от друга участки. Они совершались в какой-либо области, как правило, после революции I типа, являясь ее прямым развитием. Иногда они происходили одновременно, но бывало, что революция II типа опережала революцию I типа.

Самые первые научные революции II типа произошли в астрономии (XVIII в. – космологическая гипотеза Канта-Лапласа о происхождении солнечной системы, которая известна как небулярная теория (небула – туман): из хаоса возникают туманности, склонные к развитию, которое приводит к тому, что в центре туманности возникает звезда); в химии (химическая атомистика, XIX в.). Из других революций этого типа отметим эволюционную теорию Ламарка в биологии (XVIII в.), диалектическую философию Гегеля (XIX в.) и др. (см.: [40].)

3) Научные революции III типа (XX в.) привели к *проникновению науки в область микромира*. В отличие от предыдущих революций, которые совершались в области познания явлений макромира, в ходе новейшей революции в естествознании диалектика шаг за шагом врывалась в область познания микромира, вскрывая его своеобразие и **качественное** отличие. В целом эти революции были направлены на то, чтобы *разрушить барьер, стоящий на пути познания микроявлений, сущностью которого была вера в качественную тождественность макро- и микромира*. Новейшая революция в естествознании происходила как бы дифференцированным образом: она разрушала основной барьер, стоявший между макро- и микромиром, не сразу одним ударом, а как бы по частям. Она совершалась поэтапно, переходя с одной ступени познания материи на другую, вглубь материи. Со временем она охватила практически все области естествознания, в том числе биологию, где особенно важные перевероты произошли в области генетики.

Революции III типа привели к крушению понятия *неделимого, неизменного атома, ввели идею дискретности в физику, уничтожили перегородки между различными сторонами объектов природы; привели к динамической модели атома, к созданию квантовой механики и теории элементарных частиц*. В итоге все эти открытия позволили "нарисовать" современную естественно-научную картину мира, которая будет обсуждаться в последующих разделах.

Революции III типа привели к кардинальному изменению представлений о материи, о пространстве и времени, причине и следствии и т.д., лежащих в основе нашего мировоззрения, и тем самым привели к пересмотру всей картины мира. Подчеркнем, что научные революции не отменяют старые знания, они их преобразуют, наполняют новым содержанием, дают им новую интерпретацию.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

картина мира, мировоззрение, мировосприятие, миропонимание, парадигма.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой картина мира и какую роль она играет в естествознании?
2. Какие картины мира различают и чем они различаются?

3. В чем состоит сходство и отличие картины мира от мировоззрения? Почему картина мира сопряжена с мировоззрением?
4. В чем сущность механической картины мира? Какая связь между механицизмом и метафизическим способом мышления?
5. В чем сущность электромагнитной картины мира? Что нового она вносит в картину мира?
6. В чем состоит сущность новейшей революции в естествознании и каковы ее особенности? К чему она привела?
7. Что такое научная революция? Приведите примеры.
8. Перечислите типы научных революций и какие барьеры они разрушали.
9. В чем сущность кризиса физики в начале XX в.?
10. В чем сущность ньютоновско-картезианской парадигмы?

Литература: [12, 23, 24, 40, 50, 53].

Дополнительная литература: [1, 2, 3, 4, 7, 13, 14, 16].

5. КОНЦЕПЦИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ И УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ

Синергетика и становление нового понимания мира. Универсальный (глобальный) эволюционизм.

Об этих территориях, почти полностью отрезанных от мира и административного влияния, ходили всевозможные, зачастую противоречивые слухи.

А. Стругацкий, Б. Стругацкий

5.1. Синергетика и становление нового понимания мира

Человек давно понял, что первоначально был **хаос**, из которого с течением времени образовались всевозможные упорядоченные структуры, живые существа и, наконец, он сам. Как все это могло совершиться? Ответ на этот вопрос является одним из основных водоразделов между *религией* и *наукой*. Религия утверждает, что решающую роль в возникновении порядка из хаоса играл Бог. Современная наука отводит эту роль случайным процессам; роль Бога играет Его Величество Случай. Процесс возникновения порядка из хаоса – не результат вмешательства свыше, а *результат самоорганизации материи на основе случайного поиска*. О том, что такое может быть, по-видимому, догадывался и А.С. Пушкин,

иначе бы он не написал такие удивительные по глубине и красоте строки:

О, сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог-изобретатель...

В процессе самоорганизации материи первоначальный хаос элементарных частиц, образовавшихся после Большого взрыва, постепенно организовался сначала в атомные ядра и атомы, затем в вещество звезд и планет. Этот же процесс привел к возникновению жизни на Земле, появлению все более сложных видов живых организмов.

Все существующие системы подразделяют на два принципиально различных вида: **замкнутые** (или изолированные) и **открытые**. Последние отличаются тем, что могут *обмениваться с окружающей средой веществом или (и) энергией, или (и) информацией*. Оказывается, что процессы в изолированных и открытых системах могут развиваться по совершенно разным законам.

Процессы в замкнутых системах, ведущие к установлению *теплового равновесия*, сопровождаются *возрастанием неупорядоченности*. Они идут в направлении от **порядка к хаосу**. С точки зрения молекулярно-кинетической теории в таких процессах *положению равновесия* отвечает *состояние максимального хаоса (неупорядоченности)*. В замкнутой системе имеет место **второй закон термодинамики** – *закон возрастания (неубывания) энтропии*. Иногда его также называют *принципом необратимости*.

Энтропия – некоторая числовая характеристика, отражающая *меру хаоса: чем больше энтропия, тем больше хаоса в системе*. Законы термодинамики утверждают, что всякая *изолированная система* (не подверженная внешним воздействиям) стремится к *состоянию термодинамического равновесия*, характеризуемого *максимальной энтропией* или *максимальным хаосом*. С точки зрения второго закона термодинамики считалось, что материи присуща тенденция к разрушению возникающей упорядоченности – возвращению к исходному хаосу. Следовательно, упорядоченное состояние вещества, наблюдаемое во Вселенной, возникло случайно, а жизнь, как самая высокая форма упорядоченности, тем более случайна и даже противостоит естественна.

Среди множества разнообразных систем, существующих в природе, особый интерес представляют сложные макроскопические неравновесные открытые системы, содержащие упорядоченные структуры. Именно они в конечном счете ответственны за все поразительное разнообразие и богатство форм и структур, которые нас окружают. В отличие от равновесных, *неравновесные системы* являются **неустойчивыми**, т.е. *даже сколь угодно малые изменения какого-либо параметра могут перевести ее в новое состояние*. Эти системы многочисленны и разнообразны: вихри в океане и атмосфере, химические реакции с временной и пространственной периодичностью, лазеры, живые организмы и экосистемы. Оказалось, что в открытых неравновесных системах процессы могут идти *в направлении от хаоса к порядку*, в них порядок рождается из хаоса. Такие процессы называют **самоорганизацией**.

В настоящее время доказано, что в сильно неравновесных условиях может совершаться переход от беспорядка, теплового хаоса к порядку. В открытых системах вдали от термодинамического равновесия могут спонтанно возникать новые типы структур. Такие типы структур, возникающие в процессе самоорганизации, назвали *диссипативными структурами*, так как для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых систем. Подобные структуры обладают устойчивостью, необходимой для их существования. Образование этих структур происходит не из-за внешнего воздействия, а за счет внутренней перестройки системы, когда система *самонастраивается* или **самоорганизуется** на внешние факторы, *достигая равновесия с условиями внешней среды*. Процессы самоорганизации математически описываются совершенно иначе, чем равновесные процессы, – они описываются *нелинейными уравнениями*.

Процесс самоорганизации, как и динамический хаос, связан с динамикой системы, а не с конкретной природой исследуемого объекта. Потому он имеет универсальный характер и проявляется в физике, химии, биологии, экономике и т.д. Организующим началом при формировании упорядоченных структур является *неустойчивость и нелинейность*. Но здесь они работают по-другому, чем при установлении динамического хаоса. Для образования упорядоченных структур важную роль играют *нелинейный отбор* и *синхронизация* или *координация*, суть которых состоит

в следующем. В неравновесной среде за порогом неустойчивости одновременно нарастают самые разнообразные движения или возбуждения. На линейной стадии процесса, когда амплитуды этих возбуждений малы, царит полный хаос. На нелинейной стадии, когда их амплитуды становятся достаточно большими, начинает работать *нелинейная конкуренция*, так как все возбуждения получают энергию из одного источника. Ясно, что выживают лишь те из них, которые лучше приспособлены для этого, или, как говорят, *синхронизованы (скоординированы)* с источником энергии и между собой. В результате в системе возникают *коллективные формы движения*, между которыми существует **конкуренция**, которая и “производит” *отбор* наиболее устойчивых из них.

Таким образом, комбинация взаимной конкуренции и синхронизации образований разной ориентации и масштабов приводит к установлению весьма сложных структур. Причем этот *переход происходит совершенно спонтанно (случайно)*. Изучением таких процессов занимается раздел науки, который называют **синергетикой**.

Слово *синергетика* происходит от греческих слов “вместе” и “действую” и означает совместное, согласованное действие. Этот термин в качестве названия нового научного направления предложен немецким ученым Г. Хакеном. **Синергетикой** называют *область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических, химических, биологических и других системах*. Другими словами, *синергетика – это наука о самоорганизации в неравновесных открытых системах различной природы, наука о законах рождения порядка из хаоса, наука о совместном, согласованном действии*. В системах, которые изучает синергетика, наблюдается *согласованное поведение*, в результате чего *возрастает степень ее упорядочения*, т.е. уменьшается энтропия. Синергетика изучает связи между элементами в открытых системах благодаря интенсивному (потокосому) обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях.

Процесс самоорганизации (возникновение структур) происходит не во всякой макроскопической системе. Самоорганизация возможна при следующих условиях: система должна быть *открытой* и *неравновесной*; в ней должна присутствовать *стохастичность*; она должна быть *неустойчивой* относительно слабых воз-

мущений и *нелинейной*. Сильнее всего нелинейность выступает в массовых, кооперативных явлениях, где *согласованно (кооперативно, когерентно)* действует значительная доля участников процесса.

Математической моделью динамической системы служат нелинейные дифференциальные уравнения. Особенность их состоит в том, что они имеют *несколько качественно различных решений*. Так как эти решения определяют эволюцию данной системы, то физический смысл множественности решений состоит в том, что динамическая система оказывается, как говорят, в состоянии *открытого будущего*. Осуществима лишь *одна альтернатива из нескольких*, но какая именно – **решает случай**, т.е. действие ничтожной флуктуации динамической переменной или физического параметра реальной системы. Ничтожной – так как при определенных значениях параметров система утрачивает устойчивость, делаясь чувствительной даже к бесконечно слабому воздействию. Можно образно сказать, что в данных условиях система находится на *развилке путей в будущее*.

Изменение числа (или устойчивости) решений называется **бифуркацией** (от латинского слова “развилка”), а точка, в которой это происходит, – *точкой бифуркации*. Бифуркацию иногда называют *катастрофой*, а соответствующий раздел математики – *теорией катастроф*. То, что выступает в роли флуктуации (инициатора), чье вмешательство в момент неустойчивости определяет судьбу последующей эволюции, называют *репликатором* (от латинского – “развертывание, создание себе подобной структуры”). Можно сказать: репликатор – это то, что выделяет данный случай из множества других флуктуаций или шумов, превращая его в “Событие”. Что именно, решается в каждом конкретном случае. Например, в генетике репликатором выступает ген, в лазере – квант излучения, испущенный в ходе спонтанного излучения.

Спонтанность образования диссипативных структур и приставка “само-” в слове самоорганизация создают впечатление, что переход от хаоса к порядку происходит сам собой и никакого агента у процесса синхронизации нет. Возможно, поэтому не все исследователи согласны с данным термином. В оправдание этого термина можно сказать, что лидером самоорганизации становится репликатор и происходит репликация (воспроизведение) его индивидуальных характеристик другими участниками процесса формирования

диссипативных структур. В итоге именно его характеристики закрепляются в поведении системы. Поэтому его иногда называют еще и “серым кардиналом” самоорганизации.

Изучение свойства объектов исследователи обычно начинают с анализа, т.е. разложения их на отдельные части – подсистемы. Например, физик разлагает кристалл на атомы, биолог – орган на отдельные клетки. Поняв, как “работают” отдельные части, пытаются объяснить свойства всего объекта в целом (синтез). Однако не всегда свойства полной системы возможно объяснить на основе простой суперпозиции свойств отдельных ее частей. Как правило, отдельные подсистемы взаимодействуют друг с другом, иногда взаимодействие даже выглядит *целенаправленным*. При этом у полной системы возникают такие новые свойства, которые качественно отличаются от свойств отдельных подсистем. **Основная задача синергетики** – вскрыть *общие принципы*, по которым отдельные подсистемы формируют макроскопические свойства полной системы. Эта программа охватывает широкий круг явлений, так как в качестве подсистем могут выступать атомы, молекулы, клетки, компьютеры и даже человек. Важно, что в открытых системах можно менять потоки энергии и вещества и тем самым управлять образованием диссипативных структур.

Рассмотрим некоторые примеры. **Облачность**. Многие из тех, кто летал на самолете над облаками, могли наблюдать упорядоченную, регулярную структуру облаков в виде регулярных “валов”, прямоугольных “улиц”, правильных прямоугольных или шестиугольных ячеек и т.п. (см. рис. 5.1). Весь этот геометрический порядок образуется из хаоса молекулярных движений, разнообразных возмущений в воздушной атмосфере и слое водяных паров, вызываемых неравномерностью их нагревания, приводящей к интенсивной конвекции. Классическим примером возникновения структуры являются **ячейки Бенара** – рис. 5.2, открытые Г. Бенаром в 1900 г.

Эффект состоит в том, что при нагревании слоя вязкой жидкости (например, масла) до определенной (критической) температуры в ней возникают упорядоченные структуры из шестиугольных конвекционных ячеек. Здесь движение жидкости организовано более высоко, чем микроскопические движения в состоянии покоя. Чтобы возникла наблюдаемая невооруженным глазом картина течения, огромное количество молекул должно двигаться согласо-



Рис. 5.1. Типичный вид "улиц", образующихся в облаках

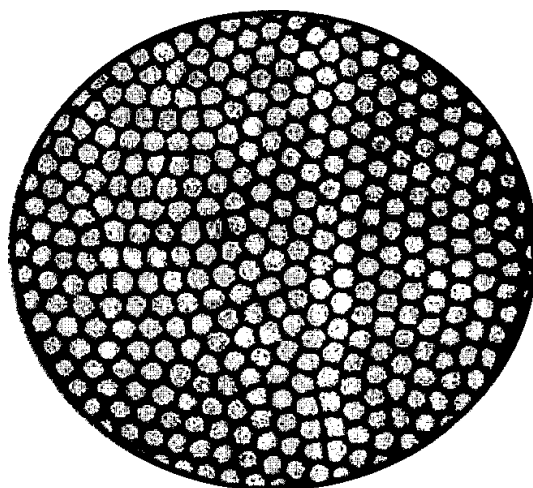


Рис. 5.2. Ячеистая структура жидкости при неустойчивости Бенара

ванно (когерентно) на наблюдаемых расстояниях. Размеры ячеек могут достигать десятков миллиметров. Возникающая структура поддерживается за счет подвода тепла. Вблизи равновесия жидкость однородна, движение молекул несогласованно и описывается вероятностными законами. Когда возникают ячейки Бенара, в одной точке пространства молекулы жидкости движутся вверх, в другой – вниз, как по команде, но при этом нет никакой упорядочивающей их силы. Появление этих структур нельзя объяснить взаимодействием молекул между собой, так как расстояния, на которых они взаимодействуют, составляют примерно 10^{-8} см, а ячейки в поперечнике могут быть до 1 см. Отметим также, что здесь происходит еще и нарушение симметрии, поскольку соседние вихри вращаются в противоположных направлениях: один по часовой, другой против часовой стрелки. В однородном состоянии разные области ничем не отличаются друг от друга. Этот пример демонстрирует то, что *неравновесность может быть источником порядка*.

В химии известны, так называемые, **химические часы**. При определенных условиях некоторые химические реакции сопровождаются периодическими изменениями концентраций реагентов: с течением времени один реагент сменяется другим, затем вновь восстанавливается и снова исчезает. Получается *периодический химический процесс* в пространстве и времени, который называют реакцией **Белоусова–Жаботинского**. При этом образуются структуры, подобные, например, показанным на рис. 5.3.

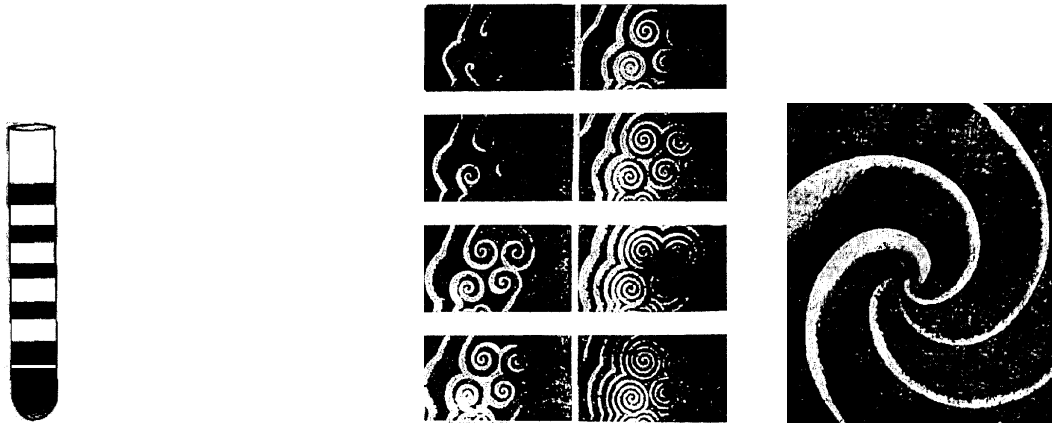


Рис. 5.3. Самопроизвольное появление пространственных структур в реакции Белоусова–Жаботинского

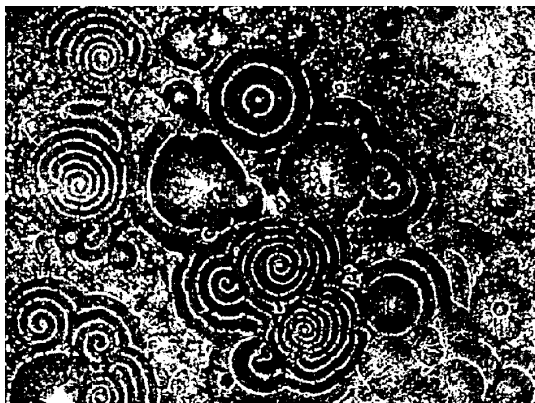


Рис. 5.4. Концентрические и спиральные волны агрегирующих популяций клеток *Dictyostelium discoideum* на поверхности агара. Движущиеся к центру амебы выглядят как блестящие полосы, а неподвижные – как темные полосы

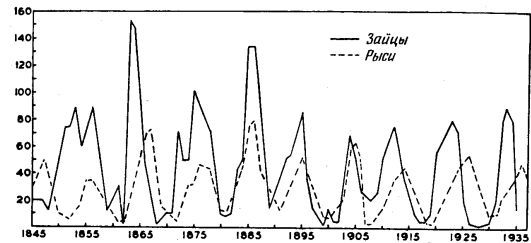


Рис. 5.5. Изменение численности рысей и зайцев-беляков

Очень похожая картина отмечается и в живой природе. На рис. 5.4 показаны концентрические и спиральные волны агрегирующих популяций живых клеток. Когда клетки начинают голодать, они периодически выделяют специальное вещество (подают сигнал). Другие клетки, приняв его, начинают двигаться в область повышенной концентрации этого вещества. В результате возникает распределение плотности клеток, напоминающих волновые картины в реакции Белоусова–Жаботинского. Это позволяет всему сообществу клеток контролировать большую территорию и формировать многоклеточное тело (до 10^5 клеток). Таким образом, в ответ системы на нехватку пищи происходит переход к новому уровню организации, которая характеризуется согласованным по-

ведением большого числа клеток, что позволяет организму гибко реагировать на неблагоприятные изменения среды.

Известно, что численность видов также подвержена временным колебаниям. Например, численность популяций зайцев и рысей зависит от их соотношения. Много рысей – мало зайцев, т.е. увеличение численности хищников приводит к уменьшению численности жертв-зайцев, и наоборот (рис. 5.5). Не вызывает сомнений, что динамика популяций может быть объяснена на основе синергетики.

Эволюцию рассматривают как образование все новых макроскопических структур – новых видов. Модели эволюции биомолекул основаны на математической формулировке принципа Дарвина – выживание наиболее приспособленного вида. Показано, что такой механизм обуславливает отбор, который наряду с мутациями может приводить к эволюционному процессу.

Типичным объектом синергетики является **лазер**. Это сильно неравновесная система. Переход от излучения лампы к излучению лазера представляет яркий пример самоорганизации: до порога возникновения лазерной генерации все атомы испускают излучение независимо один от другого (случайно, некоррелированно). Их излучение можно наглядно представить как случайный набор отдельных волновых цугов (“кусков”) (рис.5.6а). Выше некоторого порога (порог генерации) все атомы начинают испускать излучение одинаково или коррелированно (рис.5.6б). В результате возникает волновой цуг практически бесконечной длины. Переход лазера в режим генерации соответствует образованию ячеек Бена-ра в рассмотренном выше примере, т.е. при генерации в атомной системе происходит ее самоорганизация. При генерации ультракоротких импульсов (10^{-12} с) атомы также испускают излучение скоррелированно, как показано на рис.5.6в.

Макроскопические изменения, происходящие в **экономике**, часто носят драматический характер. Примером может являться переориентация капиталовложений с увеличения производства на его модернизацию. Это может привести к новому состоянию экономики – переходу от полной занятости к неполной со всеми вытекающими последствиями. Колебания между этими состояниями наблюдались и могут быть объяснены методами синергетики. Другим примером развития макроскопических систем может служить эволюция общества от аграрного к индустриальному.

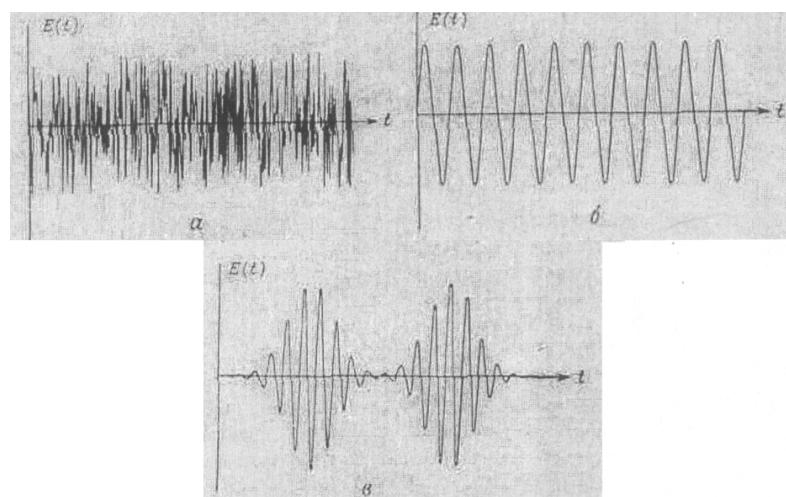


Рис. 5.6. *а* – зависимость напряженности поля $E(t)$ от времени t для излучения, испущенного лампой; *б* – зависимость напряженности поля $E(t)$ от времени t для излучения, испущенного лазером; *в* – зависимость напряженности поля $E(t)$ от времени t для ультракоротких импульсов лазерного излучения

Резкие изменения в макроскопических масштабах наблюдаются в **экологии** и родственных ей областях. Например, в горных районах изменение климата с высотой над уровнем моря может быть причиной существования различных растительных зон. Аналогичная ситуация и в отношении различных климатических поясов на Земле. Из других хорошо известных примеров подобного рода можно назвать загрязнение окружающей среды: увеличение зараженности на несколько процентов может привести к вымиранию целой популяции, например, к гибели рыбы в озере.

Исследования **социологов** свидетельствуют о том, что формирование "общественного мнения" – коллективный эффект, т.е. мнение одних членов группы влияет на мнение других индивидуумов. Поскольку в процессе формирования общественного мнения индивидуумы оказывают друг на друга взаимное влияние, то это явление может быть проанализировано методами синергетики. В частности, при некоторых внешних условиях (например, состояние экономики, высокие налоги) общественное мнение может резко измениться, что особенно видно при возникновении различных кризисных ситуаций.

Что общего между всеми приведенными примерами? Во всех случаях рассматриваются системы, состоящие из большого числа подсистем. При изменении определенных условий (управляющих параметров), даже если эти изменения ничем, казалось бы, не вы-

делены, в системе образуются *качественно новые структуры в макроскопическом масштабе*, т.е. система способна переходить из однородного состояния покоя в неоднородное, но хорошо упорядоченное состояние или даже в одно из нескольких возможных состояний. Такие системы могут находиться в различных устойчивых состояниях. В упорядоченном состоянии могут происходить колебания различных типов с одной или несколькими частотами, система может совершать случайные движения. Могут возникать пространственные структуры, например, ячейки типа пчелиных сот, концентрические волны или спирали. Эти структуры могут поддерживаться в динамике за счет непрерывного потока энергии (или вещества) через систему. В других случаях они сначала возникают в динамике, а затем как бы "затвердевают" (например, кристаллы, снежинки). В абстрактном плане также можно говорить, что и в социальных, культурных или научных "системах" возникают структуры – идеи, понятия, парадигмы. Во всех случаях это процессы самоорганизации, которые приводят к возникновению новых структур в макроскопических масштабах.

Общая черта таких переходов от простого поведения к сложному есть *упорядоченность и согласованность* в системе. Подчеркнем, что вдали от равновесия система может приспосабливаться к своему окружению несколькими способами, т.е. возможно несколько различных исходов. И лишь **случай** решает, какое из них будет реализовано. Тот факт, что из многих вариантов выбирается лишь один, придает системе *историческую направленность*, своего рода "память" о прошлом событии, которое произошло в критический момент и оказало существенное влияние на эволюцию системы. Это называют *бифуркацией*. В точке бифуркации поведение системы разветвляется и становится неоднозначным.

Возникновение порядка из хаоса в настоящее время исследуется во многих разделах науки, в том числе в экологии, социологии и экономике. Полученный естественным путем вывод, что **самоорганизация есть результат собственного, внутренне необходимого изменения системы**, распространяется и на **общественные процессы**. Фактически это означает переход от стихийной эволюционно-биологической организации к социально организованному уровню материальных структур. За последние 10–20 лет показано, что поведение многочисленных систем подчиняется общим законам синергетики.

Таким образом, синергетика установила, что *процессы разрушения и созидания, деградаци и эволюции во Вселенной равноправны*. Материи присуща созидательная тенденция, она способна осуществлять работу против термодинамического равновесия, **самоорганизовываться, самоусложняться**. Процесс самоорганизации имеет *пороговый характер*, а процессы нарастания сложности и упорядочения имеют *единый алгоритм*, независимо от природы систем, в которых они осуществляются. Возникновение упорядоченных сложных систем обусловлено *рождением коллективных типов поведения под воздействием флуктуаций, их конкуренцией и отбором того типа поведения*, который оказывается способным выжить в условиях конкуренции.

С синергетической точки зрения развитие неравновесных систем протекает путем нарастающей сложности и упорядоченности. При этом в развитии системы можно выделить две фазы: 1) период плавного эволюционного развития с хорошо предсказуемыми изменениями (линейная фаза), который, как правило, приводит к определенному неустойчивому критическому состоянию; 2) выход из критического состояния в новое устойчивое состояние с большей степенью сложности и упорядоченности происходит *скачком* (нелинейная фаза). Такой переход имеет *неоднозначный* характер, поскольку невозможно предсказать, какая ветвь развития будет выбрана – *все решает случай*. Когда же выбор сделан и система скачком переходит в новое устойчивое состояние, – назад возврата нет. Поэтому развитие таких систем имеет **принципиально непредсказуемый и необратимый характер**. Следовательно, **необратимость, вероятность и случайность** – объективные свойства и на макроскопическом уровне, а не только на микроуровне, а хаос не только разрушителен, но и созидателен, конструктивен, так как развитие осуществляется через неустойчивость и хаотичность.

Через какие фундаментальные бифуркации прошел наш земной мир? Их несколько. По мнению Н. Моисеева, первой из них было *образование биосферы*. Другая фундаментальная бифуркация прошла в два этапа. Около трех миллионов лет тому назад началась *палеолитическая революция*, вызванная глобальным похолоданием. *Неолитическая революция* была реакцией на *глобальный экологический кризис*, спровоцированный ускоренным истреблением диких животных, служивших пищей нашим предкам. Бла-

годаря созданию таких культурных образцов, как земледелие, а затем скотоводство, человечество выжило. Однако с тех пор сложилась традиция **переделять природу под “человека”**. Из-за нее сегодня человечество стоит на грани новой фундаментальной бифуркации – *климато-экологической*. Она возможна через 30–40 лет, если **человечество не изменит своей технологии и своего отношения к Природе**. Не секрет, что сейчас примерно каждый 500-й новорожденный имеет явные отклонения от нормы. Это грозит необратимым ухудшением генофонда к началу XXII в. и дегенерацией человечества.

В связи с этим Н. Моисеев провозглашает **синергетический императив**, который можно сформулировать так: *условия существования новой цивилизации, возникающей в обстановке переживаемой нами глобальной бифуркации, должны отвечать сути, направлениям и темпам процессов самоорганизации и эволюции биосферы Земли*. Поэтому модернизация образования, о которой в последние годы много говорят, также должна предполагать развитие обучаемых в духе синергетического императива.

Новые идеи, как правило, вначале отвергаются научным сообществом, но со временем, если они выдерживают проверку на истинность, становятся общепринятыми или даже входят в моду. Именно к такому этапу подошла синергетика. Прежде всего, она ломает многие из прежних распространенных установок и предубеждений. Она показала, что **сложноорганизованным самоорганизующимся системам, в т.ч. и социоприродным, нельзя навязывать пути их развития**. Управление такими системами следует рассматривать как *способствование их собственным тенденциям развития* с учетом присущих ей элементов саморегуляции. При этом важно понять **законы совместной жизни природы и человека, их коэволюцию**.

Синергетика свидетельствует о том, что для сложных систем, как правило, существует несколько *альтернативных путей развития*. Неединственность эволюционного пути, отсутствие жесткой предопределенности являются основой оптимистического взгляда на дальнейшее развитие мира, оставляют надежды на возможность выбора путей развития, которые устраивали бы человека и вместе с тем не стали бы разрушительными для природы. Она показывает, что механизмы слепого жесткого отбора – механизмы чисто рыночного типа, не единственно возможные в эво-

люции сложных, в том числе и социально-экономических, систем. Существует путь многократного сокращения временных затрат и материальных усилий, путь резонансного возбуждения желаемых и реализуемых в данной среде структур. По сути дела, синергетика приводит к *новым принципам мировидения* и даже новой идеологии. Интерес к синергетике обусловлен тем, что она формирует *целостный, полидисциплинарный подход* к исследованию явлений, которые существенны в *космических, биологических, социоприродных, социокультурных и психоментальных процессах*. Становится общепринятым, что **законы эволюции живого и неживого одни и те же**. Фундаментальность явлений, исследуемых синергетикой, ее идеи, образы и методы привлекают как представителей естественных наук, так и гуманитарных. Она позволяет сблизить науку с искусством, с этическими учениями. В конце XX в. приходит осознание того, что *наука и искусство*, которые в течение почти трех столетий считались противоположными полюсами, *взаимосвязаны*. И это имеет большее значение скорее для науки, чем для искусства.

Хотя синергетика раскрывает причины глобальной нестабильности развития мира, особенно в современной ситуации, синергетическое мировоззрение проникнуто оптимизмом, поскольку синергетика стремится понять принципы эволюции и коэволюции сложных систем, выяснить общие механизмы катастроф в таких системах. Она стремится овладеть средствами нелинейного управления системой, находящейся в состоянии неустойчивости. Именно тогда оказывается, что возможно слабым воздействием “подтолкнуть” систему на один из ее собственных, хотя и скрытых, но благоприятных для человека путей развития, а значит, обеспечить самоуправляемое развитие. Таким образом, синергетика раскрывает конструктивную роль хаотического процесса в появлении нового и тем самым помогает человеку преодолеть древний панический ужас перед хаосом.

Синергетика дает новый образ мира природы, человека и общества как открытых систем, развивающихся по нелинейным законам, раскрывает двойственную природу случайного, созидающие и деструктивные начала. В ее основе лежит утверждение фундаментальности вероятностных закономерностей в развитии мира и всех его подсистем. При этом *случайность и неопределенность выступают как важнейшие свойства всего мироздания*. Она подводит к **универсальному видению мира**, дает единое пони-

мание процессов эволюции различных систем, природы коэволюционных взаимодействий и интеграции состояний на пути развития, полное представление о том, как из хаоса возникает упорядоченная сложность. Тем самым она позволяет построить *картину мира, в которой все – жизнь неживой и живой природы, жизнь и творчество человека, жизнь общества – связано и подчинено единым фундаментальным законам*. Она также приводит к более глубокому осознанию взаимосвязи всего сущего – природы, человека и его культуры, необходимости поддержания их синхронного развития; к пониманию нравственного и экологического императива как нормы жизни; к становлению нового отношения к миру природы и миру людей.

По мнению некоторых ученых, синергетика, возможно, знаменует начало новой научной революции, поскольку она не просто вводит новую систему понятий, но и меняет стратегию научного познания, способствует выработке новой научной картины мира и ведет к новой интерпретации принципов естествознания. Если традиционная наука изучала замкнутые системы, обращая особое внимание на устойчивость, порядок и однородность, то *синергетический подход направлен на открытые системы, где главную роль играют неупорядоченность, нелинейность, неустойчивость, неравновесность*. И. Пригожин считает, что синергетический взгляд на мир ведет к революционным изменениям в нашем понимании случайности и необходимости, необратимости природных процессов, позволяет дать принципиально новое толкование энтропии и радикально меняет наше представление о времени и в конечном счете наше **мировоззрение**.

Думается, что синергетика позволит также решить в определенной мере и проблему широкого кругозора, которая становится все острее и острее, потому что современные науки раздроблены на многочисленные разделы и специализации, где каждый говорит на своем языке и часто не понимает другого. Проблема широкого кругозора – это проблема реализации всех специальностей, создание обстановки взаимосвязи и взаимопроникновения наук и формирования общего понимания мира. Несомненно, что изучение синергетики ведет к расширению общего кругозора, столь необходимого в современном мире.

5.2. Универсальный (глобальный) эволюционизм

Одной из центральных идей современной науки является **идея развития**, или **идея эволюции**. В простейших формах она начала проникать в естествознание в XVIII в. Проникновение идеи развития в биологию, геологию, социологию, гуманитарные науки проходило независимо в каждой из этих областей. Как это ни странно, но особенно трудно эта идея пробивала себе дорогу в физико-химических науках, где практически до середины XX в. исследовались в основном замкнутые обратимые системы. Лишь к концу прошлого века естествознание нашло теоретические и методологические средства для создания *единой модели эволюции, выявления общих законов природы, связывающих в единое целое происхождение Вселенной, возникновение солнечной системы и планеты Земля, возникновение жизни, человека и общества*. Такая концепция получила название **универсального** или **глобального эволюционизма**. Иногда это называют *постнеклассическим* или *эволюционно-синергетическим мышлением*

В этой модели *Вселенная предстает перед нами как развивающееся в пространстве и времени природное целое*, а вся ее история от *Большого взрыва до возникновения человечества рассматривается как единый процесс*, в котором *космический, химический, биологический и социальный типы эволюции связаны между собой*. Это значит, что Вселенная, Универсум претерпевают непрерывные изменения, и мы наблюдаем их непрекращающуюся эволюцию. Все это происходит в процессе **самоорганизации**. К числу таких процессов относится и становление Разума, который тоже возник в результате эволюции Вселенной. Следовательно, можно сказать, что **все существующее есть результат эволюции**, которая имеет **всеобщий характер**.

Одним из важнейших выводов концепции универсального эволюционизма является мысль о **направленности развития мира как целого на повышение своей структурной организации**. Вся история Вселенной представляет **единый процесс самоорганизации и развития материи**. В рамках данной концепции важную роль играет **антропный принцип**, постулирующий тот факт, что возникновение человечества стало возможным в силу того, что *свойства Вселенной именно такие, какими они являются*. В противном случае Вселенную некому было бы познавать. *Антропный принцип указывает на глубокое единство законо-*

мерностей исторической эволюции Вселенной и предпосылок возникновения и развития органического мира вплоть до антропосоциогенеза. Согласно этому принципу существует *некоторый тип универсальных системных связей, которые определяют целостный характер существования и развития нашего мира* как проявление бесконечного многообразия материальной природы.

Идея универсального эволюционизма, с одной стороны, выступает как некий *регулятивный принцип*, который дает представление о мире как о единой целостности и позволяет мыслить общие законы бытия в их единстве. С другой – он ориентирует современное естествознание на поиск конкретных закономерностей универсальной эволюции материи на всех ее структурных уровнях и на всех этапах самоорганизации.

В основе универсального эволюционизма лежат *эмпирические обобщения*, которые, по терминологии В. Вернадского, являются утверждениями, не противоречащими опыту и вытекающими из него. Сформулируем некоторые из них (согласно Н. Моисееву).

1. *Вселенная представляет собой единую саморазвивающуюся систему*, т.е. все ее элементы так или иначе связаны между собой. **Человек также является неотъемлемой частью этой системы.** Н. Моисеев называет это постулатом системности или гипотезой о суперсистеме.

2. Все процессы во Вселенной протекают под действием случайных факторов при известной мере неопределенности, т.е. *случайность и неопределенность* в нашем мире на всех структурных уровнях **принципиальна.**

3. *Во Вселенной настоящее и будущее зависят* (но не определяются) *от прошлого.* Образно можно сказать, что всюду властвует *наследственность.* Это значит, что при анализе многих явлений необходимо учитывать *память о прошлом.* В частности, *жизнь на Земле описывается процессами с памятью*, которые называют *немарковскими процессами.* Однако эта область находится еще в начальной стадии своего развития.

Практически во всех существующих в настоящее время теориях имеется единая основа – на математическом языке все они описываются *марковскими процессами – процессами без последствий (без памяти).* Марковский процесс есть случайный процесс, для которого при известном состоянии системы в настоящий момент времени ее дальнейшая эволюция не зависит от ее состо-

яния в прошлом, или, другими словами, будущее и прошлое при данном настоящем не зависят друг от друга. Это свойство, определяющее процесс, называют марковским (по имени сформулировавшего его известного русского математика А. Маркова). Такие процессы широко используются при описании явлений окружающего нас мира.

В конце XX в. возникло понимание, что в биологических, экономических и социальных явлениях *нельзя пренебрегать предысторией*. Здесь роль памяти чрезвычайно велика, и она может непосредственно влиять на выбор пути развития. *Марковские процессы локальны во времени*, т.е., зная состояние системы в какой-либо момент времени t_0 , можно определить вероятностную картину поведения системы в будущем, причем она не изменяется от дополнительных сведений о событиях при $t < t_0$. *Немарковские процессы* учитывают эти добавочные сведения (память о прошлом) и поэтому по своей природе являются *нелокальными во времени*. Можно сказать, что немарковская система (человек, общество) живет одновременно в прошлом, настоящем и в будущем. Например, область нелокальности для общества составляет примерно 40 лет назад (в прошлое) и 40 лет вперед (в будущее) – срок активной жизни поколения. Вне этих пределов находится историческое прошлое и непредсказуемое будущее.

Теория немарковских процессов позволяет, в принципе, создать математические модели ряда экономических и социальных явлений; описывать различные ритмы в биологических, экономических и социальных процессах.

4. В мире действуют **принципы отбора**, которые утверждают, что все происходящее в природе не является абсолютным произволом. Другими словами, не все мыслимое реализуется в природе. Они также ограничивают вмешательство человека в Природу, поэтому их еще называют *принципами запрета*. В узком смысле под принципами отбора понимают просто законы природы (подробно они рассмотрены в разделе 2). Законы сохранения выполняют функции запрета.

5. Принципы отбора допускают существование *бифуркационных состояний*, т.е. таких состояний, из которых, даже при отсутствии каких-либо внешних воздействий, возможен переход объекта в целое множество новых состояний. В какое из них перейдет система, зависит от тех случайных факторов, которые будут дей-

ствовать в момент перехода. Такие переходы **не предсказуемы** принципиально.

Приведенные эмпирические обобщения справедливы как для процессов, протекающих в неживой природе, так в живом веществе и обществе. Поэтому они могут составить основу некоторого универсального языка, пригодного для описания любых процессов, протекающих на всех уровнях организации материи. Они также позволяют делать заключения фундаментального характера, являющиеся их следствием. При этом важно понимать, что одни и те же опытные факты могут приводить исследователей к разным утверждениям, потому что и здесь существует неопределенность. А значит, и *картина мира*, рисуемая исследователем, – **не единственная**. Это вытекает из первого постулата, ибо человек также является частью единой системы, для которой справедливы все ее основные свойства, в т.ч. и присутствие неопределенности.

Рассмотрим некоторые следствия из приведенных постулатов. Гипотеза суперсистемы отвергает предположения о существовании неких параллельных или ортогональных миров, которые не воспринимаются непосредственно нашими средствами познания и не взаимодействуют с нашей Вселенной.

Из факта, что мир стохастичен и в нем действуют механизмы бифуркационного типа, следует *необратимость эволюции*. Доказано, что вероятность повторения в эволюционном развитии Вселенной какого-либо из ее прошлых состояний равна нулю. Этот вывод имеет смысл строгой теоремы. Одновременно оно эквивалентно утверждению о *необратимости времени*.

Еще одно важное следствие: *случайность и бифуркации приводят в процессе эволюции к непрерывному росту разнообразия и сложности организационных форм материального мира*. Этот вывод также имеет характер теоремы. В данном утверждении заложен глубокий познавательный смысл: *процесс самоорганизации Вселенной имеет направленный характер – идет непрерывный рост разнообразия и усложнения как всей Вселенной, так и отдельных ее частей*. Кажется, что все это является следствием заложенных в ней возможностей, но детали самого процесса непредсказуемы. Однако факт направленности эволюции и общественного развития нельзя подменять представлением о его закономерности – это разные вещи. При общей направленности процесса развития, которая характеризуется ростом разнообразия

всех общественных отношений и другими характеристиками состояния общества, говорить о какой-либо закономерности нельзя, а тем более делать какие-либо социальные экстраполяции. Можно говорить лишь о *тенденциях*, об ожидаемых изменениях организационных структур.

В процессе эволюции непрерывно происходит разрушение существующих структур, дающих материал для возникновения новых. Поэтому смысл эволюции состоит не столько в совершенствовании отдельных организационных структур, их приспособлении к изменяющимся внешним условиям, сколько в замещении менее стабильных более стабильными в данной конкретной обстановке.

Особую роль в схеме универсального эволюционизма играет явление суперсистемы в новые системы с новой структурой связи. В результате у системы возникают новые свойства, отсутствующие у подсистем. Кооперативность наблюдается уже на уровне неживой природы (например, когерентность излучения, резонансы и др). В живом мире мы видим невероятное разнообразие различных форм кооперативного движения. В развитии живого вещества оно становится определяющим, наряду с внутривидовой борьбой и другими факторами, которые составляют содержание эволюции живого мира. Даже простейшие многоклеточные существа являются результатом действия кооперативных механизмов, приводящих к новой целостности. В обществе кооперативность занимает еще более важное место, выступая одной из основных составляющих человеческих отношений. **По мере развития цивилизации кооперативность будет играть все большую роль в судьбах человечества.**

Направленность мирового эволюционного процесса развития – не результат какого-либо целеполагания, а следствие тех эмпирических обобщений, которые определяют основные особенности самоорганизации. При этом происходит *ускорение процессов развития и уменьшение степени стабильности систем по мере роста их сложности*. Обратим внимание на то, что *стабильность и скорость эволюции* в определенном смысле противоречат друг другу. Это две противоречивые тенденции, но их можно примирить фактором *направляемого развития*, который предполагает, что наши воздействия способны лишь обеспечить желаемые тенденции или избежать тех или иных подводных камней, способных увести в сторону поток развития событий.

Тенденция уменьшения стабильности при усложнении материальных структур имеет прямое отношение к истории развития цивилизации. Именно поэтому в настоящее время зависимость человека от природных условий сильно возросла. В условиях резкого усложнения нашей цивилизации и роста ее могущества дальнейшее существование на Земле человека требует **тонкого согласования антропогенных нагрузок на биосферу с теми процессами, которые в ней происходят**. И вот здесь стабилизирующим фактором может быть **наука**, которая дает обществу не только представления об опасности, но и может помочь найти пути их преодоления, т.е. возникает своеобразная управляемость развития.

В этом контексте возникла гипотеза о том, что в процессе естественной эволюции Вселенная обретает с помощью человека способность не только познавать саму себя, но и направлять свое развитие так, чтобы компенсировать или ослабить возможные дестабилизирующие факторы. Тем самым у человечества появляется определенный шанс сохранить себя в биосфере, во Вселенной. Но способны ли мы им воспользоваться? Это действительно огромный вопрос, но то, как мы сейчас обращаемся с природой, не позволяет нам ответить на него утвердительно.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

бифуркация, кооперативность, нелинейность, немарковский процесс, неравновесность, неустойчивость, открытая система, самоорганизация, синергетика, система, стохастичность, эволюция, энтропия.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные идеи синергетики.
2. Что нового приносит синергетика в мировоззрение?
3. В чем состояло противоречие между эволюционной теорией Дарвина и классической термодинамикой?
4. Почему концепция самоорганизации является парадигмой исследования обширного класса сложноорганизованных систем?
5. Какие структуры называют диссипативными? Сформулируйте условия, необходимые для их возникновения.
6. В чем состоит значение синергетики для современного естественно-научного познания?
7. В чем суть концепции универсального эволюционизма?

8. Сформулируйте эмпирические обобщения, лежащие в основе принципа универсального эволюционизма. Приведите примеры следствий из них.

Литература: [15, 24, 27, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59].

Дополнительная литература: [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 17, 18, 54].

6. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

Материя, движение и взаимодействие, структурная организация материи. Концепции атомизма и поля. Концепции пространства и времени: классическая физическая модель пространства и времени; пространство-время в специальной теории относительности; пространство и время в общей теории относительности; черные дыры. Симметрия пространства и времени.

6.1. Материя, движение и взаимодействие, структурная организация материи

В картине мира ключевым является понятие “**материя**”, на которое выходят важнейшие проблемы естествознания. О важности этого понятия говорит и тот факт, что смена картин мира связана со сменой представлений о материи. Самое общее определение материи дает философия, рассматривая ее как *объективную реальность*, существующую независимо от человеческого восприятия. Все, что нас окружает, и вблизи, и в космических далях, все, что мы наблюдаем, объединяется одним термином – *материя*. К наиболее важным свойствам материи относятся: *движение, связь, взаимодействие, пространство и время, структурность и системная организация*. Материя *несотворима и неуничтожима*, она характеризуется бесконечным разнообразием по форме своих проявлений. Все в мире обусловлено естественными связями и взаимодействиями, причинными отношениями и законами природы. В этом смысле в мире нет ничего сверхъестественного и противостоящего материи. Человеческая психика и сознание тоже определяются материальными процессами и являются высшей формой отражения внешнего мира.

Весь материальный мир можно разделить на **три “царства”**: на *неживую природу* или “косное” вещество (по Вернадскому), *живую природу* (живое вещество) и *общество*. Хотя границы между

ними достаточно размыты, переход от одного к другому при развитии материи представляет собой целую революцию. Каждая из них означает *качественное изменение естественного хода вещей* и характера развития материи.

В физике понятие материи включает в себя различные виды существования **вещества** и **поля**. В последнее время сюда также включают и **физический вакуум**. К *веществу* относят физические тела (твердые, жидкие, газообразные и плазму), молекулы, атомы, элементарные частицы, к *полям* – свет, радиоволны, гравитацию и др. *Физический вакуум* – это пространство, в котором отсутствуют реальные частицы и выполняется условие минимума плотности энергии в данном объеме. Это не пустота, как считали когда-то, он не безжизнен и безлик, а полон энергии. Вакуум – сложная система, обладающая свойствами, совершенно непохожими на свойства твердой среды, жидкости или газа. В нем постоянно происходят непрерывные колебания (флуктуации) электромагнитных и других полей, рождаются и уничтожаются элементарные частицы, но все взаимодействия (электрическое, магнитное, гравитационное, ядерное) передаются от точки к точке. Природа физического вакуума и его строение изучены намного хуже вещества и поля. Однако *вакуум и вещество неразделимы*, ни одна вещественная частица не может быть изолирована от его присутствия и его влияния.

Неотъемлемым свойством материи является **движение**. Материя существует только в движении, абсолютного покоя нет. Под движением понимают не только перемещение тел относительно друг друга (механическое движение), но и *любое изменение его свойств, состояний, связей* и т.д., другими словами, существуют *различные формы движения материи*. В физике движение рассматривается в самом общем виде, как *изменение состояния или другой физической величины*. **Движение – это форма, способ существования материи**. Движение невозможно уничтожить. Это хорошо понимали уже древние греки, ведь именно им принадлежит высказывание: “все течет, все изменяется”.

Связь и взаимодействие также представляют важнейшие свойства материи, без которых невозможно ее существование. *Взаимодействие* – это процесс воздействия одних объектов на другие путем обмена материей и движением. Оно выступает как движение материи, а движение включает в себя различные виды взаимодействий. Для всякого объекта *существовать – значит*

взаимодействовать, как-то проявлять себя по отношению к другим объектам. Только через *взаимодействие можно узнать о существовании объекта*.

Важнейшими первичными фундаментальными понятиями, с помощью которых описывают материю, ее движение и взаимодействие, считаются понятия “**частицы**” и “**волны**”. Представление о частицах и волнах в классической физике основано на их противопоставлении друг другу. Во многих отношениях их свойства рассматриваются как прямо противоположные. Свое происхождение они ведут из мира обычного повседневного опыта.

Под *частицей* понимают *нечто строго локализованное в пространстве* и для определенных процессов *относительно неделимое*, сохраняющее свою индивидуальность. Движение частиц характеризуют *траекторией*; они не могут огибать препятствия, не проникают друг через друга, переносят импульс и энергию, имеют массу. Простейший физический образ частицы – малая доля любого материального объекта, некий твердый “мини-шарик”, перемещающийся в абсолютно пустом пространстве. Модель частицы используется для описания вещества. Она является достаточно универсальной: в определенных условиях и реальная элементарная частица, и пылинка, и планета могут рассматриваться как частицы. Модель частицы проста, поскольку для ее описания требуется всего лишь два независимых параметра – *местоположение (координаты) и время*. В классической физике движение частицы сводится к наглядному процессу перемещения вдоль траектории в пространстве.

Понятие волны возникло в науке значительно позже, но оно тоже связано с повседневным опытом. Для *волн*, в отличие от частиц, характерны *отсутствие строгой локализации в пространстве* – они заполняют часть или все пространство, *возможность разложения на отдельные компоненты*, которые являются такими же волнами, как и исходная, *возможность наложения (суперпозиции) волн*. С помощью понятия волны также описывают различные поля, которые обуславливают взаимодействие между частицами. Можно сказать, что *волна* – это *состояние (движение, возмущение), которое было сначала в одном месте, затем оказывается в другом*. Другими словами, волна – это *распространение (передача) колебаний из одного места в другое, соседнее (от точки к точке)*. Волны могут *интерферировать*

при наложении друг на друга, *дифрагировать*; как и частицы, они переносят энергию и импульс.

Частицы выступают как носители *дискретности* (*корпускулярности*), а волны – как носители *непрерывности* или *сплошности* материи. *Дискретность* (*прерывность*) означает конечную делимость пространственно-временного строения объекта, его свойств и форм, а также скачки. *Непрерывность* выражает единство, целостность, неделимость объекта. Для непрерывного нет границ делимости.

В классической физике различие между ними абсолютно, они никаким образом не сводятся друг к другу и описывают совершенно разные стороны материи. Волны обладают рядом существенных признаков непрерывности, а частицы, наоборот, прерывности (дискретности). Подчеркнем, что хотя понятия частицы и волны есть некоторые идеализации, абстракции, но с их помощью моделируются явления природы. Противопоставление волн и частиц в классической физике есть метафизическое противопоставление прерывности и непрерывности. Частицы и волны – это предельно идеализированные случаи существования объектов природы. В "чистом" виде они существуют только как понятия. Эти представления кардинально изменяются на уровне микромира, так же как и характеристики, с помощью которых они описываются.

Важнейшими атрибутами материи являются ее **системность** и **структурность**, которые обозначают *целостность объектов* и их *упорядоченность*.

Система – совокупность элементов и связей между ними. *Элемент* означает минимальный, далее неделимый в рамках данной системы. Совокупность *устойчивых связей* (*взаимодействий*) между элементами образует *структуру* системы, которая определяет ее упорядоченность. Различают два вида связей – по "горизонтали" и по "вертикали". Первые отражают *координацию* (*корреляцию*) между однопорядковыми элементами, т.е. ни одна часть системы не может измениться без того, чтобы не изменились другие части. Вторые – это связи *субординации*, выражающие *соподчинение* элементов. Наличие связей указывает на составное, сложное внутреннее устройство системы, где одни части по своей значимости могут уступать другим и подчиняться им. Вертикальная структура подразделяется на *уровни организации системы* и их *иерархию*. *Целостность системы* означает, что все составные

части, соединяясь вместе, образуют *уникальное целое, обладающее новыми свойствами*, отсутствующими у отдельных элементов, составляющих систему.

Соединение различных элементов в системы обусловлено *взаимодействием* между ними. *Все свойства системы есть производные от взаимодействий* и являются *результатом их структурных связей и внешних взаимодействий между собой*. Особый тип материальных систем – *живое вещество*.

Во всех целостных системах связь между элементами более устойчива, упорядоченна и внутренне необходима, чем связь каждого из элементов с окружающей средой. В неживой природе множество объектов будут целостной системой только в том случае, если энергия связи между ними больше их суммарной кинетической энергии совместно с энергией внешних взаимодействий, направленных на разрушения системы. В противном случае система не возникает или распадается. Энергия внутренних связей – это общая энергия, которую нужно было бы приложить к каждому элементу, чтобы удалить его на большое расстояние – “растащить” систему. Внутренняя энергия имеет различное значение в зависимости от характера сил, объединяющих тела в систему. Чем меньше размеры материальных систем, тем прочнее связаны между собой ее элементы.

Весь исследуемый мир в физике делится на **микро-, макро- и мегамир**. Хотя на этих уровнях действуют свои специфические законы, они между собой взаимосвязаны, и часто такое разделение оказывается достаточно условным. *Микромир* соответствует пространственным масштабам размера атома и меньше. Сюда относятся: элементарные частицы и атомные ядра, атомы и молекулы. Размер атома составляет величину $10^{-8} - 10^{-9}$ см, размеры электрона, ядер и других элементарных частиц намного меньше. *Макроскопическими* считаются масштабы $10^{-6} - 10^7$ см, как говорят, это явления “человеческих” масштабов (по размерам, энергии, температуре и т.д.). Когда говорят “макроскопическое тело”, то под этим подразумевают, что оно состоит из большого числа атомов или молекул. В этом смысле *макроскопическим является любой живой организм*, начиная от бактерии. Если бы этого не было, то упорядоченность, необходимая для жизни, разрушалась бы флуктуациями. Объекты и явления планетарного масштаба, Вселенную, космос называют *мегамиром*. Как и в микромире, его

масштабы также не поддаются нашему воображению. Каждому из них, согласно Вернадскому, соответствует свое понимание реальности.

Под структурой материи понимают не только ее строение на микроуровне, но также и различные макроскопические тела и все космические системы мегамира. Структура материи проявляется в существовании бесконечного многообразия целостных систем, тесно связанных между собой. В неживой природе, которую, в частности, изучает физика, материя проявляет себя в существовании бесконечного множества целостных иерархически связанных систем: Вселенная (Метагалактика), отдельная галактика, звездная система, планета, отдельные тела, молекулы, атомы, элементарные частицы.

Живая природа также структурирована. В ней выделяют *биологический* и *социальный* уровни. Биологический уровень, в свою очередь, подразделяется на подуровни: макромолекул (нуклеиновые кислоты, ДНК, РНК, белки), клеточный, микроорганический (одноклеточные организмы), органов и тканей, организма в целом, популяционный, биоценозный и биосферный.

Социальная действительность в структурном аспекте подразделяется на подуровни: индивидов, семьи, различных коллективов, социальных групп (классы, нации), государство, система государств, человечество в целом, ноосфера. Переход от одной области материальной действительности к другой связан с усложнением и увеличением множества факторов, которые обеспечивают целостность систем.

Обратим внимание, что закономерности новых уровней *несводимы* к тем, на базе которых они возникли. Таким образом, структурная организация, т.е. *системность, является способом существования материи*. Следовательно, любой объект материального мира рассматривается как сложное образование, включающее в себя составные части, организованные в некоторую целостность. Сегодня структура материи известна в масштабах от 10^{-15} см до 10^{28} см, а во времени – от 10^{-22} с до 10–20 млрд лет.

Естествознание изучает разные формы движения материи. Простейшей формой является *механическое движение* – перемещение тел в пространстве. Следующая, более сложная, – это *физическая форма движения материи*: теплота, электричество, звук, ядерные реакции и др. В основе всех этих процессов лежат фундаменталь-

ные взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Например, *теплота* – это макроскопическая форма движения, выступающая в виде движения и столкновения атомов и молекул в телах, а также взаимодействия излучения и вещества. Мерой интенсивности теплового движения является *температура*, которая пропорциональна кинетической энергии частиц, составляющих тело, либо энергии поглощаемого излучения. Нижний предел температуры – абсолютный нуль, равный $-273,15^{\circ}\text{C}$; верхнего предела не установлено. К отдельным элементарным частицам и атомным ядрам понятие температуры и теплоты не применимо. Любые физические формы движения материи в конечном счете – это проявление глубинных свойств материи – фундаментальных взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого. Еще сложнее *химическая форма движения материи*. Наиболее сложной формой движения в природе считается *биологическая форма движения материи* – *жизнь как особая форма движения материи*. Жизнь на Земле необычайно многообразна по своим проявлениям и, по существу, представляет собой систему взаимосвязанных форм движения.

6.2. Концепции атомизма и поля

С определенной точки зрения развитие наших знаний о строении материи можно представить как непрерывную борьбу двух противоположных концепций: *концепции прерывности (дискретности)* и *концепции непрерывности* или *континуальности* (континуум означает непрерывное множество). Концепцию дискретности отражает **идея атомизма**, а континуальности – **идея физического поля**. С ними было связано и решение проблемы взаимодействия, выступавшее в виде *дальнодействия и близкодействия*.

Концепция атомизма

В истории естествознания наиболее плодотворной и важной для понимания явлений природы считается концепция *атомизма*, или *корпускулярная концепция*, согласно которой *материя имеет прерывистое, дискретное строение*, т.е. состоит из мельчайших частиц, называемых *атомами*. Идея атомизма была впервые предложена и развивалась еще в древней Греции. Она пронизывает естествознание на протяжении всей его истории и имеет универсальный характер. *Концепция атомизма отражает идею*

построения всей картины мира из минимального набора строго одинаковых составных частей, которые называют *элементарными*, т.е. простыми, далее не делимыми. Элементарная частица есть предел делимости материи. Впервые вопрос о пределе делимости материи был поставлен древнегреческими мыслителями. Отметим, что в основе концепции атомизма лежит **редукционизм**, т.е. сведение сложного к простому.

Уже с первых шагов развития науки ученые стремились свести законы природы к совокупности законов взаимодействия и превращения небольшого набора элементарных частиц. Название таких частиц со временем менялось. Но не в этом главное, потому что новые понятия отражают только фактическую смену уровней представлений о структуре материи и о ее свойствах. Первый уровень был достигнут в Древней Греции. Суть его в следующем. Можно представить определенный небольшой набор сортов элементарных частиц. Все многообразие природы, как живой, так и неживой, определяется различным *расположением* данных частиц. Используя этот ограниченный набор частиц, можно построить огромное многообразие всего того, что существует вокруг нас.

Первоначально такой идеал был реализован в химии в конце XIX в. Ограниченный набор химических элементов позволяет химику "построить" огромное число соединений – различных молекул. Затем молекулы можно укладывать различными способами в твердое тело (кристаллическое или аморфное) или в жидкость и газ и т.д. В основе научного мышления конца XIX в. лежала *атомистика* – представление об атомах как *элементарных частицах, не уничтожаемых и не рождаемых вновь*, а лишь подвергающихся *перемещению и перекомбинированию* в различные молекулы при химических превращениях. Периодическая система Менделеева явилась обобщением всей суммы химических знаний.

Мысль о неких принципах, общих для всех химических элементов, могла привести к идее, что все элементы построены по некоему общему плану из меньшего числа элементарных частиц. Эта идея была реализована дважды. Сначала, в 20-х годах XX в., была открыта и понята электронная структура атома: атом состоит из ядра и электронных оболочек, номер элемента в периодической системе равен заряду ядра, т.е. числу электронов в нейтральном атоме. На следующем этапе оказалось, что ядро, в свою очередь, состоит из протонов и нейтронов.

Таким образом из наивных представлений древних о четырех элементах (вода, земля, огонь и воздух) через представления химиков о различных элементах (чуть больше сотни) наука пришла к представлению о трех видах элементарных частиц – *протонах, нейтронах, электронах*. Во многих областях науки (химия, биология, молекулярная физика) и сегодня электроны и даже ядра считаются “кирпичиками”, которые сохраняют свою *индивидуальность, не рождаются и не уничтожаются*. Все химические реакции и макроскопические процессы представляют собой *перегруппировку* этих частиц; вся ядерная физика (по крайней мере в области невысоких энергий) – *перегруппировку* или *взаимопревращения* протонов и нейтронов. Все электроны и протоны одинаковы, одинаков их заряд, но знаки зарядов у протонов и электронов различны. Одинаковы и электронейтральны все нейтроны. Масса покоя у всех электронов одинакова. То же самое и у других частиц.

Представление об элементарных частицах как о всегда одинаковых, не уничтожимых и не рождающихся, вечных составных частях всего сущего – это определенная ступень познания природы. В пределах такого представления переход от атомов к протонам, нейтронам и электронам на качественном уровне ничего не меняет. Принципиально новое было внесено в науку в начале XX в., когда в результате открытий М. Планка и А. Эйнштейна выяснилось, что свет также состоит из отдельных частиц – *фотонов*, которые, в отличие от электронов, постоянно рождаются и уничтожаются (излучаются и поглощаются). Но это уже новый тип частиц, которые *рождаются и уничтожаются*. Другая их отличительная особенность состоит в том, что в одних опытах фотоны ведут себя как *волны* – наблюдается интерференция и дифракция, в других – рассеиваются на атомах, как обычные металлические шарики-*частицы*. Кроме того, фотоны могут появляться и исчезать, как шарики в руках иллюзиониста (например, при фотоэффекте). Это привело к созданию квантовой механики, которая объяснила закономерности переходов в атомах, законы молекулярной химии и твердых тел.

Полевая концепция

Физическое поле (поле) – это особая форма материи, отличная от вещества. Это понятие введено в физику М. Фарадеем и Д. Максвеллом. В настоящее время известно несколько раз-

новидностей полей: *электромагнитное, гравитационное, поле ядерных сил* и др. Математически поле определяется заданием в каждой точке пространства, где оно имеется, некоторой пространственной функции (одной или нескольких). В общем случае поле может меняться во времени. При этом важно понимать, что поле – не вспомогательная математическая конструкция, а *нечто реально существующее* – оно выступает *носителем определенных сил, описывающих взаимодействие материальных объектов*. Понятие поля позволяет объяснить многие явления и предсказывать новые. В настоящее время понятие поля считается одним из основных в физике. Кто-то сказал, что для современного физика поле столь же реально, как и стул, на котором он сидит.

Понятие поля отражает *идею близкогодействия*, согласно которой взаимодействие передается от точки к точке с определенной скоростью. Согласно полевой концепции участвующие во взаимодействии частицы создают в каждой точке окружающего их пространства особое состояние – поле сил, которое проявляется в силовом воздействии на другие частицы, помещенные в какую-либо точку данного пространства. Поля могут проявить себя в виде волн. С классической точки зрения *поле непрерывно*, т.е. оно существует во всех точках окружающего пространства.

Первой теорией поля была теория электромагнитного поля. Она описывает электрические и магнитное поля, успешно объясняя все электромагнитные явления. Электрическое поле – это особое состояние пространства, окружающего заряженное тело, склонное воздействовать на любой другой заряд, находящийся внутри пространства. Оно порождается заряженными телами, и их действие на себе могут ощутить *только заряженные тела*. Магнитные поля порождаются движущимися зарядами – электрическими токами, и их действие испытывают другие движущиеся заряды (токи). В рамках классической электромагнитной теории неравномерно движущийся заряд создает переменное (колеблющееся во времени) электромагнитное поле, которое может отрываться от заряда и существовать самостоятельно, распространяясь в пространстве в виде радиоволн, световых волн или других различных типов электромагнитного излучения. Таким образом, электромагнитные поля имеют *самостоятельную физическую сущность*, и могут рассматриваться вне связи с материальными объектами. Электромагнитное поле имеет две компоненты (составляющие) – элек-

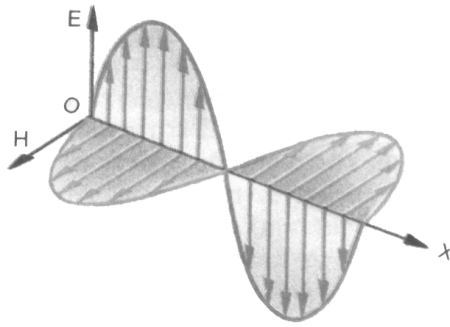


Рис. 6.1. Плоская электромагнитная волна. E и H – электрическая и магнитная компоненты, соответственно

трическую и магнитную, которые подчиняются системе уравнений Максвелла, причем переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле и наоборот, т.е. они неразрывно связаны друг с другом, *представляя единый объект* (рис. 6.1). Электромагнитные поля распространяются с скоростью примерно 300 000 км/с. Скорость электромагнитной волны имеет удивительную особенность – она является максимальной скоростью, с которой может распространяться материальный объект, и не зависит от системы координат. Свет – это та же электромагнитная волна. Как всякие волны, электромагнитные волны могут интерферировать, дифрагировать, они переносят импульс и энергию.

Другой широко известный пример – гравитационное поле, которое ответственно за гравитационное притяжение тел. Его источником является масса тела. Гравитационное взаимодействие подчиняется закону всемирного тяготения (см. раздел 3). Подобно электромагнитным волнам должны существовать гравитационные волны (более подробно они будут рассмотрены ниже).

В рамках классической физики вещество и поле различаются как *корпускулярные* и *волновые сущности*: вещество дискретно и состоит из атомов, а поле непрерывно. Вещество обладает массой покоя, а поле – нет. Вещество мало проницаемо, поле полностью проницаемо. Скорость распространения поля равна скорости света, а скорость движения частиц, как правило, много меньше. Однако представление о разделении материи на вещество и поле, вообще говоря, ограничено. Если рассматривать строение вещества, то во всех системах внутреннее пространство будет в основном “занято” электромагнитным полем, на долю собственно частиц приходится ничтожная часть объема системы ($10^{-36} - 10^{-40}$ объема), поэтому можно сказать, что *поле входит*

в структуру самого вещества. В этом и проявляется единство прерывного и непрерывного в структуре материи: частицы неотделимы от создаваемых ими полей, и нельзя провести резкой границы, указывающей, где кончается собственно частица и начинается ее внешнее поле. Каждое поле вносит свой вклад в структуру вещества, обуславливая его свойства. Эти представления получили дальнейшее развитие в квантовой физике, которая будет рассмотрена в следующем разделе.

6.3. Концепции пространства и времени

Понятия **пространства** и **времени** – одни из самых основных в современном естествознании. Они относятся к числу первичных понятий так же, как материя и движение. Пространственно-временные отношения – это наиболее фундаментальные понятия, которые не сводятся к другим более простым. Наши представления о пространстве и времени накладывают большой отпечаток на всю картину мира. Они упорядочивают вещи, явления и события, которые окружают нас в жизни и которые мы познаем с помощью науки.

Все, что существует во Вселенной, живое и неживое, имеет пространственно-временное измерение – *протяженность* и *длительность*. Нет такого закона физики, который можно сформулировать без понятий пространства и времени. Пространство и время неотделимы от материи, неразрывно связаны с ее движением и друг с другом. *Пространство и время – это форма существования материи.*

Дать исчерпывающее определение понятиям пространству и времени непросто. Существуют понятия различных типов времени – физического, геохимического, биологического, геологического, психофизического, исторического, космического. Поэтому возможны и различные подходы к определению пространства и времени. Все они, вообще говоря, не совпадают, но, по-видимому, отражают разные его стороны. Мы рассмотрим так называемый *концептуальный* подход, в рамках которого формулируется научное представление о физическом пространстве и времени – это физические и математические модели пространства и времени, широко используемые в современном естествознании. Оказалось, что неживая природа, живое вещество и общество характеризуются специфическими пространственно-временными структурами.

В неживой природе на разных уровнях организации материи существуют особенности пространства-времени в микро-, макро- и мегамире.

Интуитивные представления о пространстве и времени человек вырабатывает на основании повседневного опыта. В житейском понимании время воспринимается как переход от прошлого к будущему, а пространство представляется пустым и неподвижным и считается некимместилищем вещей и событий. Но правильные представления о них дает наука. *Пространство – это порядок взаимного расположения материальных объектов*, выражаемый словами *”ближе–дальше”*. Пространство выражает *сосуществование, протяженность и структурность* любых взаимодействующих объектов. *Время – это порядок сменяющихся друг друга элементов процесса или состояний материальных объектов*, выражаемых словами *”раньше-позже”*. Оно упорядочивает вещи и этапы их бытия *по длительности и очередности* свершения. Время также характеризует и *процесс становления вещей* (формирование – расцвет – старение). С пространством связаны такие понятия, как *протяженность* или *длина* и *направление*, со временем – *длительность* или *промежуток времени*. Длина измеряется с помощью масштабированной линейки, время – часами. Часы измеряют скорость протекания событий.

Фундаментальную роль времени уже хорошо понимал Аристотель (IV в. до н.э.), различавший два принципиально разных типа времени. Первый тип – *время как движение*, т.е. параметр (число), фиксирующий различные состояния движения системы, не имеющий определенного направления, и обладающий свойством *раньше-позже*. Второй – *время как рождение и гибель*, т.е. характеристика возраста системы, которая имеет начало, конец и определенное направление и обладает не только свойством *”раньше-позже”*, но и свойством *”прошлое–настоящее–будущее”*. Этим двум типам времени соответствуют две фундаментальные концепции естествознания – *концепция движения (концепция Ньютона)* и *концепция эволюции (концепция Дарвина)*.

Согласно первой концепции, долгое время господствовавшей в физике, свойства природы на макроуровне полностью определяются ее свойствами на микроуровне, причем свойства *”кирпичиков”* мироздания не зависят от истории их возникновения. В рамках этой концепции в природе не происходит качественных изменений,

а лишь по вполне определенным законам изменяется состояние данной системы. Состояние системы определяется только данным моментом времени, и оно не имеет какой-нибудь предыстории.

Согласно концепции Дарвина, распространенной в биологии, живой организм проходит путь индивидуального развития и несет в себе память о предшествующей эволюции вида и биосферы в целом. Здесь уже состояние микросистемы определяется состоянием макросистемы не только в данный момент времени, но и в предшествующие моменты. Происходит качественное развитие системы, однозначно связанное с однонаправленностью времени.

Оба этих подхода альтернативны и являются *дополнительными*. Развитие физики за последние 300 лет осуществлялось в рамках концепции Ньютона. Ее принято называть **”физикой существующего”**. В настоящее время считается, что ее развитие подошло к логическому завершению и возникает вопрос о дальнейшей эволюции самой физики как науки. Сейчас развивается новый подход, называемый **”физикой возникающего”**, который отражает конструктивную роль необратимых процессов в физическом мире. Однако изучение ”физики существующего” в ее целостности и единстве показывает путь качественного развития физики.

6.3.1. Классическая физическая модель пространства и времени

Это самая простая модель пространства и времени, но она исчерпывает практически все потребности макроскопической физики. Она также достаточна для описания многих других явлений, в т.ч. атомных спектров и движения планет. С классической точки зрения *пространство – это некая независимо существующая субстанция*, в которой перемещаются материальные тела и свет, а *время – это параметр*, фиксирующий и характеризующий момент события. Такие определения пространства и времени представляют, с одной стороны, результат обобщения повседневного опыта, а с другой – следствия научного анализа простейших механических движений.

Классическая физика исходит из представлений об *абсолютном, трехмерном пространстве как пустоте или вместилище*, которое содержит все тела и явления окружающего мира. Пространство существует *независимо от содержащихся в нем материальных объектов* и подчиняется законам евклидовой гео-

метрии. Время – тоже самостоятельное измерение, которое имеет абсолютный характер и течет с одинаковой скоростью независимо от материального мира. Здесь абсолютность означает неизменность, одинаковость. Пространство и время везде и всюду одинаковы, непрерывны; пространство трехмерно, т.е. для задания точки в пространстве необходимо знать три независимых числа – координаты. Время одномерно и необратимо, т.е. течет в одном направлении – от прошлого к будущему.

В классической физике пространство и время не зависят ни от физических тел, которые в нем находятся, ни от явлений, которые происходят. Образно говоря, пространство – это сцена, где разыгрываются реальные события. Но даже если на сцене нет "актеров", сцена остается сценой. Таким образом, пространство считается простымместищем материи во всех ее формах. Если из него убрать все частицы и поля, то останется *вакуум*, т.е. пустота или ничего.

К такому понятию пространства и времени пришли, исходя из анализа механического движения, которое является простейшей формой движения материи. Для описания движения необходимо ввести *систему отсчета* или *систему координат*, "привязанную" к *телу отсчета* (начало системы координат). Система координат может находиться в разных состояниях: покоиться, двигаться равномерно и прямолинейно или ускоренно. Системы отсчета, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно, называются *инерциальными*, остальные – *неинерциальными*.

Г. Галилей, а затем И. Ньютон показали, что *законы механики во всех инерциальных системах имеют одинаковый вид*. Это утверждение называют **принципом относительности Галилея**. Он утверждает *эквивалентность* (равноправность) всех инерциальных систем отсчета: *состояние прямолинейного и равномерного движения никак не сказывается на происходящих в системе механических процессах, и никакими механическими опытами внутри невозможно определить, покоится она или движется равномерно и прямолинейно*. Другими словами, *никакие механические опыты не могут отличить одну инерциальную систему от другой*. Математически этот принцип выражается в том, что уравнения ньютоновской механики не меняются при переходе от одной системы координат \vec{r} (радиус-вектор) к новым

координатам \vec{r}' при преобразовании

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t, \quad t' = t. \quad (6.1)$$

Формулы (6.1) называют *преобразованием Галилея*. Здесь \vec{v} – скорость новой (движущейся) инерциальной системы с координатами $\vec{r}' = (x', y', z')$ относительно старой системы. В преобразованиях Галилея находят свое выражение основные свойства пространства и времени в классической физике.

1. Пространственные и временные координаты в (6.1) входят неравноправно. Координаты в новой штрихованной (движущейся) системе отсчета зависят как от координат, так и от времени в старой (неподвижной) системе. Время в движущейся системе не зависит от координаты неподвижной системы, т.е. время мыслится как нечто самостоятельное по отношению к пространству. Пространство и время существуют независимо друг от друга. Время во всех системах отсчета одно и то же!

2. Основными метрическими характеристиками пространства и времени являются *длина*, т.е. расстояние между двумя точками в пространстве, и *промежуток времени*, или *длительность*, – расстояние между событиями во времени в данной системе координат. В преобразованиях Галилея зафиксирован *абсолютный характер длины и длительности* – они не зависят от системы отсчета. Другими словами, длина и длительность во всех инерциальных системах отсчета одинаковы. В классической физике время выступает как внешний параметр. Для определения момента произошедшего события достаточно одного измерения, т.е. указания одного числа. Такое восприятие времени настолько стало привычным, что большее число измерений трудно вообразить. Но время имеет направление, т.е. наблюдаемые события происходят в определенной последовательности – от прошлого к будущему. Это качественно отличает временные измерения от пространственных, причем для любого наблюдателя в данной точке последовательность событий всегда сохраняется. При этом для измерения времени достаточно лишь одних часов. Итак, с классической точки зрения понятия "*прошлое*" и "*будущее*" в данной точке пространства являются *абсолютными*, а направленность времени тесно связана с пониманием причинности: *причина должна предшествовать следствию*.

Таким образом, в классической модели время не зависит от системы отсчета и во всех инерциальных системах, везде и всюду

течет одинаково (*ньютоновское абсолютное, истинное время*). Столь же абсолютный характер носит длина: она также не зависит от системы отсчета. Однако положение объекта в пространстве *относительно*, так как оно определяется по отношению к другому объекту, или, по-другому, пространственные координаты тела в разных системах координат различные. В классической физике *время* и *длина абсолютны*, не зависят друг от друга, от системы координат и от свойств материальных объектов. Свойства пространства описываются евклидовой геометрией. Трехмерность пространства установлена как эмпирический факт. Но ученых не оставляет желание объяснить и понять факт трехмерности пространства. Определенные достижения на этом пути имеются, хотя полной ясности еще не достигнуто. П. Эренфест показал, что законы природы таковы, что атомы устойчивы или могут образоваться только в случае трехмерного пространства. В пространствах других размерностей (например, 2, 4 и более) атомы образоваться не могут, либо становятся неустойчивыми (распадаются). Из трехмерности пространства также следует, что сила гравитации убывает как квадрат расстояния между взаимодействующими телами.

6.3.2. Пространство-время в специальной теории относительности

Время потеряло надо мной свою власть. Оно потекло в разные стороны, иногда даже в противоположном направлении...

В. Катаев

Принцип относительности играет важную роль в современной физике. Применяв его к явлениям электромагнетизма, А. Эйнштейн создал *специальную теорию относительности*, которая привела к изменению основополагающих принципов физики. Наиболее сильно она изменила представления о пространстве и времени, которые имеются у обычного человека и которые казались настолько очевидными, что Кант объявил их априорными, т.е. полученными до опыта, существующими в сознании человека от века или от Бога. По сути дела, *теория относительности есть учение о пространстве и времени*.

Прежде чем перейти к специальной теории относительности, кратко остановимся на предыстории проблемы. Теория электро-

магнетизма, развитая Максвеллом, предсказала существование электромагнитных волн и то, что свет – это тоже электромагнитные волны, только с гораздо меньшей длиной волны, чем радиоволны. Из уравнений Максвелла также следует, что свет должен распространяться с одинаковой скоростью во всех равномерно движущихся системах координат. Майкельсон измерил с высокой точностью скорость света, распространяющегося в направлении и против движения Земли, а также в перпендикулярном направлении. Его опыты показали, что *скорость света не зависит от выбора инерциальной системы отсчета*, т.е. она не зависит от скорости источника и одинакова в неподвижной и равномерно прямолинейно движущейся системе отсчета.

Таким образом, принцип относительности должен быть справедливым и для электромагнитных явлений, а не только для механических. Поэтому был сформулирован **обобщенный принцип Галилея**: *законы физики должны быть одинаковы с точки зрения любого наблюдателя, движущегося с постоянной скоростью, независимо от величины и направления этой скорости*, или, по-другому, *никакое физическое явление не позволяет установить, покоится система координат или движется равномерно и прямолинейно*, т.е. все инерциальные системы отсчета неразличимы, равноправны.

Но принцип относительности противоречит закону сложения скоростей в классической механике. Действительно, скорость является относительной величиной и она будет разной в покоящейся и движущейся системе отсчета. Но для света это не так!

Исследования в области электродинамики также показали, что электричество и магнетизм не подчиняются принципу относительности, если не внести некоторых существенных изменений. Рассмотрим простой пример. Предположим, что точечный заряд Q расположен на расстоянии R от проводника с током, заряженного одноименным зарядом с плотностью ρ . С точки зрения покоящегося наблюдателя на заряд действует электростатическая сила $F = QE$, где $E = 2\rho/R$ – напряженность поля, создаваемая линейным проводником. Поэтому $F = 2Q\rho/R$. Пусть теперь наблюдатель движется параллельно проводнику со скоростью v . При этом он обнаружит, что на точечный заряд Q кроме электростатической силы действует и магнитная сила, так как с его точки зрения вдоль проводника течет электрический ток, величина кото-

рого равна $I = \rho v$. Магнитная сила $F_B = QBv/c$, где $B=2\rho v/cR$ – индукция магнитного поля, создаваемая прямолинейным током. Таким образом, $F_B = (2Q\rho/R)(v/c)^2$. Полная сила, действующая на заряд, равна $F = 2Q\rho/R - (2Q\rho/R)(v^2/c^2) = (2Q\rho/R)(1 - v^2/c^2)$, так как они направлены в противоположные стороны. Таким образом отсюда следует, что результат одного и того же эксперимента различный в разных системах отсчета. Это противоречит принципу относительности, согласно которому сила, действующая на заряд, не должна зависеть от скорости наблюдателя.

Чтобы ликвидировать эти и другие возникающие противоречия, Лоренц вывел новые законы связи координат и скоростей в движущихся системах отсчета, которые получили название *преобразование Лоренца*. Он также обнаружил, что при движении электрические взаимодействия изменяются, а тела должны сжиматься в направлении движения тем больше, чем больше скорость – “*лоренцево сокращение*”. Одновременно изменяются и ритмы всех процессов. Изменение масштабов времени и длины, как показал Пуанкаре, подчиняется важному закону симметрии. Он показал, что *принцип относительности означает симметрию законов электродинамики и механики относительно поворотов в четырехмерном пространстве*, где четвертая координата есть время, умноженное на скорость света. Однако все эти изменения не поддавались ясной физической интерпретации. Классическая физика так и не смогла объяснить эти факты.

Полное решение этой проблемы было дано А. Эйнштейном в **специальной теории относительности**. В отличие от Х. Лоренца и А. Пуанкаре он отверг представления о пространстве и времени как абсолютном и одинаковом для движущихся и неподвижных тел, показал относительность этих понятий и на этой основе объяснил универсальность преобразований Лоренца.

Специальная теория относительности основана на двух принципах:

1. Принцип постоянства скорости света: скорость света *одинакова и конечна* во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от скорости движения источника; она является *предельной* (максимальной) скоростью распространения какого-либо сигнала и равна примерно $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

2. Принцип относительности: все инерциальные системы отсчета абсолютно равноправны, т.е. никакими физическими экспе-

риментами невозможно установить движется система равномерно и прямолинейно или покоится.

Первый принцип фактически следует из второго. Поэтому, чтобы сохранить принцип относительности, необходимо допустить и принцип постоянства скорости света для любой системы, движущейся без ускорения. *Принцип относительности – это один из самых общих и фундаментальных законов природы.* Все существующие ныне физические теории удовлетворяют ему, так как входящие в них законы имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета. Совпадение выводов этих теорий с результатами наблюдений, в свою очередь, подтверждает принцип относительности.

Сущность принципа предельной скорости состоит в том, что в природе существует инвариантная универсальная скорость, которая является верхним пределом для скорости распространения любых материальных тел и волн (значит и сигналов). Поэтому часто говорят, что *скорость света – это предельная скорость распространения сигналов.* Это мировая постоянная. Сам факт существования такой величины – фундаментальный закон природы, т.е. отражение объективных свойств пространства и времени, а не случайное свойство конкретных объектов: света, нейтрино и т.п. Таким образом, движение света принципиально отличается от движения всех других тел, скорость которых меньше скорости света.

В специальной теории относительности вместо преобразований Галилея используется **преобразование Лоренца**:

$$\begin{aligned}x' &= (x - vt)/(1 - \beta^2)^{1/2}, & y' &= y, & z' &= z, \\t' &= [t - (vx/c^2)]/(1 - \beta^2)^{1/2},\end{aligned}\quad (6.2)$$

где x, y и z – пространственные координаты, а t – время в покоящейся системе координат; штрихованные величины относятся к системе координат, движущейся со скоростью v относительно нештрихованной; $\beta=v/c$, c – скорость света. Преобразование (6.2) записано (ради простоты) для случая, когда движение происходит параллельно оси x .

Обратный переход имеет вид:

$$\begin{aligned}x &= (x' + vt')/(1 - \beta^2)^{1/2}, & y &= y', & z &= z', \\t &= [t' + (vx'/c^2)]/(1 - \beta^2)^{1/2}.\end{aligned}\quad (6.3)$$

Преобразования (6.2) и (6.3) выводятся из вышеуказанных основополагающих принципов.

Из (6.2) видно, что пространственные и временные переменные, в отличие от преобразований Галилея, "перемешаны", поэтому следует говорить не о системе координат, а о *системе отсчета*, т.е. о совокупности координат и часов. *Абсолютного времени нет*, так как каждая система отсчета характеризуется своим *собственным временем*. Указывая момент времени, надо указывать соответствующую систему отсчета. В отличие от классической физики здесь *для измерения необходимо иметь свои часы в каждой системе координат*. Важно отметить, что указанные особенности проявляются лишь при скоростях, сравнимых со скоростью света. При $v \ll c$, т.е. $\beta \ll 1$, преобразования (6.2) совпадают с (6.1), и специальная теория относительности переходит в классическую механику как свой предельный случай.

При создании специальной теории относительности Эйнштейн не просто воспользовался уже известными преобразованиями Лоренца, он усмотрел в них принципиально новый физический смысл: *пространство и время при больших скоростях оказываются взаимосвязанными*, они существуют как единое целое, как *единый пространственно-временной континуум – пространство-время*. Нельзя отделять пространство и время друг от друга. Это приводит к ряду удивительных следствий, которые противоречат нашим привычным представлениям. Рассмотрим некоторые из них.

- **Одновременность**

Понятие **одновременности** совершенно необходимо, так как без него нельзя сравнивать время (ход часов) в разных точках, невозможно определить длину движущегося тела – просто нельзя строить физику. С обычной точки зрения *одновременными* считаются события, которые происходят в один и тот же момент времени. В классической физике события, происшедшие в разных точках пространства, считаются *одновременными*, если ни одно из них не может быть причиной или следствием другого. При этом если события являются одновременными в одной инерциальной системе отсчета, то они будут одновременными в других. Такое определение подразумевает *бесконечную скорость распространения сигналов*, поскольку только в этом случае оно однозначно. В теории относительности это не так, потому что (из-за конечности

скорости света) такому определению может соответствовать множество одновременных событий, т.е. возникает неоднозначность.

Первое и наиболее важное следствие теории относительности состоит в *относительности понятия одновременности*: если в некоторой инерциальной системе отсчета два события являются одновременными, т.е. происходят в один и тот же момент времени, то в другой они будут неодновременными. Это непосредственно вытекает из преобразований Лоренца.

Действительно, пусть два события в нештрихованной системе имеют пространственно-временные координаты x_1, t_1 и x_2, t_2 , а в штрихованной, соответственно, x'_1, t'_1 , и x'_2, t'_2 . Согласно (6.2) в штрихованной системе имеем

$$t'_2 - t'_1 = [(t_2 - t_1) - v(x_2 - x_1)/c^2] / \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (6.4)$$

Предположим, что события происходят в нештрихованной системе одновременно, но в разных пространственных точках, т.е. $t_1 = t_2$ и $x_1 \neq x_2$. Тогда из (6.4) следует, что в штрихованной системе указанные события оказываются неодновременными, т.е. *одновременность – понятие относительное* (зависит от системы отсчета). Проанализировав понятие одновременности, Эйнштейн предложил новое определение одновременности. *Два события, которые произошли в точках А и В инерциальной системы отсчета К, одновременны, если световые сигналы, посланные из точек А и В доходят до точки в середине отрезка АВ в один и тот же момент времени.*

Отсюда вытекает строгое определение времени: *время – это совокупность показаний одинаковых часов, помещенных в разных точках пространства системы К, покоящихся в этой системе и имеющих одинаковые показания.* Это определение одновременности приводит к следующему правилу проверки часов на *синхронность* (часы, которые одновременно показывают одинаковое время, считаются синхронными). Пусть в точках А и В инерциальной системы К находится двое часов. Из точки А в момент t_{1A} по часам А посылается сигнал в В. Здесь он отражается (мгновенно) и возвращается обратно в А в момент t_{2A} по тем же часам А. Если в момент прихода сигнала в В часы В показывали время $t_B = (t_{1A} + t_{2A})/2$, то часы А и В считаются синхронными (идушими одинаково).

Установить одновременность событий, происходящих в разных местах, можно двумя способами. Сверить множество одинаковых

часов (синхронизация часов) в одной точке, *перенести медленно* их в разные места и по ним проверять одновременность, когда часы показывают одно и то же время. Но это не всегда удобно. Проще сверять (синхронизовать) часы с помощью световых сигналов, так как скорость света не зависит от скорости источника и электромагнитные волны распространяются с одинаковой скоростью по всем направлениям.

Представим себе космонавта на борту движущегося космического корабля. Он сверяет часы на носу корабля и на корме, добываясь, чтобы стрелки часов показывали одинаковое время в тот момент, когда на нос и на корму придут вспышки от источника света, расположенного точно посередине. Это и будет означать одновременность. При этом если смотреть с Земли, то очевидно, что после вспышки корма двигается навстречу свету, а нос от него удаляется. В системе координат Земли скорость света та же, что и на корабле, и, значит, вспышка придет на корму раньше, чем на нос, т.е. одновременности нет, и часы сверены неправильно. С точки зрения специальной теории относительности это ничему не противоречит.

- **Относительность промежутков времени**

Рассмотрим в движущейся системе отсчета два события, происходящие в одной и той же точке ($x'_1 = x'_2$) в моменты времени t'_1 и t'_2 . Промежуток времени между этими событиями будет $\tau' = t'_2 - t'_1$. В неподвижной системе промежуток времени составляет $\tau = t_2 - t_1$. Используя преобразования Лоренца, можно показать, что эти промежутки времени связаны между собой следующим соотношением:

$$\tau = \tau' / \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (6.5)$$

Отсюда видно, что *промежуток времени между двумя событиями зависит от системы отсчета*. Он минимален в системе, где события происходят в одной и той же точке пространства или в системе отсчета, где они как бы покоятся (системе покоя), а в движущейся системе часы отстают пропорционально $\sqrt{1 - (v/c)^2}$, т.е. секунда на движущихся часах становится в $(1 - (v/c)^2)^{-0.5}$ раз длиннее, чем на неподвижных, и это отставание монотонно возрастает. Поэтому говорят, что в *движущейся системе отсчета время замедляется* – эффект *релятивистского замедления времени*. Промежуток времени между двумя событиями в системе покоя называют *собственным временем*.

Релятивистское замедление времени в движущихся системах отсчета относится к числу наиболее парадоксальных выводов теории относительности, вызывающих наибольший протест со стороны здравого смысла. Действительно, пусть с Земли стартовал космический корабль,двигающийся со скоростью $0,9998c$ (c – скорость света), и через 50 лет, прошедших на Земле, возвратился обратно. Согласно теории относительности по часам корабля этот полет продолжался всего лишь год. Если космонавт, отправившись в полет в возрасте 25 лет, оставил на Земле сына, только что родившегося, то при встрече 50-летний сын будет приветствовать 26-летнего отца. Это представляется столь необычным: как могло произойти, что космонавт состарился на один год, а сын на пятьдесят? Отметим, что биология здесь не причем, а такая постановка вопроса некорректна, поскольку она опирается на обыденное представление о некоем универсальном, везде и всюду одинаково текущем времени. На самом деле космонавт состарился на 1 год не за 50 лет, а за 1 год своего собственного времени. Однако по теории относительности на Земле другое время, и, принимая это во внимание, парадоксальность данной ситуации получает разумное объяснение.

Замедление хода часов при движении, каким бы невероятным оно ни казалось, находит подтверждение в физике высоких энергий. Большая часть субатомных частиц неустойчива, через некоторое время быстро распадается на несколько других. Экспериментально подтверждено, что продолжительность существования неустойчивой частицы зависит от скорости относительно наблюдателя. Частицы, движущиеся со скоростью $0,1c$ (здесь c – скорость света) живут в 1,7 раза дольше, чем их медлительные близнецы, а при $0,99c$ – в 7 раз дольше. С точки зрения частицы продолжительность ее существования постоянна, но с точки зрения наблюдателя в лаборатории "внутренние часы" частицы замедлили свой ход, и поэтому время ее существования увеличилось.

В космических лучах в верхних слоях атмосферы образуются частицы, называемые π -мезонами (пионы). Собственное время жизни пионов составляет 10^{-8} с, за это время, двигаясь даже со скоростью, почти равной световой, они могут пройти не больше чем $3 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-8} = 300$ см. Между тем приборы фиксируют их на уровне моря, т.е. они проходят примерно 30 км, т.е. путь, в 10 000 раз больший, чем максимально для них возможный. Со-

гласно теории относительности 10^{-8} сек – это собственное время жизни пиона, измеренное по часам, движущимся вместе с ним (покоящимся по отношению к нему). В системе отсчета Земли время жизни пиона оказывается намного больше, и за это ”удлиненное” время пионы успевают пройти через земную атмосферу, где их и регистрируют.

- **Относительность длины**

Пусть стержень лежит на оси X . В покоящейся системе отсчета его длина будет $l_0 = x_2 - x_1$, где x_1, x_2 – координаты начала и конца стержня. Найдем его длину в движущейся системе K' . Для этого выразим координаты x_1, x_2 в системе K' , используя (6.3):

$$x_2 - x_1 = [(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)] / \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (6.6)$$

В движущейся системе измерять координаты начала и конца стержня необходимо в один и тот же момент времени $t'_2 = t'_1$. Тогда из (6.6) получаем

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2}, \quad (6.7)$$

т.е. длина стержня в системе, где он покоится, будет наибольшей. В движущейся системе *длина сокращается* (в направлении движения). Этот эффект называют *релятивистским сокращением длины* или *лоренцевым сокращением*. Если стержень перпендикулярен оси X , то сокращения нет.

Пусть две шарообразные капсулы (в одной из них находится наблюдатель А, а в другой – Б) с большой скоростью движутся друг относительно друга. Наблюдателю А другая капсула будет представляться не сферой, а эллипсоидом вращения (тело как бы сплющивается, поскольку сокращение происходит вдоль направления движения); у собственной капсулы он никаких отклонений от сферической формы не обнаружит. То же самое относится и к наблюдателю Б. Об ”истинной” длине не имеет смысла и говорить, так как длина объекта зависит от скорости движения относительно наблюдателя.

В физике высоких энергий ставятся эксперименты, в которых частицы сталкиваются на таких огромных скоростях, что они как бы ”сплющиваются”, приобретая форму ”блина”.

- **Скорость тела в разных системах отсчета**

Пусть тело равномерно движется в нештрихованной (покоящейся) системе со скоростью V в направлении оси X , а V' – скорость

этого тела в штрихованной системе, движущейся со скоростью v относительно нештрихованной. Так как $V = x/t$ и $V' = x'/t'$, то, используя (6.2), получаем

$$V = x/t = (x' + vt')/(t' + vx'/c^2) = (V' + v)/(1 + vV'/c^2). \quad (6.8)$$

Отсюда видно, что при больших скоростях хорошо известное в ньютоновской механике правило сложения скоростей "не работает". При $v \ll c$ получаем классическое правило сложения скоростей. При $V'=c$ получаем, что $V=c$, т.е. не зависит от скорости движения источника света.

- **Закон пропорциональности массы и энергии**

Объединение пространства и времени в единое целое приводит к возникновению *связи* между многими другими основополагающими понятиями физики. Теория относительности показала, что энергия тела не обращается в нуль даже тогда, когда тело покоится. В этом случае энергия покоя E_0 оказывается пропорциональной массе m – *закон пропорциональности массы и энергии*. Этот закон устанавливает взаимосвязь между массой и энергией, которая выражается удивительно простой формулой:

$$E_0 = mc^2, \quad (6.9)$$

где c – скорость света.

Многие физики считают эту формулу одной из самых красивых в физике. Формула (6.9) показывает, что в инертной массе таятся огромные запасы энергии. Из-за большой величины квадрата скорости света даже очень малые изменения массы ведут к колоссальному изменению энергии. На этом основана, например, вся ядерная энергетика. Масса тела всегда меняется, когда изменяется его внутренняя энергия. Например, при нагревании масса утюга меняется (только очень незначительно, так как энергия изменяется мало). Также можно показать, что если частица движется со скоростью света, то ее масса равняется нулю. У безмассовой частицы нет системы координат, где она покоится ("покой ей только снится"). К таким частицам относятся, например, фотоны и нейтрино.

Закон пропорциональности массы и энергии утверждает, что масса не существует без энергии. Его важное значение состоит в том, что он связывает две противоположные характеристики: энергию, являющуюся мерой движения (изменения), и массу – меру

инерции (устойчивости), которые раньше мыслились как независимые друг от друга. Таким образом, понятия, которые в нерелятивистской физике выглядели независимыми, в теории относительности представляются диалектически связанными, приводя, как говорил М. Борн, к “единению наших знаний о материальном мире”.

Представления о пространстве и времени настолько важны при описании природных явлений, что при их изменении меняется весь подход к описанию природы. При больших скоростях движения тел *пространство и время становятся неразделимыми*. В мире высоких скоростей необходимо использовать специальную теорию относительности. Еще задолго до создания этой теории астрономы уже осознавали в одном контексте тесную связь пространства и времени. Суть в том, что они имеют дело с очень большими расстояниями, поэтому для них важен тот факт, что свету требуется определенное время для того, чтобы переместиться от наблюдаемого объекта к наблюдателю. Так как скорость света не является бесконечно большой, наблюдатель видит не настоящее положение небесных тел, а то, каким оно было некоторое время назад. Свет проходит расстояние между Солнцем и Землей примерно за 8 минут, и поэтому, когда бы мы не взглянули на Солнце, всегда увидим его таким, каким оно было 8 минут назад. Поэтому же мы видим ближайшую звезду такой, какой она была 4 года тому назад, а мощные телескопы позволяют нам наблюдать за процессами, которые происходили в других галактиках миллионы лет тому назад. Благодаря этому астрономы могут изучать эволюцию звезд, их скоплений и галактик на всех стадиях. Разнообразные явления, происходившие на протяжении миллионов лет, можно сейчас наблюдать в определенных участках неба. Поэтому астрономы хорошо знают о важном значении связи пространства и времени. Открытие специальной теории относительности заключается в том, что эта связь важна не только при больших расстояниях, но и при высоких скоростях. Даже на Земле измерение зависит от времени, учитывая состояние движения наблюдателя, и это подтверждено экспериментами.

В связи с релятивистским замедлением времени возникает *парадокс близнецов*. Пусть из некоторой точки инерциальной системы отсчета в момент времени $t = 0$ вылетает ракета и, совершив полет, возвращается обратно. При возвращении ракеты часы

неподвижной системы координат (на Земле) показывают время t , а часы на ракете – $t' < t$. Поэтому если бы один из близнецов летал на ракете, а другой оставался на Земле, то при их встрече после полета первый был бы моложе второго. Парадокс возникает в результате следующего рассуждения. Так как движение относительно, то можно сказать, что двигался второй близнец, а близнец на ракете никуда не летал. Тогда более молодым должен быть первый. Возникает вопрос: “Кто же в действительности моложе?” Неправильность рассуждения состоит в том, что системы отсчета с близнецами не эквивалентны – одна из них инерциальная, а другая (ракета) – нет, поскольку, чтобы вернуться обратно, ракета должна изменить скорость и повернуть обратно. Парадокса нет, потому что в неинерциальной системе необходимо еще учитывать внешние поля тяготения, которые также влияют на ход часов. Это делает временной промежуток в движущейся системе необратимым. Полное разрешение парадокса дает общая теория относительности.

Исследования в области теории относительности помогли нам познать ее математическое совершенство, но наша интуиция до сих пор здесь беспомощна. Мы не можем наглядно представить себе четырехмерное пространство-время, как и все остальные ее понятия. Когда мы сталкиваемся с явлениями природы, в которых объекты движутся со скоростью, близкой к скорости света, у нас всегда возникают затруднения. Такие явления сложно представить и описать при помощи обычного языка.

Выводы теории относительности кажутся странными лишь потому, что мы не можем воспринимать четырехмерный мир пространства-времени при помощи наших чувств, наблюдая лишь его трехмерные проекции. Трехмерные образцы выглядят по-разному в разных системах координат; движущиеся предметы не похожи на покоящиеся; часы, двигаясь, замедляют свой ход. Эти выводы кажутся нам парадоксальными лишь потому, что мы не осознаем, что все эти неожиданные эффекты – лишь последствия проекций четырехмерных явлений в трехмерном мире наших чувств, подобно тому как тени – лишь проекции трехмерных предметов. Если бы мы могли увидеть, услышать – ощутить при помощи данных нам чувств четырехмерное пространство-время, парадоксы исчезли бы навсегда.

Специальная теория относительности – это не только теория

движения с околосветовыми скоростями, это, по существу, новый взгляд на мир, взгляд, резко отличающийся от привычных нам классических представлений, которые хорошо "работают" в обычной жизни.

6.3.3. Пространство и время в общей теории относительности

Что держит нас на этом шаре, кроме силы тяготения?

Е. Лец

Общая теория относительности (теория тяготения) дает еще более глубокий анализ понятия пространства-времени, устанавливает **связь тяготения, геометрии и пространства** и приводит к *новому пониманию Вселенной*.

Гравитация в классической физике

Гравитационное взаимодействие – одно из четырех фундаментальных взаимодействий. Несмотря на универсальность, в микромире гравитационные силы ничтожны по сравнению со всеми остальными, поэтому здесь их обычно не учитывают. Но гравитация играет важную роль, когда речь идет об объектах космических масштабов. Земля – огромное тело, поэтому человек постоянно сталкивается с ее гравитацией.

Гравитация означает *тяготение, притяжение*. Источником гравитационного взаимодействия служит масса тела, которую называют *гравитационной или тяжелой массой (гравитационным зарядом)*. Гравитационное взаимодействие проявляется в виде притяжения массивных тел. Сила, с которой Земля притягивает некоторое тело, равна

$$F = GMm_g/r^2. \quad (6.10)$$

Здесь M и m_g – гравитационные массы Земли и тела, r – расстояние между центрами их масс, $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ – *гравитационная постоянная*, которую впервые измерил Кавендыш. Сила притяжения между двумя телами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Гравитационные силы являются *дальнодействующими*, т.е. они достаточно медленно уменьшаются с увеличением расстояния. Формула (6.10) есть математическое выражение *закона всемирного тяготения Ньютона*, согласно которому тела притягиваются не только к Земле, но и друг к другу

с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. *Закон всемирного тяготения – фундаментальный закон природы*, он является *универсальным и всеобщим*, так как простирается на огромные расстояния и распространяется на все материальные тела. Природа этих сил долгое время оставалась нераскрытой. Ньютон, исходя из закона всемирного тяготения, рассчитал орбиты планет, на которые действует сила тяготения Солнца, и показал, что законы Кеплера также являются следствием этого закона.

Экспериментально установлено, что *все тела, независимо от их массы, химического состава и других свойств, движутся в гравитационном поле (в вакууме) одинаково*. Например, в поле тяготения Земли все тела падают с одним и тем же ускорением g , которое легко вычислить, используя второй закон Ньютона и формулу (6.10):

$$g = (m_g/m_i)E, \quad (6.11)$$

где m_i – инертная масса тела, $E = GM/r^2$ – напряженность гравитационного поля Земли. Так как ускорение любых тел в гравитационном поле является величиной постоянной, то отношение m_g/m_i должно быть также постоянным, не зависящим от химического состава, формы тела, его размера и т.п. При соответствующем выборе системы единиц его можно сделать равным единице. Таким образом, *гравитационная масса равна инертной массе*, а ускорение свободного падения в поле тяготения Земли $g = 9.8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$. *Ускорение всех тел в заданном гравитационном поле одно и то же*, и поэтому может считаться одной из его характеристик. Формально оно совпадает с напряженностью гравитационного поля. *Равенство инертной и гравитационной масс* или, как говорят, *эквивалентность инертной и гравитационной масс* хорошо подтверждено различными опытами с огромной точностью (до 10^{-12}). Это тоже фундаментальный закон природы.

До А. Эйнштейна, который задумался над вопросом, почему существует такая универсальная связь, этот факт считался случайным совпадением и никак не объяснялся. Анализируя эту проблему, он пришел к выводу, что *тяготение и инерция – эквивалентные явления*. Его следствие – состояние невесомости, которое возникает при свободном падении тел. Такое состояние возникает, например, на космическом корабле, который совершает полет вокруг земного шара. Хотя корабль находится в сфере дей-

ствия почти таких же гравитационных сил, как и на поверхности Земли, но космонавт не ощущает их (все выглядит так, как если бы никакого тяготения вообще не было) по следующей причине. Движение космического корабля складывается из равномерного движения по горизонтали и ускоренного падения по вертикали к центру Земли. Равномерное движение, как известно, невозможно заметить. Что касается падения, то все предметы в кабине падают под действием притяжения Земли с одинаковым ускорением, т.е. если космонавт "упал" на один метр, то и кресло "ушло" из-под него ровно на один метр. Поэтому он может свободно парить над сиденьем.

А. Эйнштейн интересовался вопросом: "Нельзя ли принцип относительности распространить на неинерциальные системы?" Для описания движения в таких системах вводят некоторые фиктивные силы – *силы инерции* $\vec{F}_i = -m\vec{a}$ (\vec{a} , m – ускорение и масса тела, соответственно), чтобы можно было использовать известные законы механики, справедливые для инерциальных систем. Подчеркнем, что силы инерции обусловлены не взаимодействием, а характером движения системы отсчета. При переходе в другую неинерциальную систему они меняются. Таким образом, силы инерции – это учет неинерциальности системы отсчета.

Значит, невесомость возникает потому, что сила инерции, пропорциональная массе, точно уравновешивает силу тяжести, которая также пропорциональна массе, и поэтому человек ее не ощущает. Другими словами, гравитационные силы, проявляющиеся в системе отсчета, связанной с Землей, исчезают, если перейти в систему, движущуюся с ускорением свободного падения. С этим каждый человек постоянно сталкивается на Земле, которая движется, направляемая притяжением Солнца. Но мы этого притяжения не ощущаем. Силу тяготения можно увеличить, если перейти в ускоренно движущуюся систему отсчета (например, вращение в центрифуге или перегрузки, возникающие при запуске космических кораблей). Таким образом, можно утверждать, что *ускоренная система отсчета должна быть эквивалентна гравитационному полю*. Полный анализ этого явления дан Эйнштейном в общей теории относительности.

Различные системы геометрий

Геометрия – наука о свойствах пространства. Мы все привыкли к геометрии, которая называется евклидовой. Она построена

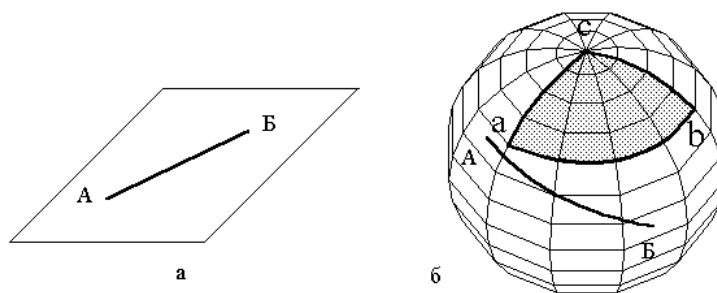


Рис. 6.2. а) Прямая линия на плоскости; б) “прямая линия” и треугольник на сфере

на некоторой системе аксиом, фиксирующих основные свойства пространства. Одной из них является аксиома о параллельных прямых, которые нигде не пересекаются. Долгое время это была единственная геометрия и считалось, что она описывает реальное пространство. В XIX в. были построены другие геометрии (Лобачевский, Больяи, Гаусс, Риман). Сразу возник физический вопрос: “Какова геометрия окружающего нас мира?”, так как теперь уже не было основания считать, что она обязательно евклидова. На этот вопрос можно ответить только опытным путем.

Чтобы понять суть новых геометрий, рассмотрим несколько примеров. Сделаем некоторые геометрические построения на плоскости и на поверхности шара. Отличие последней состоит в том, что она является искривленной по сравнению с плоскостью. Задача состоит в том, чтобы понять, можно ли установить, что поверхность шара искривлена, не выходя за пределы этой поверхности (в трехмерное пространство). Сначала построим прямую линию, которая есть кратчайшее расстояние между двумя точками на плоскости (рис. 6.2а) и на поверхности шара (рис. 6.2б). Результаты оказываются различными. В последнем случае прямая является дугой АБ большой окружности. Такие кратчайшие линии называют *геодезическими*.

Теперь построим треугольники. В треугольнике, который расположен на плоскости, сумма углов всегда равна 180° , тогда как на шаре эта сумма будет больше, как это видно из рис. 6.2б. В небольших треугольниках это превышение будет незначительным, но оно возрастает с увеличением размеров треугольника. Можно построить треугольник, в котором все три угла будут прямыми (рис. 6.3а). Если подсчитать отношение длины окружности к диаметру, то на шаре это число не будет равно π . Это нетрудно понять, так как диаметром на шаре будет дуга, которая всегда

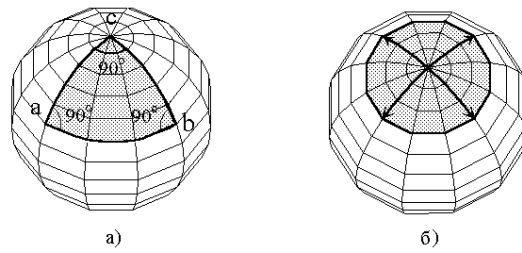


Рис. 6.3. а) На сфере треугольник может иметь три прямых угла; б) круг на сфере

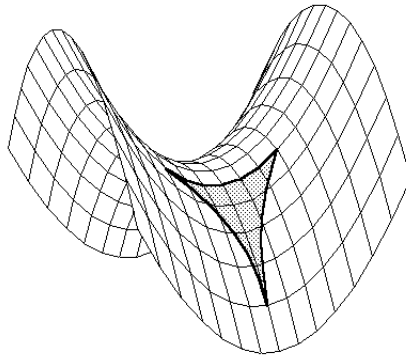


Рис. 6.4. Треугольник на гиперболической поверхности

длиннее "настоящего" диаметра (рис. 6.3б). Такие простые примеры демонстрируют, что на поверхности шара геометрия отличается от евклидовой, которая справедлива на плоскости. Это различие будет невелико для небольших фигур, но по мере увеличения их размеров разница будет возрастать. По отклонению от результатов евклидовой геометрии можно судить об искривлении поверхности: чем больше отклонение, тем больше искривление.

Рассмотрим гиперболическую поверхность, изображенную на рис. 6.4. Если на такой поверхности построить треугольник, то сумма его внутренних углов будет меньше 180^0 , т.е. и здесь геометрия также отличается от евклидовой. Сказанное о двумерных поверхностях можно перенести на трехмерное пространство и показать, что в искривленном трехмерном пространстве перестают действовать законы евклидовой геометрии, но наглядно такие пространства представить невозможно. Такие геометрии называют *неевклидовыми* (геометрия Лобачевского, геометрии Римана). Вплоть до создания общей теории относительности неевклидовы геометрии считались абстрактными и не имеющими никакого отношения к реальному миру. Открытие неевклидовых геометрий считается величайшим достижением человеческого разума.

Общая теория относительности и геометрия, связь пространства-времени с материей

Принцип относительности утверждает, что все инерциальные системы равноценны, а законы природы в них выглядят одинаково. Можно ли обобщить этот принцип на неинерциальные системы? Казалось бы нет, так как в них тело движется с ускорением, даже если на него не действуют силы со стороны других тел. Но всегда ли можно отличить ускорения, обусловленные силами инерции, от тех ускорений, которые вызваны физическим взаимодействием? Отличительная особенность таких "фиктивных" ускорений, связанных с переходом в неинерциальные системы отсчета, состоит в том, что *все тела испытывают одинаковые ускорения*. Но все тела движутся с одинаковым ускорением и в случае однородного, т.е. постоянного по пространству, гравитационного поля.

Проанализировав такую ситуацию, А. Эйнштейн сформулировал **общий принцип эквивалентности**, суть которого состоит в следующем: *никакой локальный физический эксперимент, т.е. эксперимент, проводимый в малой части пространства, где всюду гравитационное поле можно считать одинаковым, однородным, не позволяет отличить гравитационное поле от инерции*. Или, более коротко, *тяготение в каждой точке пространства эквивалентно соответствующим образом подобранному ускорению системы отсчета*. Подчеркнем, что эквивалентность справедлива лишь *локально* – в малой части пространства. Это означает, что с учетом гравитационного поля все системы отсчета совершенно равноправны при описании локальных физических явлений. В каждой области пространства нужно вводить разные неинерциальные системы отсчета, и, таким образом, *пространство-время оказывается локально неоднородным и неизотропным*.

Этот принцип приводит к теснейшей *связи между гравитацией и геометрией*. Чтобы почувствовать, как гравитация приводит к изменению геометрии, рассмотрим мысленно следующую ситуацию (мысленный эксперимент). Предположим, что мы находимся на вращающемся с огромной скоростью диске. Наружные части диска движутся с большей скоростью, чем внутренние, и, следовательно, испытывают большее лоренцевское сокращение. Поэтому отношение длины большей окружности к длине малой окружности с центрами в середине диска не совпадает с отношением их

радиусов, которые перпендикулярны движению и не сокращаются. Кроме того, часы на краях диска будут больше отставать от неподвижных часов в центре. Таким образом, на вращающемся диске геометрия оказывается неевклидовой (искривленной). Согласно принципу эквивалентности наблюдатель на диске вправе считать себя неподвижным, а на его систему действует сила тяготения, равная силе инерции. Тогда нарушение геометрии можно приписать силе тяжести. Следовательно, *геометрические свойства пространства-времени определяются физическими явлениями*, а не остаются неизменными свойствами пространства и времени.

Теория тяготения, построенная на основе теории относительности, называется *общей теорией относительности* и, по выражению Л. Ландау, является самой красивой из всех существующих физических теорий. Общая теория относительности описывает *тяготение как воздействие материи на свойства четырехмерного пространства-времени*, которые, в свою очередь, влияют на движение материи и другие физические процессы: *материя искривляет пространство-время, а это искривление проявляет себя как тяготение и влияет на движение материи* – в гравитационном поле пространство становится неевклидовым. В общем случае оно может изменяться и со временем. В таком пространстве движение тел по инерции происходит уже не по прямым, а по искривленным линиям и с переменной скоростью, так как пространство становится неевклидовым. Время в разных точках течет по-разному, причем чем сильнее гравитация, тем медленнее течет время. Общая теория относительности приводит к таким удивительным эффектам, как *гравитационные волны*, испускаемые ускоренно движущимися телами; *гравитационному красному смещению* – уменьшению длины волны света в сильном поле тяготения; предсказанию *черных дыр* и др. И, что самое главное, она привела к новым представлениям о Вселенной.

Уравнения общей теории относительности описывают связь пространства-времени с гравитационным полем или материей, при этом пространство-время оказывается искривленным гравитационным полем – неевклидовым. Поэтому *тяготение можно рассматривать как отступление от евклидовости пространства*. Так как гравитационные поля создаются всеми материальными объектами, то именно в них проявляется связь материи с пространством и временем.

Уравнения, описывающие связь между искривлением пространства и распределением материи в этом пространстве, называют *уравнениями Эйнштейна*. Из уравнений Эйнштейна для малых масс и скоростей получается закон тяготения Ньютона (т.е. *закон всемирного тяготения является приближенным*, хотя его в течение нескольких столетий считали абсолютно точным), а для больших – возникают поразительные изменения. Изменения геометрии вблизи звезды зависят от отношения массы к ее радиусу. Например, вблизи Солнца, согласно теории, возникают малые поправки, но возле нейтронной звезды, радиус которой во много раз меньше радиуса Солнца, это уже не поправки, а значительные искажения геометрии. При помощи этих уравнений можно определить не только степень искривления пространства звезд или планет, но и выяснить, существует ли всеобщее, крупномасштабное искривление пространства, т.е. они позволяют определить структуру Вселенной как целого.

Однако нельзя считать, что тяготение есть причина искривления пространства. *Тяготение есть само искривление пространства* (между тяготением и искривлением пространства-времени нет причинно-следственных связей). Инерция и тяжесть – это две стороны одной и той же медали. *Движение тел в поле тяготения есть своеобразное движение по инерции*, но в искривленном пространстве-времени – это движение по геодезическим линиям. Как равномерное прямолинейное движение не вызывается действием сил, а представляет движение по инерции в евклидовом пространстве, так и *движение в поле тяготения* вызывается не действием гравитационных сил, приложенных к движущимся телам, а *представляет движение по инерции, но в неевклидовом пространстве*. В общей теории относительности пространство-время оказывается искривленным. Таково, например, пространство, окружающее Солнце. Кривизна этого пространства влияет на движение планет и имитирует то, что раньше называли гравитационным полем Солнца.

Если специальная теория относительности связала пространство и время в единое целое – пространственно-временной континуум, лишив их, таким образом, абсолютности, то *общая теория относительности лишила абсолютности само пространство-время*, которое оказалось ничто без материи, формой бытия которой оно является. А. Эйнштейн говорил, что раньше считали,

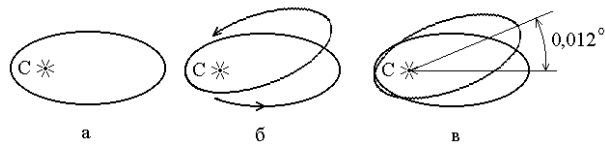


Рис. 6.5. Эллиптическая орбита планеты (а) и движение перигелия Меркурия (б,в)

что если каким-нибудь чудом все материальные вещи исчезли бы вдруг, то пространство и время остались бы. Согласно теории относительности вместе с вещами исчезли бы и пространство, и время. Общая теория относительности в очередной раз изменила наши представления о пространстве и времени, которые, в свою очередь, привели к совершенно новым представлениям о мире, в котором мы живем.

Теория гравитации Эйнштейна позволила объяснить ряд явлений, которые не объяснялись в рамках ньютоновой теории. Например, *движение перигелия Меркурия*. Суть этого явления состоит в следующем. Согласно ньютоновой механике орбиты всех планет должны быть эллипсами (рис. 6.5а), положение которых в пространстве неизменно. Однако наблюдения показывают, что эти орбиты медленно поворачиваются (рис. 6.5б). Наиболее заметно это у Меркурия, ближайшей к Солнцу планете, испытывающей наибольшее гравитационное влияние. Расчет угла поворота орбиты этой планеты, основанный на общей теории относительности, дает величину 0,012 градуса (рис. 6.5в), хорошо совпадающую с измеренной величиной.

Рассмотрим некоторые следствия из общей теории относительности.

- **В гравитационном поле луч света распространяется по кривой.** Рассмотрим распространение луча света в лифте. Представим, что в отсутствие гравитации лифт покоится. Если в отверстие А в стенке лифта попадает световой луч и падает на противоположную стенку в точке Б (рис. 6.6а), то мы будем утверждать, что линия АБ – прямая. Пусть лифт движется вверх с ускорением g . За время, пока свет проходит расстояние между стенками, лифт успевает сместиться вверх, и луч света попадет уже не в точку Б, а в точку Б₁ (рис. 6.6б). Но согласно принципу эквивалентности ускоренное движение равнозначно наличию поля тяготения. Значит, в гравитационном поле луч должен двигаться по кривой. Линия АБ₁ сохраняет свойство, которым в евклидовой геометрии

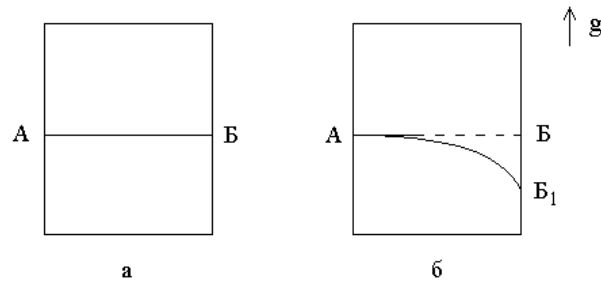


Рис. 6.6. Вид светового луча в покоящемся (а) и в движущемся (б) лифте

обладает прямой, – быть кратчайшим расстоянием между двумя точками.

Таким образом, луч света, ”пролетающий” вблизи Солнца, должен отклониться в сторону Солнца. Эффект можно наблюдать во время солнечного затмения. Отклонение от прямолинейного распространения проявляется в том, что все звезды, расположенные вблизи затененного Луной солнечного диска, визуально сместятся (отодвинутся) от Солнца. Данное явление неоднократно наблюдали. Оно очень слабое, но тем не менее наблюдаемое.

- **Замедление хода часов в гравитационном поле (гравитационное смещение или изменение частоты фотонов).** Гравитация влияет на темп хода часов: *чем больше гравитация, тем медленнее идут часы.* Это, в свою очередь, приводит к изменению частоты световой волны, распространяющейся в гравитационном поле. Последнее можно представить так: свет, обладая массой, тратит энергию на преодоление гравитационного притяжения (аналогично тому, как для поднятия некоторого тела массой m на высоту H необходимо затратить определенную энергию). Потеря энергии означает увеличение его длины волны. Эти выводы теории гравитации подтверждены экспериментально с высокой точностью. Указанное замедление времени не следует путать с замедлением времени в специальной теории относительности. Это совершенно разные эффекты. Эффектом замедления времени в гравитационном поле объясняется парадокс близнецов.

- **Гравитационные волны.** Общая теория относительности предсказывает, что должны существовать гравитационные волны, и *скорость распространения гравитации конечна и равна скорости распространения света.* Это значит, что если какое-то тело сдвинуть с места, то вызванное им искривление пространства-времени меняется не мгновенно. Сначала это скажется в непосред-

ственной близости от тела, потом изменение будет захватывать все более далекие области и, наконец, во всем пространстве установится новое распределение кривизны, отвечающее измененному положению тела.

Теория гравитации также предсказывает, что *ускоренно движущиеся тела должны излучать гравитационные волны*, которые иногда называют *волнами переменной кривизны*. Причем они могут существовать самостоятельно. Мощность гравитационного излучения пропорциональна квадрату массы. Так как гравитационное взаимодействие слабое, то эти эффекты очень малы. Например, если раскачать механические колебания болванки массой 10 тонн, то мощность гравитационного излучения не превысит 10^{-20} Вт. Поэтому в лабораторных условиях их практически невозможно зарегистрировать. Однако можно воспользоваться естественными генераторами, существующими в природе. Ими могут оказаться объекты с большой массой. Такие объекты найдены – так называемые двойные звезды. При испускании гравитационных волн двойные звезды теряют энергию, расстояние между двумя звездами уменьшается, уменьшается и период обращения. Явно гравитационные волны пока еще не зарегистрированы, однако косвенные доказательства существования таких волн получены. Гравитационные волны в определенной мере подобны электромагнитным: они имеют такую же скорость распространения, переносят энергию, вызывают движение тел, лежащих на их пути. Но они имеют совершенно другую физическую природу.

6.3.4. Черные дыры

До сих пор мы рассматривали эффекты слабого гравитационного поля, которое приводит лишь к малым поправкам некоторых физических величин. Общая теория относительности предсказывает и такие эффекты, в которых искривление пространства-времени становится сильным и уже не сводится к малым поправкам в теории Ньютона. Один из таких эффектов называют *черной дырой*.

Черная дыра – это замкнутая область пространства-времени, которую ни один сигнал, в том числе и свет, не может покинуть. Граница, отделяющая эту область пространства-времени от всего остального мира, называется *горизонтом событий*: все, что происходит внутри горизонта событий, скрыто

от глаз внешнего наблюдателя. Черные дыры обладают настолько сильным гравитационным полем, что даже свет не в состоянии преодолеть их гравитационное притяжение. При таких полях теория Ньютона не работает. Тем не менее она предсказывает возможность существования черных дыр.

Вспомним понятие второй космической скорости: это та скорость, которую необходимо сообщить некоторому телу, чтобы оно могло преодолеть гравитационное притяжение Земли и улететь от нее сколь угодно далеко. Для планеты Земля она составляет примерно 11,2 км/с. Расчеты приводят к следующей связи второй космической скорости с массой и радиусом гравитирующего тела: $v_2 = \sqrt{2GM/R}$. Отсюда видно, что чем сильнее гравитационное поле (чем больше отношение M/R), тем больше вторая космическая скорость. Сравним ее со скоростью света: $v_2/c = (2GM/c^2R)^{1/2}$. Если положить, что $R = r_g = 2GM/c^2$, получаем, что $v_2 = c$. В этом случае свет не сможет "оторваться" от гравитирующего тела. Величину r_g называют *гравитационным или шварцшильдовским радиусом*. Для Земли $M = 6 \cdot 10^{24}$ г и $r_g = 1$ см, для Солнца – $r_g = 3$ км.

Таким образом, чтобы тело массы M превратилось в черную дыру, необходимо его сжать до размеров с радиусом r_g . Область внутри сферы такого радиуса теряет связь с областью вне этой сферы, за исключением гравитационной связи. Во внешнем пространстве эта область проявляется лишь громадными силами тяготения. Все, что пролетает вблизи мимо, включая и свет, будет втягиваться внутрь сферы гравитационного радиуса и там исчезать. Поэтому такая область и называется *черной дырой*, поскольку она не видна в обычном понимании этого слова.

Черная дыра не имеет вещественной поверхности (границы). Наблюдатель, падающий в черную дыру, при пересечении ее "границы" не встретит ничего, кроме пустого пространства. Эта граница – *горизонт событий*, определяется только условием, согласно которому из внутренней области черной дыры из-за сильного тяготения не выходят наружу даже световые сигналы. Тем не менее с точки зрения наблюдателя, все время остающегося снаружи черной дыры, она во многих отношениях похожа на компактное тело, ограниченное, как иногда удобно представлять, поверхностной "мембраной" с определенными свойствами (внутри пропускает, обратно нет). Считается, что мембрана расположена как раз снаружи

горизонта событий. Но это чисто условное представление, которое помогает работать нашей интуиции (такое мембранное представление черной дыры, вообще говоря, ограничено).

Известно, что гравитация приводит к замедлению времени, проявляющемся в сдвиге частоты фотонов, испускаемых источником света. Посмотрим, как изменяется темп течения времени, если приближаться к гравитационному радиусу черной дыры. Оказывается, что с точки зрения удаленного наблюдателя время вблизи r_g вообще останавливается. Предположим, что мы медленно опускаем на черную дыру на веревке источник света – прожектор, который излучает на определенной частоте ω_0 . Частота света ω , принимаемая наблюдателем, который расположен от черной дыры дальше, чем наш прожектор, будет меньше частоты ω_0 , измеряемой в системе отсчета прожектора. При приближении последнего к горизонту событий черной дыры частота света, измеряемая удаленным наблюдателем, стремится к нулю, т.е. испытывает бесконечное красное смещение. Если прожектору позволить падать в черную дыру, то принимаемая частота будет стремиться к нулю еще быстрее (за счет эффекта доплера).

Относительность времени, т.е. зависимость темпа хода часов от системы отсчета, проявляется вблизи черной дыры особенно ярко. Так, с точки зрения удаленного наблюдателя камень, свободно падающий на черную дыру, достигнет гравитационного радиуса за бесконечное время, тогда как по часам наблюдателя, падающего с камнем, пройдет конечный промежуток времени, прежде чем он пересечет горизонт событий.

Корабль с наблюдателем, упавший в черную дыру, никогда не сможет вернуться обратно. Он даже не сможет послать оттуда никаких сигналов, так как свет оттуда тоже не выходит. То, что происходит с ним и его кораблем внутри черной дыры, протекает уже вне времени внешнего наблюдателя. В этом смысле черные дыры представляют собой *дыры во времени Вселенной*. Но это не означает, что внутри черной дыры времени нет. Там время течет, но это "другое" время, текущее иначе, чем время внешнего наблюдателя.

Что будет с наблюдателем и его кораблем, упавшим в черную дыру? Назад он не вернется, так как сила тяготения неумолимо будет тянуть его вглубь черной дыры. Что с ним произойдет дальше? Силы тяготения будут увлекать его в область, где они

становятся все сильнее и сильнее – чем ближе к центру дыры, тем тяготение будет сильнее. Поэтому точки тела, находящиеся ближе к центру, будут притягиваться сильнее, чем расположенные дальше. В результате притягиваемое тело будет растягиваться. Подобное растяжение испытывает водная оболочка Земли – ее океаны, которые притягиваются Луной. Так возникают приливы, а эти *силы* называют *приливными*. В начале падения наблюдателя в черную дыру его приливное растяжение может быть ничтожным, но оно будет нарастать в ходе падения. Теория показывает, что любое тело, попав в черную дыру, окажется в области, где приливные силы становятся бесконечными (*сингулярность внутри черной дыры*). Здесь любое тело будет разорвано на части, перестав существовать как целое. Это означает, что в сингулярности время как бы перестает существовать, так как оно зависит от протекающих процессов.

Теория утверждает, что в сингулярности свойства времени изменяются настолько сильно, что его непрерывный поток обрывается, оно распадается на кванты. Но так как в теории относительности время и пространство едины, то в сингулярности на кванты распадается и единое пространство-время. Точной теории этого явления пока нет. Но оценки приводят к чудовищно малым величинам квантов времени, называемых *планксонами*: $\tau = 10^{-43}$ с, пространственные размеры этих квантов $l = \tau \cdot c = 10^{-33}$ см. Вообразить такие масштабы мы не в состоянии. По-видимому, меньших промежутков времени, чем указанные, не существует.

Итак, в центре черной дыры имеет место сингулярность, где время распадается на дискретные кванты, а с приближением к ней понятия "раньше" и "позже" полностью теряют смысл, и, возможно, оказывается бессмысленным вопрос, что будет после сингулярности?

В сингулярности свойства времени сильно изменяются, приобретая квантовые черты. Образно можно сказать, что река времени дробится на неделимые далее капли... Но нельзя считать, что сингулярность – это граница времени, за которой существование материи происходит вне времени. Здесь пространственно-временные формы существования материи приобретают совсем особенный характер, а многие привычные понятия становятся даже бессмысленными. Однако это пока гипотезы, поскольку о характере законов природы на таких масштабах пока только догадываются. Это тео-

ретические выводы, которые опираются на всю современную физику. Но не исключено, что с дальнейшим развитием физики они могут претерпеть изменения.

Черная дыра искривляет ход лучей света тем сильнее, чем ближе эти лучи к гравитационному радиусу. Причем это искривление может быть таким сильным, что луч может начать двигаться по окружности или начать двигаться по спирали, падая в черную дыру. В лабораторных условиях организовать черную дыру в настоящее время не представляется возможным. Возникает вопрос: "А существуют ли такие явления в природе, во Вселенной, в космосе?"

Оказывается, что черные дыры принадлежат к числу объектов, которые активно исследуются современной астрофизикой и служат иллюстрацией действия теории относительности. Такое может иметь место на заключительных этапах жизни звезд, когда в них выгорает ядерное топливо. Хорошо известно, что звезды светятся из-за их разогрева за счет ядерных реакций, идущих в ее недрах. Это не позволяет им сжиматься под действием гравитации. Однако, когда падает давление и температура в центральной части звезды, она под действием собственного притяжения начинает сжиматься. Если масса звезды меньше массы Солнца, то в результате сжатия она превращается в *белого карлика* – небольшую звезду с плотностью около тысячи тонн в 1 см^3 . Если ее масса превосходит полторы солнечных массы, то сжатие продолжается дальше. Звезда теряет устойчивость, взрываются остатки ядерного горючего, сохранившиеся в поверхностных слоях, со звезды срывается ее внешняя оболочка. Происходит явление, называемое *вспышкой Сверхновой*.

Если же масса сжимающейся звезды превосходит солнечную в 2–3 раза и более, то согласно теории тяготения даже при огромной плотности спрессованного вещества, достигающей плотности атомного ядра, упругость прижатых тел не может остановить катастрофического сжатия. Происходит, как говорят, *гравитационный коллапс*. В процессе сжатия напряженность поля тяготения на поверхности коллапсирующего тела растет, и наступает момент, когда вторая космическая скорость оказывается равной скорости света. Пространство сколлапсированного объекта как бы "схлопывается", и для внешнего наблюдателя он перестает существовать. Это и есть черная дыра. Так как при коллапсе масса звезды не

меняется, то сохраняется ее статическое гравитационное поле. И хотя сколлапсированная звезда как бы исчезает из нашего мира, в действительности она продолжает взаимодействовать с окружающими объектами своим полем тяготения. Астрономические расчеты показывают, что в нашей Галактике примерно 30% звезд обладают массами достаточно большими, чтобы их существование закончилось гравитационным коллапсом. Подсчитано, что в нашей Галактике черных дыр не меньше миллиарда. Их можно считать останками "умерших" звезд. Можно сравнить черные дыры с "захоронениями" некогда светящегося звездного вещества. Существует возможность возникновения черной дыры незвездного происхождения.

Как обнаружить черную дыру? Они не испускают излучения и, кроме того, находятся столь далеко от нас и столь малы, что не стоит и пытаться искать их в виде черных пятен на небе, в которых не видно звезд. Отклонение света черными дырами тоже малоперспективно. Все, что остается наблюдаемым от черной дыры, так это ее гравитационное поле. Если по какой-либо причине гравитационное поле вокруг черной дыры меняется, например, на нее падает звезда, то в пространстве должны распространяться гравитационные волны, которые можно пытаться зарегистрировать.

Гравитационное поле черной дыры также может воздействовать на ее окружение: газ, пыль или соседние звезды. Существует несколько возможностей. Например, в некоторой двойной системе, один из компонентов которой – обычная, хорошо наблюдаемая звезда, второй – черная дыра. Наблюдая за движением видимой звезды, мы, в принципе, можем определить массу невидимого компонента, о котором ничего не знаем, а только подозреваем его в "чернодырочности". Если ее масса окажется больше некоторой критической, необходимой для существования черной дыры, это будет служить доказательством, что невидимый компонент есть черная дыра, так как ни белый карлик, ни нейтронная звезда такой массой обладать не могут.

Имеется другая возможность. Если межзвездный газ падает под действием гравитации на черную дыру, он будет нагреваться и излучать энергию. Поэтому искать черную дыру следует в двойных системах. Эволюция этих звезд отличается от эволюции одиночных звезд, что обусловлено перетеканием значительных масс вещества от одной звезды на другую под действием тяготения.

В настоящее время черные дыры еще не наблюдали. Но уже имеются подозрения и качественные доказательства, где их искать. В заключение интересно отметить, что еще в 1795 г. П. Лаплас написал, что если бы диаметр светящейся звезды с той же плотностью, что и Земля, в 250 раз превосходил диаметр Солнца, то вследствие притяжения звезды ни один из испущенных ею лучей не смог бы дойти до нас; следовательно, не исключено, что самые большие из светящихся тел по этой причине являются невидимыми. Таким образом, за 120 лет до создания общей теории относительности Лаплас предвосхитил возможность существования черных дыр. Еще раньше об этом писал священник Митчел (1783 г.).

6.4. Симметрия пространства и времени

Мы уже отмечали, что симметрия относится не только к предметам, но и ко всем физическим явлениям и законам. Оказывается, что *физические законы инвариантны*, т.е. неизменны, *относительно перемещений и поворотов в пространстве*. Это обусловлено свойствами симметрии пространства.

Пространство *непрерывно и однородно*. Непрерывность пространства означает, что оно является сплошным, и разрывы в нем отсутствуют. Однородность пространства заключается в *физической равнозначности* всех его точек или в том, что законы природы не зависят от выбора места, они всюду одинаковы. Однородность отражает свойство симметрии пространства, называемое *симметрией по отношению к переносам (сдвигам) в пространстве*. Закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства. Таким образом, перемещения в пространстве недостаточно для изменения состояния системы – это может произойти только в результате взаимодействия с другими системами.

В пространстве также нет и *физически выделенных направлений* – пространство *изотропно*, т.е. его свойства не зависят от направления. Закон сохранения момента импульса есть следствие изотропности пространства. Изотропность отражает симметрию пространства по отношению к поворотам в пространстве – поворот системы в пространстве не изменяет ее свойств.

Однородно не только пространство, но и *время*. Все физические процессы идут одинаково, когда бы они не начались. Это отражает как равномерность хода времени, так и то, что относительная ско-

рость всех процессов в природе одинакова. Значит, *законы природы со временем не меняются, т.е. симметричны по отношению к переносу (сдвигу) во времени*. Если бы этой симметрии не было, то одна и та же причина в разное время приводила бы к разным следствиям. Эта симметрия отражает однородность времени, т.е. все моменты времени физически равноправны, равнозначны и любой из них может быть выбран в качестве начала отсчета. Отсюда следует, что течение времени само по себе не может вызывать изменение физических состояний системы. Показано, что закон сохранения энергии есть следствие однородности времени.

Таким образом, однородность пространства и времени и изотропность пространства выражают фундаментальные свойства природы и связаны с важнейшими законами физики – законами сохранения. Законы сохранения, выведенные из принципов симметрии, имеют большую область применимости тех или иных законов движения. Поэтому данные законы сохранения считают *универсальными и всеобщими*. Заметим, что без симметрии по отношению к переносам в пространстве и времени нельзя было бы говорить о существовании каких-либо законов природы.

Изотропно ли время? Изотропия времени, в силу его одномерности, означала бы равноправие двух взаимно противоположных направлений на оси времени. Это один из важнейших вопросов, который постоянно находится в поле зрения физики. На сегодня полной ясности здесь нет. В обычной жизни мы привыкли, что время течет в одну сторону – от прошлого к будущему, а обратное направление невозможно, т.е. два противоположных направления на оси времени вроде бы неравноправны. Это называют *стрелой времени*. Но при переходе на более глубокий уровень исследования, в микромир, дело обстоит несколько сложнее. *На уровне микромира прямое и обратное направления течения времени равноправны* в том смысле, что все фундаментальные законы обладают свойством *временной инвариантности*, а именно – обращение времени (изменение знака времени на противоположный), не изменяет вида уравнений движения. Это означает, что для любого возможного движения системы может осуществляться обратное во времени движение, когда система последовательно проходит в обратном порядке состояния, проходимые в "прямом" движении. В классической механике уравнения движения также не меняют свой вид при замене знака времени на обратный.

В фундаментальных законах, от классической физики до теории относительности и квантовой физики, время не содержит различия между прошлым и будущим, т.е. фундаментальные физические законы симметричны по времени. Это позволяет многим утверждать, что время обратимо и, если посмотреть назад по времени, мы увидим то же, что и впереди (но в обратном порядке).

Однако хорошо известно, что в обычной жизни есть неизбежный процесс старения и не существует процесса омоложения, т.е. *в макромире время течет в одну сторону в том смысле, что все процессы идут только в одном направлении – от прошлого к будущему*. Поэтому во всех явлениях, с которыми нам приходится иметь дело, будь то явления из области макроскопической физики, химии, биологии, геологии или истории, будущее и прошлое играют разные роли. Статистическая физика объясняет этот парадокс тем, что все процессы текут в одном направлении – от неравновесного состояния к равновесному. Однонаправленность времени имеет не абсолютный, а статистический характер, т.е. возможны случайные отклонения от нее. В связи с этим говорят, что существует *стрела времени*. Это один из трех основных парадоксов современной физики и естествознания – *парадокс времени*. В настоящее время на этот вопрос нет однозначного ответа, и для многих физиков ныне это вопрос веры. В последние десятилетия появились новые подходы к решению указанной проблемы, которые свидетельствуют о существовании стрелы времени, но окончательного однозначного ответа еще нет.

Принцип относительности есть симметрия по отношению к переходу из одной инерциальной системы отсчета в другую. Эта симметрия составляет сущность специальной теории относительности, установившей физическую равнозначность, равноправность всех инерциальных систем отсчета. Доказано, что преобразования Лоренца можно рассматривать как поворот в четырехмерном пространственно-временном континууме. Эта симметрия представляет обобщение симметрии по отношению к поворотам в обычном пространстве.

Подчеркнем, что *полная однородность свойственна лишь абстрактному евклидову пространству и является идеализацией*. Реальное пространство материальных систем неоднородно, оно искривлено в зависимости от распределения тяготеющих масс. С увеличением скорости движения тел и в мощных гравитационных

полях происходит замедление всех процессов в телах, их собственное время как бы сокращается по отношению ко времени внешних систем, поэтому, строго говоря, во Вселенной отсутствует единое время, как и единое пространство, т.е. в мире существуют области с локальным ходом времени, который отличается от мирового.

Принципиально новый подход к таким фундаментальным понятиям, как пространство и время, масса и энергия, гравитация, не означает, что теория относительности перечеркивает классическую физику и разрушает стройное здание евклидовой геометрии. В явлениях, с которыми мы встречаемся ежедневно, релятивистские эффекты практически не проявляются, а законы классической физики действуют безупречно. Даже в области пространства, занимаемого всей Солнечной системой, теория гравитации Эйнштейна дает очень малые отклонения от законов Ньютона. Но когда речь идет о масштабах мегамира, охватывающего большие звездные системы или объекты огромных масс, сосредоточенных в малом объеме, учет релятивистских эффектов становится просто необходимым.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

близкодействие, взаимодействие, волна, далекодействие, движение, дифракция, интерференция, континуум, материя, поле, система, частица, черная дыра, физический вакуум, элементарная частица.

Контрольные вопросы

1. Какие виды материи различают в современной физике?
2. Правильно ли высказывание, что тела состоят из материи?
3. Какие представления о веществе и поле были выработаны в рамках классической физики?
4. В чем сущность идеи атомизма?
5. В чем сущность полевой концепции?
6. Опишите образы и свойства частицы и волны.
7. Назовите свойства пространства и времени в классической физике.
8. Сформулируйте принципы, положенные в основу специальной теории относительности, и основные следствия.
9. Что такое одновременность и как синхронизируют часы в специальной теории относительности?
10. Что означает выражение: время и длина относительны?
11. В чем состоит парадокс близнецов? Является ли он парадоксом?

12. Что понимают под стрелой времени и существует ли она?
13. Что означает однородность пространства и времени?
14. Сформулируйте свойства симметрии пространства.
15. Сформулируйте свойства пространства и времени в специальной теории относительности.
16. Как "работает" гравитация в классической физике?
17. В чем сущность принципа эквивалентности.
18. В чем состоит сущность связи геометрии и гравитации?
19. Опишите свойства пространства-времени в общей теории относительности.
20. Каковы следствия общей теории относительности?
21. Что такое черные дыры и как их можно наблюдать?

Литература: [21, 22, 24, 32, 34, 36, 39, 41, 42, 63].

Дополнительная литература: [1, 3, 4, 5, 7, 8, 16, 19, 62].

7. КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ ПРИРОДЫ

Что изучает квантовая физика. Основные идеи и принципы квантовой механики: дискретность (квантование), корпускулярно-волновой дуализм, соотношение неопределенности и принцип дополнительности, волновая функция. Квантовая лестница. Элементарные частицы как глубинный уровень организации материи: элементарны ли элементарные частицы; типы фундаментальных взаимодействий и квантовые поля – поля и частицы; кварковая природа материи и единство сил природы.

Величайшим достижением человеческого гения является то, что человек может понять вещи, которые он уже не может вообразить.

Л. Ландау

В определенном смысле вся современная физика есть квантовая физика! Она, по сути дела, является итогом "новейшей революции в естествознании". Именно здесь произошло объединение диалектики и естествознания и родилась новая методология. Квантовая физика произвела переоценку роли динамических и статистических закономерностей в пользу статистических, изменила характер физических моделей, переосмыслила роль исследователя в изучаемом им мире, привела к отказу от многих привычных понятий и представлений, внесла радикальные изменения в стиль научного мышления, по крайней мере, в отношении познания природы.

В. Вайскопф писал, что квантовая теория представляет такой плод человеческой мысли, который более всякого другого научного достижения углубил и расширил наше понимание мира.

7.1. Что изучает квантовая физика?

Прежде всего, *квантовая физика – это теория, описывающая свойства материи на уровне микроявлений*. Она исследует законы движения *квантовых объектов*, которые также называют **микрообъектами**.

Понятие микрообъекта является одним из основных в квантовой физике. К ним относятся молекулы, атомы, атомные ядра, элементарные частицы. Их характерная особенность – очень маленькие размеры – 10^{-8} см и меньше. К наиболее важным характеристикам микрообъектов относят *массу покоя* и *электрический заряд*. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ г, протон имеет массу $1836m_e$, нейтрон – $1839m_e$, мюон – $207m_e$. Фотон и нейтрино не имеют массы покоя – она равна нулю. Величина электрического заряда любого микрообъекта кратна величине заряда электрона, равного $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Наряду с заряженными существуют нейтральные микрообъекты, заряд которых равен нулю. Электрический заряд сложного микрообъекта равен алгебраической сумме зарядов составляющих его частиц. Одной из важнейших специфических характеристик микрообъектов считается **спин** (от английского слова “вращаться”). Хотя спин интерпретируется как момент импульса микрообъекта, не связанный с его движением как целого, неуничтожаемый и не зависящий от внешних условий, но нельзя представлять его как вращающийся волчок. Он имеет чисто квантовую природу – аналогов в классической физике ему нет. Наличие спина вносит существенные особенности в поведение объектов микромира.

Большинство микрообъектов являются **нестабильными** – они *самопроизвольно*, без каких-либо воздействий со стороны *распадаются*, превращаясь в другие, в том числе и элементарные, частицы. Нестабильность – это *специфическое*, но не обязательное свойство микрообъектов. Наряду с нестабильными, существуют и **стабильные** микрообъекты: *фотон, электрон, протон, нейтрино, стабильные атомные ядра, атомы и молекулы в основном состоянии*.

Квантовая физика – это еще *теоретическая основа современного учения о структуре и свойствах вещества и поля*. По сравнению с классической физикой она рассматривает материю на более глубоком и фундаментальном уровне. Она позволяет объяснить многие “почему”, которые в классической физике принципиально невозможно понять. Например, почему атомы являются устойчивыми структурами и достаточно механически прочными; почему атомы одинакового сорта невозможно различить и т.д.

Квантовая теория дает возможность рассчитать *физические характеристики вещества*. Известный физик У. Лэмб называл квантовую физику наукой, которая обеспечивает нас удивительным набором правил расчета определенных физических свойств вещества. По сути дела, *квантовая теория образует язык*, с помощью которого мы описываем наши опыты и результаты при изучении микромира, *более общий*, чем классическая теория. При этом важно понимать, что квантовая физика не отменяет классическую, а содержит ее как свой *предельный случай*. При переходе от микрообъектов к обычным макроскопическим объектам ее законы становятся классическими, и, таким образом, квантовая физика установила пределы применимости классической физики. Переход от классической физики к квантовой есть переход к более глубокому уровню рассмотрения материи.

Процессы, происходящие в микромире, относятся к явлениям, почти полностью лежащими *за пределами чувственных восприятий*. Поэтому понятия, которыми оперирует квантовая теория, и явления, которые она рассматривает, **лишены наглядности**, присущей классической физике. При становлении квантовой теории были пересмотрены такие, казалось бы, очевидные и привычные представления о частицах и волнах, о дискретном и непрерывном, о статистическом (вероятностном) и динамическом описании. Квантовая физика стала важнейшим шагом в построении современной физической картины мира. Она позволила предсказать и объяснить огромное число различных явлений – от процессов, протекающих в атомах и атомных ядрах, до макроскопических эффектов в твердых телах; без нее невозможно, как представляется теперь, понять происхождение Вселенной. Диапазон квантовой физики широк – от элементарных частиц до космических объектов. Без квантовой физики немыслимо не только естествознание, но и современная техника.

Квантовая физика состоит из многих разделов, которые, вообще говоря, самостоятельны, но грани между ними весьма размыты. Фундамент квантовой физики составляет *квантовая механика*, изучающая законы движения микрообъектов, скорости которых много меньше скорости света (нерелятивистская квантовая механика), строение и свойства атомов и молекул. Другой раздел, развитый наиболее полно – *квантовая электродинамика*, изучает взаимодействие электронов и фотонов (света). Следующий раздел – *квантовая теория поля*, которая соединяет в себе идеи квантовой механики и теории относительности (релятивистская квантовая механика), – один из удивительных и сложных разделов физики. Самым современным разделом является *квантовая хромодинамика*, изучающая кварковую структуру элементарных частиц и т.п.

Квантовая механика также составляет основу многих других разделов физики, таких как квантовая химия, квантовая теория твердого тела, квантовая электроника, теория атомного ядра и др. Она служит теоретической базой материаловедения, электроники, атомной энергетики, лазерной техники – разделов, которые определяют современный научно-технический прогресс.

7.2. Основные идеи и принципы квантовой механики

7.2.1. Дискретность (квантование)

Дискретность в физику введена давно. В частности, она отражает идею атомно-молекулярного строения вещества. Квантовая физика существенно расширила представление о дискретности и ее роли в физике. Сущность **идеи квантования** состоит в следующем: *некоторые физические величины, описывающие микрообъект, в определенных условиях принимают только дискретные значения*. Сначала дискретность была распространена на электромагнитные волны.

1. *Свет излучается прерывистыми порциями (квантами), энергия которых определяется формулой $\Delta E = h\nu$, где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка (квант действия), ν – частота света. Эту идею выдвинул М. Планк в 1900 г., чтобы объяснить законы теплового излучения. Но при этом он считал, что излучение прерывисто, а поглощение непрерывно.*

2. В 1905 г. А. Эйнштейн распространил **идею дискретности** и на процессы поглощения, чтобы объяснить загадки *фотоэффекта*: существование красной границы и зависимость энергии фотоэлектрона от частоты, а не от интенсивности. Согласно Эйнштейну электроны вещества поглощают свет также порциями с энергией $h\nu$, как и при излучении. Впоследствии квант света с энергией $h\nu$ назвали *фотоном*. Наряду с энергией фотоны переносят импульс $h\nu/c = \hbar k/2\pi$ ($k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны). Более того, *свет не только поглощается и испускается отдельными порциями, но и состоит из них*. Это было смелое и нетривиальное обобщение. Например, мы всегда воду пьем глотками (можно сказать, порциями), но это не значит, что вода состоит из отдельных глотков. По этому поводу А.Эйнштейн образно говорил, что если пиво продают в бутылках, содержащих пинту, отсюда вовсе не следует, что пиво состоит из неделимых частей, равных пинте.

По теории Эйнштейна *электромагнитная волна* выглядит как *поток квантов (фотонов)*. Но, говоря о корпускулярных свойствах света, не нужно представлять фотоны как классические частицы-шарики. С точки зрения квантовой физики свет не бывает ни потоком классических частиц, ни классической волной, хотя в различных условиях он проявляют признаки либо того, либо другого. Позднее поняли, что существование наименьшего значения энергии $h\nu$ есть общее свойство любых колебательных процессов.

В 1920-х годах было получено прямое доказательство существования фотонов. Прежде всего это проявилось в *эффекте Комптона* – упругом рассеянии рентгеновского излучения на свободных электронах, в результате чего происходит увеличение длины волны. Это явление объясняется только на языке фотонов. Возник парадокс: что такое свет – частица или волна? В 1951 г. А. Эйнштейн писал, что после 50 лет раздумий он так и не смог приблизиться к ответу на вопрос, что же такое световой квант.

3. *Квантуется энергия любого микрообъекта, помещенного в ограниченное пространство*, например, электрона в атоме. Но энергия свободно движущегося электрона не квантуется. *Квантование означает, что электрон в атоме может иметь лишь некоторый дискретный набор ее значений*. Каждое значение энергии называют *энергетическим уровнем* или *стационарным*

состоянием. Находясь в этих стационарных состояниях, электроны не излучают фотоны. Переходы между уровнями называют квантовыми переходами или квантовыми скачками. При каждом таком переходе испускается или поглощается один квант света (фотон) с энергией $h\nu = E_n - E_s$ ($n > s$), где $E_{n,s}$ – энергии уровней. Это утверждение называют правилом частот Бора.

Идея квантования энергии электрона в атоме была введена Н. Бором для объяснения загадочной устойчивости атомов. Правила квантования, введенные Бором, считаются одними из удивительных явлений в истории науки. А.Эйнштейн по этому поводу как-то сказал, что только гениальным озарением можно объяснить появление этой теории до того, как выяснились волновые свойства частиц. “Это высшая музыкальность в области теоретической физики”.

Дискретность не есть результат некоего механизма взаимодействия света с веществом – это неотъемлемое свойство самого излучения. Частота испускаемого излучения не зависит от частоты вращения электрона по орбите, а определяется разностью энергий соответствующих уровней, что и отражает дискретность процесса излучения и поглощения света атомом. Вместо непрерывного, требующего какого-то времени процесса испускания или поглощения электромагнитной волны, происходит мгновенный акт рождения или уничтожения фотона, при этом состояние атома скачкообразно меняется. Этим правилом частот объясняется не только линейчатый характер атомных спектров, но и все наблюдаемые закономерности в структуре этих спектров.

Дискретность есть главная особенность явлений, происходящих на уровне микромира. Здесь бессмысленно как угодно слабо воздействовать на квантовую систему (микрообъект), поскольку до определенного момента она этого не чувствует. Но если система готова его воспринять, она скачком переходит в новое квантовое состояние. Поэтому нет смысла беспредельно уточнять наши сведения о квантовой системе – они разрушаются, как правило, сразу же после первого измерения.

7.2.2. Корпускулярно-волновой дуализм

Развитие фотонных представлений о свете привело к признанию в начале 20-х годов XX в. идеи корпускулярно-волнового дуализма для электромагнитного излучения (дуализм – дву-

единость, двойственность, дополнительность). Согласно этой идее волне с частотой ν и волновым вектором \vec{k} ($k = 2\pi/\lambda$) можно сопоставить поток фотонов с энергией $E = h\nu$ и импульсом $p = h\nu/c = E/c$. Другими словами, *свет имеет двойственную природу* – он может проявлять свойства как *волны*, например, в эффектах интерференции и дифракции, так и *частицы* (фотоэффект и др.). *Наглядный образ такой волны-частицы составить не удается*, хотя отдельно волну или отдельно частицу мы легко себе представляем: частица – это нечто неделимое, локализованное, находится в точке; волна – ”размазана” по пространству. В обычном (классическом) понимании волны и частицы друг к другу не сводятся.

В 1924 г. Луи де Бройль распространил идею корпускулярно-волнового дуализма на все микрообъекты. *Любому микрообъекту* он сопоставил, с одной стороны, *корпускулярные характеристики (энергию E и импульс p)*, а с другой – *волновые (частоту ν или длину волны λ) и волновое число k* . Необычность этой идеи состоит в том, что теперь, например, *электрону*, который всегда был известен как элементарная частица вещества, приписывают еще и *волновые свойства*, в частности, длину волны $\lambda_B = h/p = h/mv$, которую называют *дебройлевской длиной волны* электрона. В отличие от света, для электронов и других микрообъектов (нерелятивистских) с конечной массой покоя зависимость между энергией и импульсом имеет вид $E = p^2/2m$. Эти волны де Бройль назвал ”*волнами материи*”, а для их математического описания ввел *волновую функцию*, которая описывает их поведение в пространстве и времени. Сама эта волна не несет энергии, а только отображает некий периодический процесс в пространстве и времени. Волны материи, связанные с частицами, непохожи на обычные волны, например, те, которые распространяются по воде. Это просто некие абстрактные математические функции.

Оценим длину волны электрона с энергией $E = 10$ эВ. Так как $E = m_e v^2/2$, а $p = m_e v$, то $p = \sqrt{2m_e E}$ и $\lambda_B = h/\sqrt{2m_e E} = 6,62 \cdot 10^{-34} / (2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 3,88 \cdot 10^{-11}$ м = 0,388 нм. Обратим внимание, что полученное значение длины волны сравнимо с размером атома.

В 1927 г. была обнаружена дифракция электронов (К. Дэвиссон и Л. Джермер, У. Томпсон): пучок свободных электронов дифра-

гировал на кристаллической решетке мишени, и на экране наблюдалась характерная картина дифракционных колец, подобных наблюдаемым при дифракции света. Эти опыты доказали существование волн материи и подтвердили формулу де Бройля.

Таким образом, **вещество и свет могут проявлять как волновые свойства, так и свойства частиц**. Длина волны де Бройля обратно пропорциональна массе микрообъекта, поэтому чем больше микрообъект, тем меньше эта длина волны. Для атомов и молекул дебройлевская длина волны существенно меньше, чем для электрона, и поэтому их волновые свойства проявляются заметно слабее. Однако явления дифракции и интерференции наблюдали также и для атомных, и для молекулярных пучков, что доказывает наличие волновых свойств у атомов и молекул. За последние 10–20 лет с помощью лазеров научились управлять движением атомных пучков, например, охлаждать их до температуры, близкой к абсолютному нулю, "заставлять" их дифрагировать и интерферировать.

Итак, идея квантово-волнового дуализма отражает *потенциальную способность микрообъекта* проявлять различные свойства в зависимости от тех или иных внешних условий. В одних условиях он ведет себя как волна, в других – как частица. Но как выглядит микрообъект, никто не знает, потому что, к сожалению, построить *его наглядную модель невозможно*.

Идея квантования вводит дискретность, а для ее описания требуется определенная мера, роль которой и играет *постоянная Планка*. Она определяет "границу" между микро- и макроявлениями и представляет шаг квантования. С другой стороны, *постоянная Планка органически связана с идеей дуализма*, так как она осуществляет "связь" между корпускулярными (энергия и импульс) и волновыми (частота и волновой вектор) характеристиками: $E = \hbar\omega$, $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ ($\hbar = h/2\pi$). Тот факт, что постоянная Планка играет эти две роли, указывает на **единство** этих двух основополагающих идей квантовой механики. Постоянная Планка играет фундаментальную роль в физике. Эта размерная константа позволяет количественно оценить, насколько при описании каждой конкретной физической системы существенны квантовые эффекты. Когда по условиям задачи ее можно считать пренебрежимо малой, достаточно классического (не квантового) описания.

7.2.3. Соотношение неопределенности и принцип дополнительности

Огромную роль в квантовой физике играет *принцип дополнительной* и *соотношение неопределенности*. Последнее является количественным воплощением общей **идеи дополнительной**. В. Гейзенберг, анализируя возможности одновременного измерения координаты и импульса электрона, пришел к заключению, что условия, *благоприятные для измерения его местоположения, т.е. координаты, затрудняют измерение импульса, и наоборот*. Другими словами, *чем точнее мы определяем местоположение микрообъекта, тем менее точными становятся сведения об импульсе (скорости)*. Сама природа как бы накладывает ограничения на понятия координаты и импульса принципиальные ограничения, которых нет в классической физике.

В этом смысле, говорят, что *понятия координаты и импульса дополнительные друг к другу*. Чтобы понять суть этого утверждения, рассмотрим следующий *мысленный эксперимент* по измерению координаты электрона. Чтобы определить положение электрона, нужно осветить его или посмотреть в "микроскоп". Такой способ дает неопределенность измерения координаты порядка длины волны используемого света: $\Delta q = \lambda$. Для уточнения положения электрона надо брать свет все с меньшей длиной волны. Но при взаимодействии с электроном свет передает ему импульс. Минимальный переданный импульс будет, когда используют всего один фотон. Его величина приблизительно равна импульсу фотона $p_\gamma = h/\lambda$, поэтому неопределенность импульса $\Delta p > h/\lambda$. Комбинируя эти две неопределенности, получаем, что $\Delta q \Delta p > h$. Это и есть **соотношение неопределенностей Гейзенберга**.

Существует другой способ измерения координаты электрона. Для этого пропускают пучок электронов через отверстие в экране, за которым устанавливают еще один экран, где электроны регистрируются. На нем появится пятно с размытыми краями. Это обусловлено дифракцией, так как электроны обладают свойствами волны, т.е. электрон отклоняется от прежнего направления после прохождения отверстия, а это означает, что он получил импульс отдачи в поперечном направлении. Анализ этого и других мысленных экспериментов приводит к выводу о **невозможности выполнения некоторых измерений одновременно**, который математически описывается соотношением Гейзенберга. Последнее

означает больше, чем простое техническое ограничение, которое в один прекрасный день может быть преодолено с помощью хитроумного оборудования. Дело тут не в приборах, не в неумении ставить эксперименты, дело в самой природе вещей: сам *процесс измерения оказывает влияние на состояние микрообъекта*. И это влияние никаким образом исключить невозможно, так как измерительные приборы являются макросистемами, которые описываются классическими понятиями, а заменить их просто нечем. Измерительные приборы представляют собой как бы продолжение наших органов чувств, они служат посредниками между исследуемым миром и нами. Квантовая механика позволяет найти *связь между микромиром*, который мы пытаемся *наблюдать*, и *макромиром*, к которому принадлежим мы сами вместе с нашими измерительными приборами.

До сих пор мы говорили о неопределенностях, которые возникают в акте измерения. В этом случае система не может считаться изолированной, так как она взаимодействует с другой системой, играющей роль измерительного прибора. Показано, что *соотношение неопределенности имеет место и в замкнутой изолированной системе*. Например, в основном состоянии атома водорода расчет дает интервал возможных значений координаты электрона, который связан с интервалом возможных значений импульса тем же соотношением $\Delta q \Delta p > h$. Применим это соотношение к электрону в атоме. Скорость электрона при движении вокруг ядра $v \approx 10^6$ м/с, поэтому максимально допустимая неопределенность скорости не должна превышать самой скорости. Пусть $\Delta p = m_e v$. Тогда из соотношения неопределенности находим $\Delta q = h/m_e v = 6,63 \cdot 10^{-34} / 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6 = 7 \cdot 10^{-10}$ м, т.е. неопределенность в координате имеет величину, сравнимую с размером атома. Поэтому мы не можем точно указать, где в атоме находится электрон. Образно можно сказать, что электрон как бы “размазан” по всему объему атома в виде пульсирующего облака. Именно поэтому *мы не можем говорить об орбите электрона в атоме, не можем использовать понятие траектории*, широко используемое в классической физике.

Соотношение неопределенностей для координаты и импульса – частный случай и конкретное выражение **общего принципа дополненности**, сформулированного Н. Бором в 1927 г. Для понимания соотношения между такими парными понятиями клас-

сической физики Н.Бор ввел понятие “**дополнительность**”. Он рассматривал *картину частицы* и *картину волны* в качестве *дополняющих описаний одной и той же реальности*, каждая из которых истинна лишь частично и имеет ограниченное применение. *Для полного описания атомной действительности **необходимы два образа**, но их применение ограничено принципом неопределенности.* Принцип дополнительности связан не с формой, а с содержанием квантовой теории, с тем, как устроен мир.

Квантовый объект – это и не частица, и не волна, и даже ни то и ни другое одновременно вместе. Можно сказать, что это нечто третье, не равное простой сумме свойств волны и частицы. Оно не дано нам в ощущениях, но, тем не менее, реально существует. Это есть то, что называют *квантовой реальностью*. Два дополнительных свойства такой реальности нельзя разделить, не разрушив при этом полноту и единство явлений природы. *Соотношение неопределенности является следствием двойственной природы атомных объектов* – природа сама накладывает принципиальные ограничения на понятия координаты и импульса частицы. В классической физике этого ограничения нет из-за малости постоянной Планка.

Понятия “состояние” и “наблюдение” в микромире – дополнительные понятия. Взятые по отдельности, они неполны, их можно определить только совместно. Они не существуют порознь, так как мы наблюдаем не вообще нечто, а обязательно какое-то состояние в каких-то определенных условиях. С другой стороны, всякое состояние является “вещью в себе”, пока мы не найдем способа его измерения. Это означает, что *состояние системы зависит от способа наблюдения*. Так, при исследовании электронов с помощью “дифракционной решетки” он предстает как волна (проявляет свойства волны), а в камере Вильсона – как частица.

Понятия “частица”, “волна”, “состояние”, “наблюдение системы” – это некоторые идеализации, не имеющие отношения непосредственно к тому, что называют микромиром. Но они необходимы для его понимания. Простые физические картины восприятия действительности дополнительные в том смысле, что в случае их использования для описания квантовых явлений необходимо и то и другое, т.е. их гармоничное слияние. В рамках привычной логики они существуют без противоречий, но при описании микромира по отдельности область их применимости ограничена.

Двойственность микрообъектов, их природа требуют разных описаний, *дополняющих, а не исключающих друг друга*, потому что мир богаче, чем можно выразить на любом одном языке. Разъясняя сущность принципа дополнительности, Л. Розенфельд говорил, что возможности музыки не исчерпываются последовательными стилизациями от Баха до Шенберга. Равным счетом *мы не можем на одном языке описать различные аспекты нашего опыта – реальности*.

Понятие дополнительности прочно заняло свое место в мировоззрении современной физики. Бор часто высказывал предположение относительно того, что это понятие может найти хорошее применение и за ее пределами. В последние десятилетия многие области знания стали заимствовать опыт создания разных картин одного события или объекта, которые дополняли бы друг друга. Доклады о принципе дополнительности делают на конференциях психологов, биологов, историков; появляются работы, в которых обосновывается применение взаимоисключающих "дополнительных" классов понятий в литературоведении. Сама литература давно демонстрирует нам применение "принципа дополнительности" при описании людей. Сложный мир шекспировских героев, внутренняя противоречивость героев Достоевского – все это демонстрация *многостороннего подхода* к человеку. Люди всегда выглядят по-разному для разных наблюдателей, они по-разному проявляют себя в разных условиях. Это ли не подтверждение принципа дополнительности?

Принцип дополнительности позволяет примирить, казалось бы, непримиримое: ведь электрон проявляет себя в разных экспериментах то волной, то частицей. Квантовая механика осуществляет **синтез** этих понятий и дает возможность предсказать исход любого эксперимента, в котором проявляются или корпускулярные, или волновые свойства частиц. *Физическая картина явления и его математическое описание дополнительны*. Создание физической картины требует пренебрежения деталями и уводит от математической точности. И наоборот, попытка точного описания явления затрудняет ясное понимание. На вопрос "Что дополнительно понятию истины?" Бор отвечал: "Ясность". В. Гейзенберг писал, что если размышлять об опытных данных современной физики, то приходишь к выводу, что всегда должна быть принципиальная дополнительность между размышлением и решением.

Соотношение неопределенности объясняет, почему атом находится в основном состоянии неограниченно долго, не излучает и не "падает" на ядро, как это предсказывает классическая электродинамика. Действительно, падение на ядро означало бы уменьшение неопределенности координаты электрона, так как ядро меньше атома. Если до падения на ядро электрон локализован в пределах атома (в области пространстве диаметром около 10^{-10} м), то после падения он должен был бы локализоваться в области 10^{-14} м (размер ядра). Это должно привести к размытию импульса – при падении на ядро средний импульс должен возрасти, для чего требуется энергия. Можно показать, что для этого необходимо 10^9 эВ, что в 100 раз превышает энергию связи нуклонов в ядре. Значит, нельзя заставить электрон локализоваться внутри атомного ядра. Отсюда также следует, что электроны не могут входить в состав атомного ядра. Этим же объясняется и механическая прочность атомов. При сжатии атомы не разрушаются, потому что электроны реагируют на пространственные ограничения увеличением скорости своего движения, тем самым увеличивая "жесткость" системы (как и в случае вращающегося пропеллера).

Атомные явления представляют намного более "сложную" реальность, чем та, с которой мы привыкли сталкиваться в классической макроскопической физике. Чувствительность объекта к вмешательству приборов демонстрирует свойства, которые не наблюдают у макроскопических тел. Это означает, что *нельзя описывать микрочастицу обособленно от процесса наблюдения*. Можно говорить о природе атома, лишь правильно описывая то, что происходит с ним при различных способах наблюдения и с учетом тех приборов, которые используются. Это говорит о *принципиальной взаимосвязи всех явлений природы*. В классической физике измерения можно проводить таким образом, что они практически не влияют на исследуемое явление. Поэтому явления протекают точно так же, как и без вмешательства приборов. **В микромире принципиально невозможно исключить влияние процесса наблюдения на состояние квантовой системы.**

Фундаментальное значение *соотношения неопределенности* заключается в том, что оно описывает *ограниченность наших классических представлений*. Каждый физический эксперимент должен быть описан в понятиях классической физики. Эти понятия образуют язык, с помощью которого мы описываем наши

опыты и результаты. Их ничем заменить нельзя, а применимость их ограничена соотношением неопределенности. Но *соотношение неопределенности не ставит никакого предела познанию мира, а только указывает, насколько применимы к нему понятия классической физики*. Поэтому мы не можем построить наглядную модель, используя язык классической физики, которая была бы адекватна микромиру.

7.2.4. Волновая функция

В 1926 г. Э.Шредингер обобщил идею де Бройля на случай, когда электрон движется не в свободном пространстве, а находится в кулоновском поле ядра. Он получил уравнение для волновой функции, описывающей волновые свойства микрочастиц. Это уравнение теперь называют *уравнением Шредингера*. В свободном пространстве оно описывает волновой процесс с постоянной длиной волны де Бройля. Во внешнем поле длина волны изменяется от точки к точке, то же происходит с импульсом.

Но самым интересным оказалось то, что решение уравнения Шредингера для атома водорода получается в согласии с правилами квантования Бора. Стационарное состояние электрона в атоме водорода есть стоячая волна, описываемая волновой функцией, которая возникает, когда в области движения электрона укладывается целое число длин волн де Бройля. Такие волны всегда возникают, когда они находятся в ограниченном пространстве, как, например, упругие колебания гитарной струны. Стоячая волна переходит сама в себя (она как бы замкнута сама на себя) и поэтому не уходит из ограниченной области пространства. В этом и состоит смысл правил квантования Бора.

В квантовой физике *волновая функция* является важнейшим понятием. Поэтому очень важно представлять ее физический смысл. В классической физике волна – распространение колебаний материи в пространстве. Эти колебания можно обнаружить во всех точках, до которых она успела дойти. Волны де Бройля совсем не похожи на такие классические волны. Рассмотрим мысленный опыт: пучок электронов падает на экран с двумя щелями, за которым расположена фотопластинка. Электрон, попав на нее, оставит "пятнышко", и его координата определится положением этого пятна. Пусть электроны по одному пропускаются через щели. От каждого электрона на фотопластинке возникает пятнышко.

Сначала кажется, что они появляются беспорядочно (случайным образом) одно за другим. Однако когда их станет много, образуется характерная дифракционная картина, как если бы на щелях дифрагировали световые волны с соответствующей длиной волны.

При прохождении электрона через щели пятно почернения на фотопластинке имеет случайное положение, большая же совокупность таких актов приводит к результатам, для объяснения которых электронам следует приписать волновые свойства. Нерегулярность появления пятен на фотопластинке (при одинаковых физических условиях прохождения через щели для всех электронов) показывает, что их движение определяется *вероятностными законами*. Анализ этого и подобных ему экспериментов привел М. Борна к следующему выводу: *по волновому закону изменяется волновая функция $\Psi(x, y, z, t)$ (ее часто называют амплитудой вероятности)*, которая является комплексной функцией. *Квадрат модуля волновой функции есть вероятность наблюдения события в данной точке.*

Говорят, что волновая функция в квантовой механике выступает как основной носитель информации о корпускулярных и волновых свойствах системы. Тем самым она играет первостепенную роль – с ее помощью описывают *состояние квантовой системы*. *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. Оно позволяет определить волновую функцию для любого последующего момента времени, если она известна в некоторый момент t_0 . Знание волновой функции позволяет определить физические величины, которые являются объектами экспериментального исследования.

Волновая функция описывает не волны материи, а волны вероятности. Вероятностная трактовка волновой функции отражает присущие микрообъектам элементы случайного в их поведении. Необходимой оказывается лишь вероятность поведения микрообъекта. Это означает, что *предсказания в квантовой механике имеют вероятностный характер, а физика микрообъектов – принципиально статистическая теория*. Описание системы с

помощью волновой функции является вероятностным, но эволюция волновой функции со временем носит строго динамический характер.

Рассмотрим примеры волновых функций. Для свободного электрона волновая функция имеет вид $\Psi = \exp[-i(Et - pz)/\hbar]$, т.е. это плоская волна (E , p , z – энергия, импульс и координата электрона). Но не следует думать, что свободный электрон "размазан" по огромной области: в действительности это означает, что хотя электрон и является частицей, вероятность обнаружить его в любой из точек пространства всюду одинакова. Квантовая теория связывает свойства вероятности со свойствами соответствующих частиц, соотнося амплитуду волны в определенной точке с вероятностью существования в этой точке частицы. Если амплитуда большая, то и вероятность того, что частица находится в данной точке, также велика; если нет – вероятность мала. Если амплитуда одинакова в некоторой области пространства, то частица может с равной вероятностью находиться в любой точке волны. Не надо думать, что частица с большей вероятностью находится в области гребня и с меньшей – в области впадины. Атомная частица может существовать в разных точках с определенной вероятностью и, таким образом, представляет собой странную разновидность физической реальности, нечто среднее между существованием и несуществованием. Частица не находится в определенной точке и не отсутствует там, она не перемещается и не покоится. Изменяется только вероятность, т.е. тенденция частицы находиться в определенных точках.

Другой пример – электрон в атоме водорода. Его состояние описывается волновой функцией, которая находится из решения уравнения Шредингера. Она имеет вид $\psi_{nlm}(r, \theta, \phi)$, где r, θ, ϕ – сферические координаты; m, l, n – квантовые числа, $n=1,2,3\dots$ – главное квантовое число, $l = 0, 1 \dots n - 1$ – орбитальное квантовое число, $m = -l, -l + 1, \dots, l - 1, l$ – магнитное квантовое число. Числа n и l описывают энергию электрона в атоме, которая принимает дискретный набор значений. При $l = 0$ энергия n -го уровня равна $E_n = -me^4/2\hbar^2n^2$.

Волновая функция атома водорода в состоянии с наименьшей энергией $n = 1, l = 0, m = 0$ имеет простой вид: $\psi_{100} \sim \exp(-r/a)$, $a = 5,3 \cdot 10^{-10}$ м – боровский радиус, определяющий наиболее вероятное расстояние электрона от ядра. Отсюда видно, что, во-

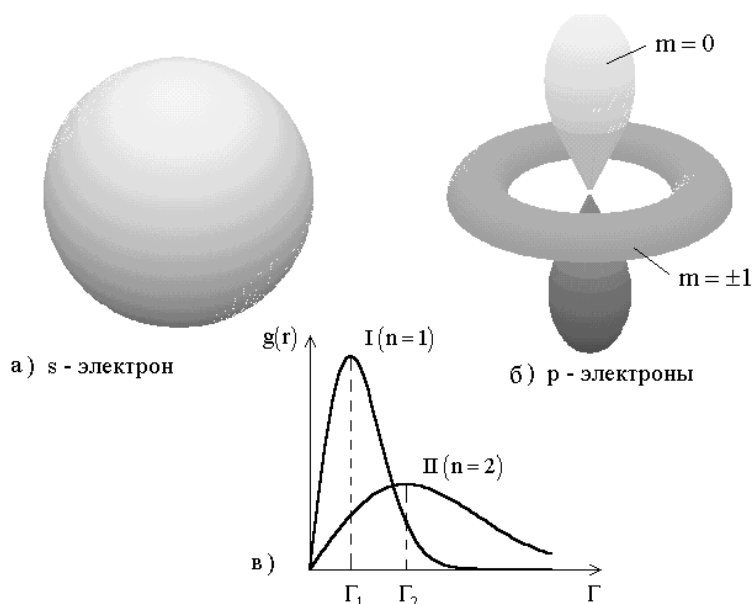


Рис. 7.1. Примеры волновых функций электрона в атоме водорода (а,б) и радиальное распределение вероятностей для двух энергетических состояний электрона в атоме (в)

первых, это состояние является сферически симметричным, а во-вторых, если атом находится в состоянии с наименьшей энергией, то амплитуда вероятности, что электрон будет обнаружен в каком-то месте, экспоненциально падает с ростом расстояния от протона. Вероятнее всего электрон встретить вблизи ядра атома.

Плотность вероятности найти электрон в точке с координатами r, θ, ϕ есть $\rho(r, \theta, \phi) = |\psi_{nlm}(r, \theta, \phi)|^2$. При образном представлении вместо электронной орбиты теперь рассматривается своеобразное "электронное облако", плотность которого в разных точках вокруг атомного ядра пропорциональна функции $\rho(r, \theta, \phi)$. Но не следует это понимать буквально, потому что в действительности электрон не размазан, а с определенной вероятностью находится в определенном месте – там, где вероятность больше, он находится чаще.

На рис. 7.1а и б показано несколько таких "облаков" для $l=0$ и $l=1$, а на рис. 7.1в – радиальное распределение вероятности для двух состояний электрона в атоме. Видно, что никаких скачков в трехмерном пространстве электрон не совершает. Скачком изменяется только энергия. Электрон может с определенной вероятностью перейти из одного состояния в другое, излучая или поглощая при этом энергию.

С точки зрения квантовой механики нельзя говорить, что электрон вращается где-то около ядра, электрон может находиться всюду, но в некоторых областях вероятность найти электрон на-

много больше, чем в остальных. Интересно отметить удивительное совпадение: максимуму вероятности соответствуют области, которые называют боровскими орбитами, именно здесь электрон находится чаще всего. Тем не менее понятие боровских орбит в квантовой физике является нефизичным, хотя и удобным при образном представлении электрона в атоме.

При нормальных условиях атом всегда находится в *состоянии с наименьшей энергией*, которое называют *основным состоянием атома*; все остальные состояния называют *возбужденными*. Все атомы, имеющие одинаковое число электронов, характеризуются одинаковыми очертаниями замкнутых "электронных" волн и одинаковыми расстояниями между ними. Поэтому *два одинаковых атома абсолютно идентичны* или *тождественны*. Это относится не только к атомам. Тождественные частицы обладают одинаковыми физическими свойствами: массой, зарядом, спином и другими внутренними характеристиками. Например, все электроны Вселенной считаются тождественными. *Тождественные частицы принципиально неразличимы* – это чисто квантовое явление. Они подчиняются **принципу тождественности** – фундаментальному принципу, согласно которому *состояния системы частиц, получающиеся друг из друга перестановкой тождественных частиц местами, нельзя различить ни в каком эксперименте*. Такие состояния должны рассматриваться как одно физическое состояние. Принцип тождественности – один из основных отличий между классической и квантовой механикой. В классической механике всегда можно проследить за движением отдельных частиц по траекториям и таким образом отличить одну частицу от другой. В квантовой механике тождественные частицы полностью лишены индивидуальности. Из принципа тождественности следует, что для тождественных частиц в природе реализуется два класса волновых функций: *симметричные волновые функции*, которые не изменяются при перестановке пространственных и спиновых координат любой пары тождественных точек, и *антисимметричные волновые функции*, которые изменяют свой знак на противоположный при аналогичных перестановках.

Предсказания квантовой механики дают не *однозначный* ответ, а лишь *вероятность* того или иного результата. Эта неоднозначность противоречит детерминированности классической физики. В квантовой механике задать координаты и скорости всех

частиц невозможно. Самое большое, что можно сделать, – задать в начальный момент волновую функцию. *Волновая функция есть максимально полное описание состояния микрообъекта.* Она заменяет классическое состояние, которое задается координатами и скоростями. Квантовая механика позволяет однозначно найти волновую функцию в любой более поздний момент времени. Причинность в лапласовском смысле нарушается, но в более точном квантово-механическом понимании она соблюдается. *Вероятностную причинность* понимают так: *из максимально полного определенного начального состояния следует единственно возможное конечное состояние.*

Главное открытие квантовой механики – *вероятностный характер законов микромира.* Вероятностное описание явлений до квантовой механики возникало в сложных системах, где малое изменение начальных условий приводит за достаточно большое время к сильному изменению состояния, хотя эти системы описываются строго однозначными уравнениями классической механики. Здесь вероятность появляется при усреднении по начальным состояниям. В квантовой физике вероятностное описание имеет место для простых (одиночных) систем и не требует усреднения начальных условий.

Причина вероятностного описания предсказаний в том, что *свойства микрообъектов нельзя изучать, отвлекаясь от способа наблюдения.* Акт наблюдения в квантовой физике не является побочным обстоятельством, а есть средство получения информации. При этом наблюдатель весьма основательно вмешивается в микромир. *Наблюдение вызывает определенное изменение в физической системе.* Стоит только “взглянуть” на атом, как тот совершает характерный переход, не воспроизводимый обычным физическим воздействием. *В зависимости от способа наблюдения электрон проявляет себя либо как волна, либо как частица, но одновременно эти свойства не проявляются.* По этому поводу де Бройль отмечал, что мы пребываем в ожидании борьбы между волной и частицей, но ничего не происходит, поскольку оба противника никогда не появляются вместе. В результате это позволило Н. Бору сделать вывод, что наука изучает не саму реальность, а лишь наш контакт с нею.

Однако существуют свойства, не зависящие от способа наблюдения: масса, заряд, спин частицы, ее магнитный момент. Но когда

измеряют *дополнительные друг к другу величины, результат зависит от способа наблюдения*. Это свойство Фок назвал *"относительностью к средствам наблюдения"*. В квантовой теории результат измерений зависит от того, что и как измеряют в одном и том же эксперименте. Причины этого неустранимы, так как мы вынуждены описывать квантовые объекты на языке классической физики, на котором *"говорят"* наши средства наблюдения и на котором мы формулируем свои мысли.

В. Вайскопф заметил, что в атомном мире словно не хватает реальности – перед нами призрачные образования, подчиняющиеся законам, которые будто бы не природой заданы, а изданы сумасшедшим королем. Но в некоторых отношениях мир, изучаемый квантовой механикой, куда более определенное и яснее привычного нам макромира. Во всяком случае он построен из гораздо более однородных и стандартных *"деталей"*. Именно суперстандартность микромира обеспечивает макромиру устойчивость и единство, несмотря на все его многообразие. Квантовый мир – фундамент макромира, гораздо более однообразен, чем здание, построенное на нем. Но квантовая картина мира более сложна, потому что *подчиняется другим законам, чем привычная часть физического мира*. Но, с другой стороны, она более проста, поскольку построена, можно сказать, из набора стандартных деталей. Как говорил В. Вайскопф – природа любит стандартные решения.

Итак, квантовая физика показала:

1. В микромире *"балом правит"* дискретность, тогда как в классической физике можно делить каждый процесс на составные части до бесконечности (непрерывность). Но в квантовой физике дискретность и непрерывность связаны рамками корпускулярно-волнового дуализма.

2. Основными фундаментальными законами являются статистические закономерности, а не динамические; вероятностная форма причинности есть основная форма, тогда как классический детерминизм представляет собой лишь предельный случай. Вероятностные закономерности применимы не только к коллективам, но и к отдельным объектам – поведение уже одного микрообъекта имеет ярко выраженный вероятностный характер.

Подчеркнем, что статистические формулировки законов атомной и субатомной физики не отражают нашего незнания физической ситуации, как в случае с использованием вероятностей стра-

ховыми компаниями или игроками в азартные игры. В квантовой теории *вероятность следует воспринимать как основополагающее свойство атомной действительности*, управляющее ходом всех процессов и даже существованием материи. Мы не можем точно сказать, где в данный момент находится электрон данного атома. Его местонахождение зависит от действия силы притяжения ядра и воздействия других электронов того же атома. Можно лишь указать с некоторой вероятностью область его пребывания. Поэтому говорят, что субатомные частицы не столько существуют в определенное время и в определенном месте, сколько могут существовать, атомные явления не столько происходят определенным образом, сколько могут происходить в определенные моменты времени.

В экспериментах мы наблюдаем не реальность как таковую, а лишь явления, включающие результат взаимодействия прибора с микрообъектом. Как образно заметил М. Борн, частицы и волны – это “проекции” физической реальности на экспериментальную ситуацию. В атомной физике мы не можем говорить о свойствах объекта как таковых (ни от чего не зависимых). Они имеют значение только в контексте взаимодействия объекта с наблюдателем. Наблюдатель – лицо, реально выполняющее измерение. В отсутствие наблюдателя квантовая система каким-то образом существует и развивается. Наблюдатель решает, каким образом он будет осуществлять измерения, и в зависимости от своего решения получает характеристику свойства наблюдаемого объекта. После того, как проведено измерение (наблюдение), поведение системы становится иным. Чем именно вызвано это изменение в поведении системы, до конца пока еще не ясно, но многие физики утверждают, что это *изменение обусловлено вмешательством экспериментатора*. Если эксперимент проводится по-другому, свойства наблюдаемого объекта тоже изменяются. Ограничения, которые возникают из-за соотношения неопределенности, не имеют никакого отношения к несовершенству измерительных приборов. Это принципиальное ограничение, обусловленное самой природой атомного мира.

Наблюдатель принципиально не может выделить наблюдаемый объект сам по себе. Нельзя говорить об электроны или фотоне, существующими сами по себе, без связи с другими элементами системы. Свойства электрона, если можно говорить о нем как о

самостоятельном объекте, зависят от того, как поведет себя наблюдатель. Если последний использует дифракционную решетку, то он изучает не свойства электрона, а свойства системы *электрон плюс решетка*. Обнаружив дифракционные полосы, наблюдатель имеет право говорить об электроне как о волне. Если используется камера Вильсона, то наблюдатель изучает свойства системы *электрон плюс камера Вильсона* и, обнаруживая в ней следы летящих частиц, может говорить о том, что электрон – частица. В обоих случаях наблюдатель изучал две разные системы, которые не могут быть выделены из всей общей системы, в которой они находятся. Причем здесь один элемент (наблюдатель с прибором) принадлежит к макромиру, а другой (электрон) – к микромиру, и они описываются на разных языках.

Квантовая физика рисует картину мира, в которой отдельные частицы материи не существуют сами по себе как реальные первичные объекты, в отличие от традиционного представления о реальности, которое основано на классической механике Ньютона. Последняя утверждает, что вещество состоит из частиц, которые рассматриваются как строительные блоки для более крупных конструкций. С этой точки зрения заведомо существует внешний мир, который состоит из частиц, обладающих местоположением, размером и т.д., причем он существует независимо от того, наблюдаем мы его или нет. В этом и состоит одно из основных отличий классической физики от квантовой.

Квантовая теория свидетельствует о принципиальном единстве Вселенной. Она показывает, что *нельзя разложить мир на независимые друг от друга составляющие*. Поэтому говорят, что здесь *мир выступает как совокупность отношений*. Квантовый подход решительно отвергает лапласовский детерминизм, отрицая, что мир можно объяснить как сумму его составных частей. В квантовой физике макромир и микромир оказываются тесно связанными, она подходит к системе как к единому целому, устанавливает связи между частями системы; именно это и дает возможность познания свойств микромира. Большое и малое сосуществуют, но одно не исчерпывает другого, как, равным образом, второе не объясняет первого. Поэтому и говорят, что *квантовая физика – это мировоззрение целостности, или холизм*.

Рассмотренная трактовка квантовой теории, которую часто называют *копенгагенской*, не является единственной. Было выдви-

нуто еще несколько вариантов интерпретации, но они имеют меньшее распространение, хотя в последние годы к ним усилился интерес у некоторых физиков.

3. В квантовой физике глубоко проявляется присущая природе диалектика. Метафизический подход к исследованию природы в классической физике соответствует лишь первому этапу познания, и для более глубокого познания законов природы необходимо использование диалектического метода. Несомненно, одним из главных достижений квантовой физики следует считать формирование нового способа мышления, которое теперь называют *неклассическим* или *квантово-физическим*. Именно это и привело к дальнейшему развитию рационализма и кардинальному изменению картины мира.

7.3. Квантовая лестница

Индивидуальность и стабильность квантовых состояний имеют определенные *ограничения*. Атом обладает единообразной и специфической конфигурацией лишь до тех пор, пока не возмущен извне эффектами достаточно сильными, чтобы возбудить его в более высокие квантовые состояния. При очень энергичном внешнем воздействии индивидуальность квантовых эффектов исчезает, и система приобретает характер классический, непрерывный, как это и требует принцип соответствия.

Квантовый характер механической системы имеет ограничения; он проявляется лишь до тех пор, пока возмущающие факторы слабее, чем энергия возбуждения высоколежащих квантовых состояний. Этот порог возбуждения зависит от характера системы. Например, очень малая энергия требуется, чтобы изменить квантовое состояние большой молекулы; значительно большая энергия нужна для изменения состояния атома, и в тысячу раз большая энергия требуется, чтобы произвести изменения внутри атомного ядра. Это и есть *характерная последовательность условий*, которую В. Вайскопф назвал *квантовой лестницей*.

При низкой температуре молекулы вещества связаны в кристалл, в котором одна часть идентична другой. При его нагревании до более высокой температуры происходит плавление или испарение, а кристалл превращается в жидкость или газ. В газе при определенных температурах каждая молекула движется независимо от других по своей траектории. Движения молекул уже

не сходны между собой, но сами они остаются одинаковыми, взаимодействуя между собой подобно столкновениям бильярдных шаров. При более высоких температурах, когда энергия соударений превосходит энергию возбуждения частицы, в энергетический обмен начинает также вносить вклад внутреннее движение атомов и электронов. При достижении определенной температуры газ начинает светиться – излучать свет.

При дальнейшем увеличении энергии молекулы расщепляются на атомы, а далее от атомов отрываются электроны – атомы теряют свою индивидуальность и специфичность. Электроны и атомные ядра движутся свободно, случайным образом. Эта ситуация встречается в звездах, но может быть создана и в лабораторных условиях, например, в плазме. При таких энергиях атомные ядра еще находятся в своих основных состояниях, они идентичны и имеют вполне определенные свойства, тогда как атомы уже потеряли свои специфические качества. Когда в систему вводят энергию в миллион и более эВ, например в больших ускорителях, начинают возбуждаться более высокие квантовые состояния ядер или даже они расщепляются на протоны и нейтроны, теряя при этом свою индивидуальность и характерные свойства, становясь классическим газом протонов и нейтронов. В современных ускорителях имеется возможность передавать протонам и нейтронам такую огромную энергию, что начинает раскрываться их внутренняя структура. Развитие техники в этом направлении приводит к открытию новых структур.

Понятие квантовой лестницы позволяет раскрыть структуру Вселенной. При исследовании на уровне энергии атомов нас не должна интересовать внутренняя структура ядер. Когда изучают механику газов, внутреннее строение атома также не имеет значения. В первом случае ядра можно рассматривать как элементарные частицы (идентичные неизменные объекты); во втором – аналогично можно рассматривать каждый атом.

Проследим, что происходит, когда энергия или температура изменяются в обратном направлении, т.е. при спуске по квантовой лестнице с наивысшей известной ступени. Таковым может быть газ протонов, нейтронов и электронов при исключительно огромной температуре, соответствующей энергии нескольких десятков миллионов эВ и больше. Здесь, по сути дела, существуют только три различные элементарные частицы, движение которых носит

совершенно случайный характер. При более низкой энергии, например меньше миллиона эВ, протоны и нейтроны уже образуют атомные ядра. Теперь картина приобретает больше специфических черт. Существует много различных типов ядер, каждое из которых представляет вполне определенное индивидуальное состояние. Но и здесь движение электронов и протонов случайно, неупорядоченно и непрерывно меняется. При еще более низкой энергии, например как на поверхности Солнца, электроны попадают в упорядоченные квантовые состояния, локализованные около ядер. На этой ступени квантовой лестницы появляются атомы с их специфическими индивидуальностями и химическими свойствами. Опускаясь далее до энергий десятых долей эВ, атомы могут образовывать молекулы, набор которых более разнообразен, чем атомов. Но они являются менее стабильными, чем атомы.

Дальнейший спуск до 0,01 эВ, соответствующей комнатной температуре, приводит к образованию жидкости и кристаллов, увеличивая разнообразие возможных состояний вещества. Далее среди специфических состояний материи возникают живые организмы, которые отличаются способностью к *самовоспроизведению* путем сборки из более простых молекул. *Для существования живой материи требуется определенный интервал температур*, вне которого жизнь существовать не может. С этой точки зрения человеческая жизнь, мысли и чувства – не более чем проявление одной из стадий развития мира.

Из изложенного можно сделать вывод, что материи присуща склонность к образованию качественно выделенных специфических форм, склонность, имеющая в своей основе *стабильность и индивидуальность квантовых состояний*, или, другими словами, *материи присуще саморазвитие*.

7.4. Элементарные частицы как глубинный уровень организации материи

Часто говорят, что цель физики состоит в объяснении законов природы или, по крайней мере, неодушевленной природы. Но что значит объяснить? Это значит установить несколько простых принципов, которые позволяют описать свойства того, что должно быть объяснено.

Е. Вигнер

7.4.1. Элементарны ли элементарные частицы

Элементарные частицы в точном значении этого слова – *первичные, далее неразложимые частицы*, из которых, по предположению, состоит вся материя. В этом понятии в современной физике находит выражение идея о *первообразных сущностях*, определяющих все известные свойства материального мира. Эта идея зародилась на ранних этапах становления естествознания и всегда играла важную роль в его развитии.

Понятие элементарных частиц сформировалось в тесной связи с установлением дискретного характера строения вещества на микроуровне. Использование этого термина имеет исторические причины и связано с тем периодом, когда единственными известными их представителями были *фотон, протон, электрон, нейтрон, мезон и нейтрино*, которые считались действительно элементарными, так как служили основой для построения вещества и взаимодействующего с ним электромагнитного поля, а сложная структура протона и нейтрона еще не была известна. Все эти частицы были при деле. Из протонов и нейтронов построены ядра атомов. Протоны имеют положительный заряд, нейтроны не имеют электрического заряда, но по массе они примерно равны массе протона и вместе с ним определяют атомный вес. В ядре между протонами и нейтронами действуют силы притяжения, к которым определенное отношение имеет мезон. Нейтрино – нейтральная частица, не имеющая массы покоя, как и фотон, ни с чем не взаимодействующая. Она нужна только для того, чтобы при ядерных реакциях не нарушался закон сохранения энергии. Открытие новых частиц разрушило эту простую картину. Мир, оказалось, устроен гораздо сложнее и непонятнее: например, протоны и нейтроны имеют сложную структуру. Поэтому уже нельзя

утверждать, что элементарные частицы в смысле приведенного выше определения в действительности существуют, и от такого определения элементарности пришлось отказаться.

В настоящее время термин "элементарные частицы" в современной физике употребляется для наименования большой группы частиц материи, которые не являются атомами или ядрами. Эта группа частиц достаточно обширна. Помимо упоминавшихся протонов (p), нейтронов (n) и электронов (e^-), к ней относятся: фотоны (γ), пи-мезоны (π), мюоны (μ), тяжелые лептоны (τ), нейтрино трех типов – (электронное ν_e , мюонное ν_μ и τ -нейтрино), так называемые странные частицы (K-мезоны и гипероны), разнообразные резонансы, мезоны со скрытым "очарованием" (J/Ψ , Ψ' и другие), "очарованные" частицы и ипсилон частицы (Υ) – всего более 350 частиц, абсолютное большинство из которых являются нестабильными.

Все элементарные частицы являются объектами исключительно малых масс и размеров. У большинства из них массы приблизительно равны массе протона ($1,67 \cdot 10^{-24}$ г). Только электрон имеет значительно меньшую массу ($9,1 \cdot 10^{-28}$ г). Размеры частиц имеют величину 10^{-13} см и меньше. Такие исключительно микроскопические массы и размеры обуславливают квантовую специфику их поведения. Характерные длины их дебройлевских волн по порядку величины близки к типичным размерам, на которых осуществляется их взаимодействие. Поэтому квантовые закономерности в их поведении оказываются определяющими.

Одной из важнейших специфических характеристик элементарных частиц является *спин*. Он квантуется, т.е. имеет дискретный набор значений, которые выражаются целыми или полуцелыми положительными числами (в единицах \hbar). Например, для фотона спин $s = 1$, для электрона – $s = 1/2$, у пионов и каонов спина нет ($s = 0$). Спин – эта специфическая характеристика квантовых объектов, он не имеет классического аналога, и его наличие указывает на "внутреннюю сложность" микрообъекта. Иногда пытаются сопоставить модель микрообъекта, вращающегося вокруг своей оси. Такая модель наглядна, но в принципе неверна, поэтому ее не следует понимать буквально.

Число наблюдаемых в физических экспериментах элементарных частиц продолжает расти, при этом большинство из них не удовлетворяет строгому определению элементарности, так как они сами составные системы. Объединяющее их свойство заключается

в том, что все они являются *специфическими формами существования материи, не ассоциированной в ядра и атомы* (иногда их также называют *субъядерными* частицами).

Элементарных частиц оказалось так много, а свойства их настолько разнообразны, что их пришлось распределить по *семействам*, используя основные характеристики – *массу, электрический заряд и спин*.

Первую группу составила одна частица – *фотон*. Его масса и заряд равны нулю, спин равен 1.

Вторую группу образовали **лептоны** (от греческого “лептос” – мелкий, легкий), среди которых наиболее известными являются *электрон, мюон, электронное и мюонное нейтрино*. Они могут иметь электрический заряд, а могут и не иметь. Их спин равен 1/2. Обычно они принимают участие в слабых взаимодействиях, но могут участвовать и в сильных. Среди лептонов, по-видимому, наиболее удивительной частицей является нейтрино, которая не участвует ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействиях. Считается, что нейтрино наиболее распространены во Вселенной, но, тем не менее, изучать их очень сложно, так как они практически неуловимы.

Все остальные частицы принадлежат к третьему семейству, которое называют **адроны** (от греческого “хадрос” – массивные). Все адроны участвуют в сильном (в том числе ядерном) взаимодействии. Они, в свою очередь, делятся на две подгруппы: *мезоны* (от греческого “mesos” – средний, промежуточный) и *барионы* (от греческого “bagys” – тяжелый). *Мезоны* со спином 0 образуют семейство, в состав которого входят: *положительный и нейтральный пионы* (π^+ , π^0), *положительный и нейтральный каоны* (K^+ , K^0) и другие. К *барионам* относятся *нуклоны* (протон, нейтрон), *гипероны* с полуцелым спином и еще множество других частиц.

Иногда в особую группу выделяют частицы, которые переносят взаимодействия, но не являются строительным материалом вещества. Это, прежде всего, *фотоны* – переносчики электромагнитных взаимодействий. Переносчики сильного взаимодействия – *глюоны*, обеспечивающие взаимодействие между *кварками* – частицами, из которых состоят нуклоны. Переносчики слабого взаимодействия – W_{\pm} , Z_0 -*бозоны*, открытые в 1983 г. Гипотетические частицы, ответственные за гравитационное взаимодействие, называются *гравитонами*.

Каждая элементарная частица описывается набором дискретных значений определенных физических величин, которые служат ее характеристиками. Общими характеристиками всех элементарных частиц являются *масса* (m), *время жизни* (τ), *спин* (J) и *электрический заряд* (Q). Помимо этих величин, они характеризуются еще рядом так называемых, "внутренних" *квантовых чисел*: *барионный заряд*, *лептонный заряд*, *странность* (L), *четность* (P), "очарование" (S), "красота" (C) и др., которые относятся не ко всем частицам, а лишь к определенным.

Почти все частицы имеют *античастицы*, кроме фотона, нейтрального π -мезона и η^0 -частицы, которые считаются истинно нейтральными частицами. Античастицы отличаются от частиц знаком электрического заряда, а также знаками всех специфических зарядов, например, знаком странности.

Все лептоны и барионы имеют *полуцелый спин*, их еще называют *фермионами*. Все эти частицы обладают свойством, имеющим характер закона: частицы с полуцелым спином могут находиться вместе только при условии, если их физические состояния не одинаковы – *принцип запрета Паули*. Фотоны и мезоны имеют *целый спин* – их называют *бозонами*. В отличие от фермионов на них запрет Паули не распространяется, и они могут находиться вместе в любом количестве. Причина этого различия до сих пор не ясна. Предполагается, что имеется определенный тип симметрии, присущий именно микромиру, который и определяет это различие.

У барионов есть свой барионный заряд B , который определяет взаимодействие барионов. В отличие от электрического заряда, который создает электрическое поле, специального барионного поля нет. Барионный заряд – это квантовое число, характеризующее определенную степень свободы частицы. Для всех барионов $B = 1$, для антибарионов – $B = -1$. Для остальных частиц $B = 0$.

Два главных бариона – протон и нейтрон – очень похожи друг на друга, хотя первый имеет положительный заряд, а второй – заряда не имеет. Однако оказалось, что они являются разными состояниями одной и той же частицы – нуклона. Состояния нуклона характеризуют квантовым числом, которое называют *изоспином* I . Для протона $I = 1/2$, а для нейтрона – $I = -1/2$. Это свойство нуклона называют *зарядовой независимостью*, и обусловлено оно симметрией – *изотопической инвариантностью*. Здесь слово *изотопический* означает примерное равенство масс

нуклонов, а сама величина называется спином, потому что зарядовая независимость математически описывается так же, как и спин. Симметрия природы объединяет протон и нейтрон в единую частицу – нуклон, обладающий изотопической симметрией. Электромагнитное поле нарушает эту симметрию. Когда поля нет, разница между ними полностью исчезает.

Все адроны характеризуются квантовым числом, которое называют *странностью* S . Оно может быть нулевым, положительным или отрицательным, но $S \leq 3$. Античастицы имеют противоположный знак странности по сравнению с частицами. Квантовое число, называемое *четностью* P , характеризует свойство волновой функции частицы изменять или сохранять свой знак при изменении знака всех пространственных координат. С точки зрения симметрии это соответствует отражению в центре симметрии или в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Такое преобразование переводит левую систему координат в правую (т.е. левое меняется на правое).

Существует еще целый ряд квантовых чисел, с которыми связаны определенные законы сохранения и которые связаны с симметрией не так наглядно, как рассмотренные выше. Например, силы, действующие между нуклонами в ядре, не зависят от электрического заряда. Поэтому ядра, в которых все протоны заменены на нейтроны и наоборот, имеют почти одинаковые свойства. Такие ядра называют зеркальными. В частности, свойства ядра лития-7, в котором три протона и четыре нейтрона, почти одинаковы со свойствами ядра бериллия-7, у которого, наоборот, четыре протона и три нейтрона. Такой тип симметрии называют *первой динамической симметрией*. Она приближенная, поскольку речь идет только о почти одинаковых свойствах. Небольшое различие обязано электрическому заряду протона.

Вторая динамическая симметрия связана с возможностью существования антимира. Мы говорили, что практически каждой частице соответствует своя античастица. Они отличаются только знаками зарядов. У незаряженных частиц меняются на противоположные другие свойства, например, нейтрино и антинейтрино различаются направлением спина. Симметрия мира абсолютно точная, но наш реальный мир состоит только из частиц. Пока окончательного объяснения этому факту нет. Объяснение связывают с наличием *скрытой симметрии*, суть которой состоит в следующем. Представим две одинаковые долины, разделенные холмом, на

котором находится шар. Первоначально ситуация совершенно симметрична, и шар с равной вероятностью может упасть в любую из двух долин. Но вследствие случайных причин он все же скатывается в одну из них, и ситуация становится несимметричной. Идея скрытой симметрии в некотором смысле аналогична рассмотренной, в том смысле, что Вселенная когда-то находилась в подобной ситуации. Законы, описывающие поведение Вселенной, симметричны, но соответствующие этим законам решения неустойчивы. Именно в этом и состоит причина перехода Вселенной в асимметричное состояние. Скрытая симметрия вещества и антивещества состоит в равной возможности возникновения частиц и античастиц. Считается, что так, по-видимому, и было на ранней стадии развития Вселенной. При этом особую роль, возможно, сыграли граничные условия, при которых происходил физический процесс. В существующих теориях они не могут быть учтены, так как неизвестны. Именно это и привело Вселенную к тому, что она “скатилась в долину вещества”. Это явление называют *спонтанным нарушением симметрии*.

Все элементарные частицы, за исключением фотона, протона, электрона и двух нейтрино, *нестабильны*. Это означает, что они *самопроизвольно*, без каких-либо воздействий извне, распадаются, превращаясь в другие частицы. Например, нейтрон распадается на протон, электрон и электронное нейтрино. Невозможно предсказать, когда именно произойдет этот распад; каждый акт распада происходит совершенно **случайно**. Но если проследить за множеством распадов, можно обнаружить закономерность распада, которая состоит в том, что если в момент времени $t = 0$ было $N_0 \gg 1$ нейтронов, то к моменту времени t останется $N(t) = N_0 \exp(-t/\tau)$, где τ – характерная постоянная, которую называют *временем жизни* (нейтрона). Для нейтрона $\tau = 10^3$ с. Физический смысл величины $\exp(-t/\tau)$ – вероятность для отдельной частицы не распасться по истечении времени t . Каждая элементарная частица характеризуется своим временем жизни. Чем меньше время жизни, тем больше вероятность распада частицы. Для мюонов $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с, для π^+ -мезонов – $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8}$ с, гиперонов – $\tau = 10^{-10}$ с, нейтральных π -мезонов – $\tau = 10^{-16}$ с, для резонансов $\tau = 10^{-22} - 10^{-23}$ с. В течение времени жизни каждая частица сохраняет свою индивидуальность. Некоторые частицы могут распадаться различными способами, при этом так-

же невозможно точно предсказать не только время, но и способ распада. Нестабильность большинства элементарных частиц, как и спин, сугубо специфическое свойство микрообъектов, которое также можно рассматривать как их "внутреннюю сложность".

Другое наиболее важное квантовое свойство всех элементарных частиц – их *взаимопревращаемость*, т.е. способность *рождаться и уничтожаться* при взаимодействии с другими частицами. В этом отношении они аналогичны фотонам. *Все процессы с элементарными частицами протекают через последовательность актов их поглощения и испускания* (рождения и уничтожения). Ни одну из частиц нельзя разбить на части, при столкновениях они просто исчезают, а вместо них рождаются другие частицы.

Элементарные частицы представляют собой вид материи, *качественно отличный от более сложных частиц*. Различие между ними так велико, что к элементарным частицам неприменимы категории простого и сложного, составной части и структурного целого, т.е. понятие "внутренней структуры", как, например, для атома или молекулы. Такие понятия относительны. Действительно, атом сложен и имеет внутреннюю структуру по отношению к ядру и электронной оболочке. Но он является простой частицей по отношению к молекуле. Для элементарных частиц такой подход не верен. Продукты "распада" элементарной частицы не более просты, чем распавшаяся. Вновь возникшие частицы также элементарны, поскольку они находятся на том же уровне структурной иерархии, что и породившая их структура. На элементарном уровне структурное целое не обязательно больше, чем каждая из его составляющих.

Специфика элементарных частиц проявляется и в энергетических взаимодействиях. Полная энергия материального тела складывается из собственной энергии, соответствующей его массе покоя $E = mc^2$, и суммы энергий связей составных элементов. В большинстве случаев собственная энергия намного превосходит энергию связи. Поэтому при разложении, например, молекулы на атомы в самих атомах заметных изменений не происходит. В элементарных частицах все происходит не так. Здесь невозможно всю энергию разделить на собственную энергию и энергию связей. Поэтому они и не могут разлагаться на составные части, хотя и имеют внутреннюю структуру. Элементарные частицы не содер-

жат в себе других частиц. Новые частицы возникают в процессе распада.

7.4.2. Типы фундаментальных взаимодействий и квантовые поля – поля и частицы

Все силы, существующие в природе, сводятся сегодня к *четырем взаимодействиям*, которые называют **фундаментальными**: *гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое*. Эти фундаментальные взаимодействия лежат в основе всех других известных форм движения материи.

Гравитационное взаимодействие *самое универсальное* – оно характерно для всех материальных объектов, не зависит от их природы и простирается на огромные расстояния. Любое материальное тело создает гравитационное поле. Гравитация проявляется в виде *притяжения* между телами. Но важную роль оно играет только при взаимодействии больших массивных объектов и не учитывается при взаимодействии микрообъектов. В этом смысле гравитационное самое слабое из всех известных взаимодействий. Однако на расстояниях 10^{-33} см (*фундаментальная длина*) и при очень больших энергиях гравитация вновь приобретает существенное значение, так как становится сравнимой с остальными взаимодействиями. В рамках общей теории относительности гравитация рассматривается как искривление пространства-времени. Такой подход наиболее адекватен в случае сильных гравитационных полей.

Электромагнитное взаимодействие действует между электрически заряженными телами, как покоящимися, так и движущимися. Оно присутствует в электрических, магнитных и электромагнитных явлениях и процессах, с которыми мы встречаемся наиболее часто в жизни. Электромагнитное взаимодействие определяет строение и свойства атомов и молекул, включает в себя кулоновские силы, силы взаимодействия между проводниками с током, силы трения, сопротивления, упругости, химические силы и другие, т.е. проявляется на макроскопическом уровне. Оно считается основным в химии и биологии. В электромагнитных взаимодействиях не участвуют только нейтрино и антинейтрино.

Сильное взаимодействие "скрепляет" кварки внутри нуклонов. В сильных взаимодействиях участвуют все адроны. Оно действует на расстояниях 10^{-13} см и меньше и представляет собой

притяжение или отталкивание между составными частями микрообъекта.

Ядерные силы, действующие внутри ядра и отвечающие за *связь протонов и нейтронов (нуклонов)* в атомных ядрах, а также за многообразие ядерных реакций, перестали считаться фундаментальными. Пока до конца не все еще ясно, но предполагается, что они должны как-то выражаться через сильные взаимодействия.

Слабое взаимодействие ответственно за большинство распадов и многие превращения элементарных частиц. В этом процессе принимают участие все частицы. Оно простирается на расстояния $10^{-15} - 10^{-22}$ см. Это взаимодействие ответственно, например, за превращение в ядре нейтрона в протон, электрон и антинейтрино; оно же вызывает переходы между лептонами. Большинство частиц нестабильны именно из-за слабого взаимодействия.

Законы действия фундаментальных сил и их зависимости от расстояний различны – можно сказать, что у каждой своя ”сфера влияния”. Гравитационная сила, хотя и простирается на большие расстояния, существенна лишь для очень больших тел. Если бы атом водорода удерживался только за счет гравитационного взаимодействия между электроном и протоном, его размер был бы сравним с размерами видимой Вселенной. Электромагнитное взаимодействие, за счет которого удерживается электрон возле протона, в 10^{36} раз больше гравитационного взаимодействия. Электромагнитное взаимодействие не столь универсально, как гравитационное, но именно ему мы обязаны практически всем, что нас окружает. Сильное взаимодействие примерно в 100 раз превосходит электромагнитное и в 10 000 раз – слабое.

До середины 1950-х годов физики были убеждены, что в мире элементарных частиц все известные законы сохранения соблюдаются строго. Представлялось, что мир симметричен относительно таких симметрий, как *зарядовое сопряжение* (*C*-симметрия), согласно которому замена всех частиц на античастицы не меняет характера процессов в природе; симметрия относительно *обращения времени* (*T*-симметрия); *четность* или *P*-инвариантность (зеркальная симметрия), описывающая закон сохранения четности. Однако это оказалось не так.

В микромире симметрия контролируется взаимодействием, причем точность проявления симметрии, а значит, и законов сохранения, различна для разных взаимодействий – чем сильнее взаимо-

действие, тем точнее выполняется симметрия. В процессах, контролируемых сильным или электромагнитным взаимодействиями, строго сохраняются C -, P - и T -симметрии, причем каждая по отдельности. В слабых же взаимодействиях каждая из динамических симметрий нарушается, и только совместное действие удерживает мир в симметричном состоянии. Оказалось, что *наш мир симметричен только относительно всех трех преобразований – СРТ-симметрия*, а каждое преобразование в отдельности может приводить к асимметрии. Таким образом, и в микромире (как и в макромире) имеются абсолютные различия между частицами и античастицами, между “левым” и “правым”, между “прошлым” и “будущим”.

Свойства и взаимодействия элементарных частиц наиболее полно и последовательно описываются в рамках понятия *физического поля*, которое ставится в соответствие каждой частице. *Поле есть специфическая форма материи*. С математической точки зрения оно описывается *функцией, задаваемой во всех точках пространства-времени, которая обладает определенными трансформационными свойствами к преобразованиям Лоренца и подчиняется определенным правилам симметрии*. Поле позволяет описывать взаимодействие между различными объектами. Например, электрическое поле описывает взаимодействие между электрическими зарядами и токами (смотри предыдущий раздел). Теория относительности сделала построение электродинамики более изящным, объединив понятия зарядов и токов, а следовательно, электрических и магнитных полей. Поскольку движение относительно, то любой заряд может восприниматься как ток, если рассматривается в системе координат, в которой он движется относительно наблюдателя, а значит, его электрическое поле может проявляться как магнитное и наоборот.

Поля, сопоставляемые с элементарными частицами, имеют *квантовую природу*, поэтому их называют **квантовыми полями**: *они объединяют в себе и частицы, и взаимодействие, представляя единый объект*. Энергия E_k и импульс \vec{p}_k кванта соответствующего поля связаны соотношением $E_k^2 = \vec{p}_k^2 c^2 + m^2 c^4$, а полная энергия и импульс поля слагаются из отдельных порций-квантов. *Каждый квант поля есть элементарная частица с заданной энергией и импульсом и общей для всех квантов массой m* . Квантами электромагнитного поля являются фотоны, кван-

ты других полей соответствуют всем остальным элементарным частицам. Математический аппарат, описывающий такие поля, называется *квантовой теорией поля*. Она позволяет описывать процессы *рождения* и *уничтожения* частиц-квантов в каждой пространственно-временной точке. Квантовая теория поля соединяет в себе квантовую механику и теорию относительности. В теории разработана так называемая процедура квантования, в результате которой возникают *частицы-кванты как характеристики возбуждения этого поля*.

С точки зрения квантовой теории поля всякое *взаимодействие сводится к обмену квантами соответствующего поля*, т.е. все взаимодействия носят чисто квантовый характер. Например, *электромагнитное взаимодействие между двумя электронами* есть не что иное, как *обмен фотонами* – каждый из электронов испускает фотоны, которые затем поглощаются другими электронами. Раздел физики, изучающий взаимодействие фотонов с электронами, называется *квантовой электродинамикой*.

С квантовой точки зрения гравитационное поле состоит из квантов – *гравитонов*, которые пока еще не наблюдались. Силы тяготения выступают как результат обмена между телами гравитонами, которые переносят энергию и импульс. Ядерные силы, удерживающие нуклоны в ядре, обусловлены обменом мезонами – квантами мезонного поля. Мезоны бывают разного типа. Чем ближе друг к другу расположены нуклоны, тем больше количество и масса мезонов, которыми они обмениваются. Взаимодействие нуклонов и свойства мезонов связаны друг с другом. Поэтому фундаментальное понимание природы невозможно без понимания всего спектра элементарных частиц.

Идея воспринимать *частицу как квантовые состояния некоторого поля* пронизывает всю современную физику. В этом смысле поле можно считать первичным понятием, а элементарные частицы возникают в результате его квантования. Квантовое поле принимает форму квантов-частиц. Оно преодолевает унаследованное от классической физики противопоставление между твердыми материальными частицами и окружающим их пространством. Квантовому полю приписывается самостоятельная физическая природа – оно заполняет все пространство. Частицы представляют собой точки сгущения этой среды – возникающие и исчезающие энергетические узлы. При таком подходе частицы утра-

чивают свою независимость и как бы "растворяются" в окружающем пространстве. Говорят, что квантовое поле – это фундаментальная сущность, которая может существовать в протяженной (континуальной) форме (в виде поля) и в непротяженной (дискретной) форме – в виде частиц.

Классическая механика исходила из представлений о твердых и неделимых частицах, движущихся в пустоте. Вещество и "пустое" пространство – наполненное и пустота – представляют собой два фундаментально различающихся понятия, на которых построен атомизм Демокрита и Ньютона. В общей теории относительности эти два понятия превращаются в одно. Массивное тело не может существовать, не создавая гравитационного поля, которое проявляет себя в искривлении окружающего это тело пространства. Но сказанное не означает, что поле наполняет пространство и тем самым искривляет его. Здесь одно не существует без другого: поле само по себе есть искривление пространства. В общей теории относительности гравитационное поле и структура или геометрия пространства воспринимается как одно и то же понятие. Поэтому вещество и пространство – связанные понятия, как взаимосвязанные части единого целого.

Квантовая физика кардинально пересмотрела эту картину и существенно изменила наши взгляды не только на частицы, но и на пустоту. Квантовая теория поля по-новому взглянула на свойства *пустоты*, или *вакуума*, показав, что это не пустота как таковая. В квантовом поле противопоставление между частицами и окружающим пространством теряет свою очевидность, а пустота превращается в *динамическую сущность*, имеющую огромное значение для всей физики. *Близкодействие с этой точки зрения рассматривается как особое, напряженное состояние вакуума*; здесь происходят непрерывные колебания электромагнитного и других полей, рождаются и исчезают элементарные частицы. Все частицы квантовая механика рассматривает как кванты того или иного поля и не признает возможности существования какого угодно участка пространства, где бы не было поля. В вакууме поля тоже присутствуют, только без реальных частиц. *Вакуум – это система полей, ни в одном из которых нет квантов* (реальных частиц). Поэтому вакуум не может быть пустым, он содержит бесчисленное множество беспорядочно возникающих и исчезающих частиц. При столкновениях нуклонов из пустоты может возникать

целый сноп различных частиц или, как говорят, вакуум полон частиц.

Согласно законам квантовой механики для всякого поля характерны колебания. Раз поле есть, то оно должно колебаться. Такие колебания называют *нулевыми*, потому что нет частиц. Для электромагнитного поля колебания испытывают его электрическая и магнитная компоненты, причем одновременно в нуль они превратиться не могут (из-за соотношения неопределенности). Но при этом средний квадрат напряженности равен нулю. Эти колебания приводят, в частности, к "дрожанию" электрона в атоме и ослаблению его связи с ядром. Таким образом, в пустоте существуют нулевые колебания электромагнитного, электрон-позитронного, пионного и других полей. Эти нулевые колебания проявляют себя в том, что в вакууме образуются и исчезают пары частица-античастица – электрон-позитрон, нуклон-антинуклон и др. Вакуум наполнен такими появляющимися и исчезающими частицами; срок их жизни 10^{-24} с и меньше, поэтому их и заметить нельзя (у них нет обычного соотношения между энергией, импульсом и массой). Поэтому, в отличие от обычных частиц, их называли *виртуальными* (от латинского "vires" – возможность). *При нулевых колебаниях виртуальные частицы рождаются и тут же исчезают*, но при столкновениях они могут превратиться в реальные частицы – именно так и происходит рождение новых частиц.

7.4.3. Кварковая природа материи и единство сил природы

Большое количество элементарных частиц постоянно подталкивает к поиску праматерии или прачастиц, из комбинации которых можно было бы объяснить все известные. Такие элементы, как теперь считают, найдены. Их называют **кварками** (с английского "quark" означает бредовый, немислимый). Одна из характерных особенностей кварков состоит в том, что они имеют *дробный электрический заряд* по отношению к заряду электрона. Впервые эта идея была предложена М. Гелл-Маном и Дж. Цвейгом. Идея с дробным зарядом, несмотря на то, что сначала представлялась дикой, оказалась удобной и позволила провести классификацию известных частиц и объяснить их свойства! Эта ситуация напоминает успешное объяснение всех свойств различных элементов таблицы Менделеева. В настоящее время *кварки считаются фундаментальными частицами*.

Многочисленные эксперименты привели физиков к заключению, что существует *шесть типов кварков*, или *шесть ароматов*. Их условные названия таковы: *верхний (up) – $u(2/3)$* , *нижний (down) – $d(-1/3)$* , *странный (strange) – $s(-1/3)$* , *очарованный (charm) – $c(2/3)$* , *истинный (top) – $t(2/3)$* , *красивый (beauty) – $b(-1/3)$* . В скобках (рядом с обозначением кварков) указана величина заряда по отношению к заряду электрона. Кварки также имеют полуцелый спин. Кроме того, они еще обладают "*цветовым*" зарядом, который описывается понятием "*цвет*". Цвет может принимать три значения: *красный, желтый и синий*. Например, нейтрон состоит из одного *u*-кварка и двух *d*-кварков (и обозначается как *udd*), протон – как *dii*, а пи-мезон и другие мезоны – из кварка и антикварка.

Но из адронов кварки не вылетают даже при самых сильных столкновениях. Оказалось, что *кварки не могут существовать в свободном состоянии* – одни сами по себе; они не могут жить друг без друга. Внутри адронов кварки удерживает поле, которое назвали *глюонным* (от английского "glue" – клей). Оно подобно электромагнитному полю, удерживающему электрон в атоме. У кварка помимо электрического заряда есть еще и *глюонный заряд*, создающий *глюонное поле*. Энергия глюонного поля изменяется порциями-квантами, *глюонами*. Но в отличие от фотонов *глюоны – сильно взаимодействующие объекты*, поэтому они никогда не бывают реальными, их, так же как и кварки, невозможно наблюдать поодиночке.

Цвета комбинируются таким образом, чтобы частицы были "*бесцветными*". Для этого нужно иметь *восемь глюонов* в соответствии с возможными переходами кварка из одного цветового состояния в другое. Электрическое поле кварка распределено вокруг него сферически симметрично. Глюонное поле, создаваемое кварком, сосредоточено в "*узкой трубке*". Между кварком и антикварком протягивается, как говорят, *струна глюонного поля*, при этом энергия взаимодействия между кварками растет пропорционально расстоянию между ними. Для того, чтобы раздвинуть кварки достаточно далеко, нужна огромная энергия. Невозможность раздвинуть кварки и удалить глюонное поле за пределы струны называют *конфайнментом* (от английского "confinement" – тюремное заключение, ограничение свободы). Ясного физического объяснения этого явления пока еще нет. Теория, описывающая динамику

и взаимодействие кварков и глюонов, называется *квантовой хромодинамикой*.

Дробность зарядов и трехцветность кварков подтвердились многочисленными экспериментами, только сами кварки наблюдать не удалось. Если кварки разлетаются, они тут же превращаются в адроны. Взаимодействие кварков не похоже на взаимодействие электронов. Рождаясь, кварк и антикварк разлетаются, но сила, с которой они взаимодействуют, не убывает с расстоянием, как в электродинамике, а увеличивается – в этом причина, как говорят, их вечной виртуальности: их кинетическая энергия превращается в потенциальную энергию притяжения, как у двух шаров, скрепленных пружиной. С ростом потенциальной энергии "пружина" рвется, и система превращается в два летящих в разные стороны снопа "белых" частиц.

На протяжении всей своей истории физика ищет единые причины для самых различных явлений, пытается объединить свои области (уравнения Максвелла, таблица элементов Менделеева, кварки и глюоны, объясняющие строение адронов, и т.п.). До недавнего времени казалось, что между четырьмя фундаментальными взаимодействиями нет никакой связи. Усилия физиков, направленные на их объединение, привели к первому успеху – *электромагнитное и слабое взаимодействия* удалось объединить в единое **электрослабое взаимодействие**, т.е. они оказались проявлением более общего единого взаимодействия. Эта идея сводится к тому, что электромагнитное поле представляет собой часть более общего электрослабого поля, состоящего из нескольких компонент. В результате список частиц, с помощью которых можно объяснить известные элементарные частицы, значительно сократился. Сегодня список таких "первоначал" состоит из *13 фундаментальных бозонов и 12 фундаментальных фермионов*.

Фундаментальные бозоны – это "*переносчики*" основных *взаимодействий* – кванты силовых полей, отвечающих основным фундаментальным взаимодействиям. К ним относят: *фотон*, обеспечивающий электромагнитное взаимодействие, *восемь глюонов* – сильные взаимодействия, *три промежуточных бозона* W^+ , W^- , Z_0 , описывающие слабое взаимодействие (первые два имеют электрические заряды, третий – электрически нейтрален), и гипотетический *гравитон* – квант гравитационного поля. Существование промежуточных бозонов предсказано теорией *Салама-*

Вайнберга-Глэшоу. Они экспериментально обнаружены в 1983 г. Отличительной особенностью промежуточных бозонов является наличие у них большой массы: у W – $160\,000\,m_e$, а у Z_0 – $180\,000\,m_e$.

Фундаментальные фермионы – это *лептоны* и *кварки*. Все процессы с участием лептонов и адронов представляют теперь как *кварк-лептонные процессы*.

Но на этом физики не остановились. Следующее объединение, еще не завершенное, назвали **великим объединением**. Оно должно дать *единое объяснение электромагнитным, слабым и сильным взаимодействиям*. Такая теория должна описать единым образом кварки, глюоны, электроны, нейтрино, фотоны и их взаимодействия, переводящие любую из этих частиц в другое возможное состояние.

Все рассмотренные особенности элементарных частиц обусловлены определенными симметриями, среди которых особое значение имеет **унитарная симметрия**. Исходная идея унитарной симметрии состоит в независимости уравнения для энергии сильного взаимодействия относительно некоторых преобразований, эквивалентных поворотам или вращениям в некотором абстрактном векторном пространстве – SU_3 -симметрия. Она позволяет объединить большое число похожих частиц, т.е. считать их как одну, но находящуюся в разных состояниях. Как, например, нуклон, объединивший протон и нейтрон. При этом подходе удастся объединить, казалось бы совершенно различные элементарные частицы. Например, выяснилось, что все различные мезоны можно считать разными состояниями всего одной частицы. Также показано, что все адроны связаны между собой законами симметрии.

Отметим, что унитарная симметрия – все же приближенная симметрия, поэтому она не может претендовать на роль всеобъемлющей теории. Тем не менее она позволяет объяснить многие свойства элементарных частиц с единых позиций. Как указывает А. Сонин, “...симметрия сейчас настолько прочно и органично вошла в физику элементарных частиц, что любые ее новые успехи практически не мыслимы без этой плодотворной идеи”. (Сонин, 1987.)

Теорию, которая призвана объединить электрослабое взаимодействие и великое объединение, называют **суперобъединением** (или иногда – теорией всего сущего). Она должна охватить все

четыре взаимодействия одновременно. Хотя пока еще рано говорить о ее результатах, но сегодня физики считают, что эту теорию можно создать на основе *теории струн*. Эта новая теория основана на введении протяженных микрообъектов, которые назвали *струнами*, они представляют собой пространственно одномерные отрезки с размером планковской длины 10^{-33} см. Она возникла в результате объединения квантовой теории с общей теорией относительности. Здесь струна заменяет частицу или, в общем случае, любой локализованный в пространстве микрообъект. В этой теории предполагается, что все элементарные частицы, которые известны сегодня или будут открыты в будущем, являются определенными возбужденными состояниями струны. Понятие струны исключает точечные представления микрообъектов из структуры микромира и сводит физику к геометрии сложных пространств. Тем самым пространство становится самым фундаментальным понятием в физике.

Теория суперструн связана с концепцией суперсимметрии, открытой в 1960-1970-х гг., которая связала между собой фермионы и бозоны. Преобразования суперсимметрии переводят их друг в друга, а также связывают физику с геометрией. Согласно этой теории фундаментальным объектом современной физики является квантованное суперструнное поле, возбуждением которого выступают суперструны, взаимодействующие между собой и с вакуумом. Струны, в свою очередь, порождают известные нам элементарные частицы. Кроме того, эта теория приводит к целому ряду очень даже нетривиальных следствий. Например, предсказывает существование частиц, движущихся со сверхсветовыми скоростями, которые называют тахионами. Более того, как следствие теории возникает представление о так называемом “теновом” мире, которое, вероятно, может стать объяснением открытого астрономами факта, что скопления галактик и галактики содержат большую массу невидимого “скрытого” вещества, в десятки раз превосходящую массу самих галактик. Но пока это все гипотетично и об этом серьезно говорить еще рано.

Итак, в познании строения вещества физика прошла *три этапа*. На *первом этапе* рассматривалось строение атомов и молекул, была исследована их электронная оболочка и т.д. На *втором этапе* исследовалось строение атомного ядра как объекта, состоящего из протонов и нейтронов. На *третьем этапе* изучается структу-

ра самих нуклонов или кварковая структура адронов. Если объект обладает внутренней структурой, он будет характеризоваться и внутренней динамикой, и внутренними движениями. Согласно квантовой механике энергия таких движений квантуется, образуя дискретный спектр. На разных уровнях познания эти спектры отличаются в основном масштабом энергии.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

адроны, барионы, бозоны, великое объединение, глюоны, изотопическая инвариантность, квантовый переход, кварк, микроробъект, лептоны, спин, стационарное состояние, суперобъединение, четность, фермионы.

Контрольные вопросы

1. Что изучает квантовая физика?
2. В чем сущность идеи дискретности?
3. Что означает понятие “квант”?
4. Раскройте сущность корпускулярно-волнового дуализма.
5. Что такое принцип дополнительности и какова его сущность? Какое значение он имеет в описании физической реальности микромира? Где он применяется?
6. Что такое волновая функция? Ее физический смысл.
7. В чем сущность принципа тождественности?
8. Что такое соотношение неопределенности и в чем его физический смысл? Ставит ли он предел нашему познанию?
9. Можно ли говорить о движении микроробъекта по определенным траекториям?
10. В чем состоит сущность понятия квантовой лестницы?
11. Какое содержание вкладывается в понятие “элементарная частица” в современной физике?
12. Приведите классификацию элементарных частиц.
13. Перечислите истинно элементарные частицы.
14. Дайте характеристику фундаментальным взаимодействиям.
15. В соответствии с квантовой теорией поля поле дискретно или непрерывно?
16. Какие частицы называют кварками, и существуют ли они в свободном состоянии?
17. Перечислите частицы, являющиеся переносчиками взаимодействий.

18. Какие этапы прошла физика в изучении строения материи?
19. В чем проявляется единство сил природы?

Литература: [21, 22, 24, 32, 33, 34, 39].

Дополнительная литература: [1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 36, 46, 61, 62].

8. ДИНАМИЧЕСКАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Космология. Расширяющаяся Вселенная. Горячая Вселенная. Антропный принцип и эволюция Вселенной.

8.1. Космология

Вселенная – это многозначное понятие, которое относится ко многим вмещающим человека системам. Самое широкое понимание *Вселенной* – это все существующее вокруг нас вместе с человеком, т.е. мир в целом. В этом смысле используется и термин “мироздание”. В более узком смысле термин “*Вселенная*” означает окружающую нас часть пространства материального мира, доступную наблюдению. Она включает в себя разнообразные типы объектов, различающиеся размерами и массой (от микро до мегамира). Другими словами, под Вселенной понимают наибольший возможный объем пространства вместе со всей материей и излучением, которые каким-то образом могут воздействовать на нас. Видимую часть Вселенной называют *Метагалактикой*. С нашей точки зрения существует только одна видимая вселенная. Но в принципе могут существовать и другие вселенные. В последние годы это утверждение начинает получать подтверждения, так как появились реальные способы увидеть и доказать, что некоторые явления, наблюдаемые в нашей Вселенной, свидетельствуют о существовании соседних вселенных (Вестник РАН. Т.71. №10.).

Наука, изучающая строение и эволюцию Вселенной, называется *космологией* – это учение о Вселенной. Термин “космология” пришел к нам из Древней Греции. Он происходит от слова “космос”, которое в переводе означает “порядок”. Древнегреческие ученые считали Землю неподвижным и центральным телом Вселенной, вокруг которого движутся все небесные светила. Им казалось, что движение небесных светил периодически повторяется из года в год, из века в век безо всяких изменений. Поэтому учение о Вселенной стали называть космологией. Вопросами происхождения и развития космических тел (звезд, планет и т.п.) занимается

космогония. **Космос**, или *мегамир*, современная наука рассматривает как взаимодействующую и развивающуюся систему всех небесных тел. Он имеет системную организацию: планеты и планетные системы, звезды и звездные системы – галактики, системы галактик – Метагалактика.

Космология – это один из разделов естествознания (астрономии). Она использует методы многих наук: физики, математики, философии. Предмет ее исследования – весь окружающий нас мегамир, вся Вселенная в целом, т.е. пространство и время в больших масштабах. В основе космологии лежит **вера** в то, что *законы физики универсальны и считаются действующими во всей Вселенной*. Как и любая область науки, она имеет свою историю. Космология развивается по мере накопления знаний о природе небесных тел и их систем. Постепенно выяснилось, что во *Вселенной нет ничего неподвижного, вечного, неизменного*. Известный астрофизик И. Новиков отмечает, что в настоящее время *эволюция Вселенной – безусловный научный факт*, всесторонне обоснованный и имеющий под собой теоретический базис всей физики. При изучении Вселенной предполагается, что, во-первых, законы природы во всей Вселенной одинаковы; во-вторых, предполагается, что Вселенная в больших масштабах распределена в пространстве и времени более или менее однородно; и, в-третьих, в космосе нет выделенных направлений, а Вселенная не имеет центра и краев, т.е. свойства пространства одинаковы во всех направлениях.

Выводы космологии имеют большое мировоззренческое значение. К основным достижениям космологии относят: установление факта *расширения Вселенной*; измерение расстояний до наиболее удаленных объектов; открытие *реликтового излучения*, доказывающего высокую температуру вещества в прошлом; установление ядерных реакций, происходивших в самом начале расширения Вселенной; понимание общих черт процесса образования галактик и их скоплений. Теоретической основой современной космологии является общая теория относительности. Изучая Вселенную как единое космическое целое, мы достигаем наивысшего уровня понимания пространства-времени.

В больших масштабах общая картина Вселенной представляется совокупностью отдельных *скоплений галактик*. Все галактики удерживаются в скоплениях силами тяготения. Размеры скоплений и количество галактик в них различны. Большие скопления

содержат тысячи галактик и имеют размеры несколько мегапарсек (1 парсек (пк) $=3,1 \cdot 10^{18}$ см, 1 мегапарсек (Мпк) $=10^6$ пак). Среднее расстояние между большими скоплениями около 30 Мпк, т.е. всего на порядок больше размеров скоплений.

Скопления галактик, в свою очередь, группируются в сверхскопления, которые отделены друг от друга гигантскими пустыми пространствами. Внутри сверхскоплений имеются как бы “пузыри” размерами в миллионы световых лет, не содержащие галактик. Сверхскопления складываются в нити и ленты, придавая Вселенной в самом грандиозном масштабе губчатую структуру.

В сравнительно небольшом масштабе звезды и галактики распределены в пространстве неравномерно. Но если проследить за удаленными галактиками, то они распределены во Вселенной примерно равномерно по всем направлениям. Поэтому считается, что в *большом масштабе Вселенная приблизительно однородна и изотропна*. Здесь речь идет о масштабах в сотни Мпк. Это означает, что если взять куб с линейным размером 300 Мпк, то, где бы его не помещали во Вселенной, в нем будет *примерно* одно и то же количество скоплений галактик (около 1000). Говорят, что *Вселенной присуща крупномасштабная однородность и изотропия*. Доказательством этому служит фоновое микроволновое электромагнитное излучение – *реликтовое излучение*, которое приходит к нам из очень удаленных областей, а его интенсивность практически не зависит от направления наблюдения.

Вселенная однородна и в том смысле, что структурные элементы далеких звезд галактик, физические законы, которым они подчиняются, а также физические константы (мировые постоянные), по-видимому, *одинаковы всюду*, т.е. одни и те же, что и в нашей области Вселенной. Представление об однородности Вселенной доказывает, что Земля не занимает во Вселенной сколько-нибудь привилегированного положения. Конечно, Земля, Солнце и Галактика кажутся нам, людям, исключительными и важными, но для Вселенной в целом они таковыми не являются.

Галактики – это гигантские звездные системы (скопления), содержащие от нескольких миллионов до многих сотен миллиардов звезд, связанных силами тяготения. Основное различие между галактиками и скоплениями галактик состоит в том, что расстояния между галактиками всего лишь в несколько раз больше размера самой галактики, тогда как в галактике расстояние между звездами во много раз превышают размеры самих звезд. Помимо

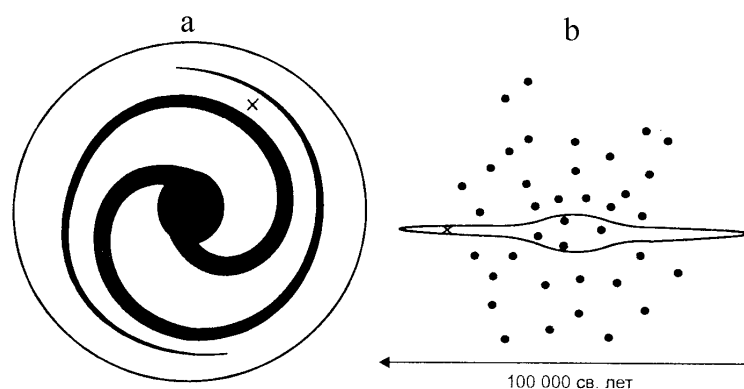


Рис. 8.1. Схема Галактики (крестиком обозначено положение Солнца): а) вид сверху; б) вид сбоку (черные точки изображают шаровые скопления)

звезд в состав галактик входят межзвездный газ и пыль, космические лучи. Галактики имеют различную форму: плоские диски, сферы, спирали и др. Все внутри галактик находится в постоянном движении. Масса галактики может достигать $10^{12} - 10^{13}$ масс Солнца. Кант называл галактики “островами Вселенной”.

Нашу галактику называют просто *Галактикой*. Она имеет средние размеры и состоит примерно из 150 – 200 млрд звезд, включая *Млечный путь* (древнее название полосы звезд на небе, отмечающих плоскость нашей Галактики), и представляет собой огромный диск, который состоит из звезд и звездных скоплений, вращающихся в пространстве, подобно гигантскому колесу. Звезды, входящие в Галактику, описывают вокруг ее центра окружности разного диаметра (рис. 8.1).

Во все времена люди хотели знать, откуда и каким образом произошел мир. Уже на заре цивилизации они задумывались над тем, имеет ли Вселенная начало во времени, настанет ли конец света, бесконечен или конечен мир в своем пространственном протяжении и т.п. В большинстве древних мифологических и религиозных систем предполагалось, что Вселенная сотворена неким божественным существом в какой-то определенный момент времени сравнительно недавнего прошлого. Необходимость “первоначального толчка”, ответственного за сотворение нашего мира, использовалась религией в качестве одного из аргументов в пользу существования Бога.

Платону и Аристотелю не нравилась мысль о прямом вмешательстве божества в мирские дела, и они предложили считать, что Вселенная существовала всегда и будет существовать вечно. В древнем мире верили, что Вселенная ограничена в пространстве.

В ранних космологических теориях мир представлялся плоской тарелкой, накрытой небом, как миской. Древние греки поняли, что мир круглый. Они создали сложную теорию, согласно которой Земля является сферой, окруженной целым рядом других сфер, несущих Солнце, Луну и планеты. На самой далекой сфере укреплены неподвижные звезды, которые вращаются на небе как единое целое, так что их положение сохраняется неизменным. Эта модель с центральным положением Земли была принята и христианской церковью. Она выглядела очень привлекательно, поскольку оставляла место за пределами звездной сферы и для рая, и для ада. Такая модель пользовалась признанием вплоть до XVI в., пока наблюдения Г. Галилея не доказали, что ее необходимо заменить на модель Коперника, в которой Земля и другие планеты обращаются вокруг Солнца. Модель Коперника избавилась не только от всех сфер, но и показала, что "неподвижные" звезды должны находиться на огромных расстояниях от нас, поскольку они практически не сдвигаются с мест на небе при годовом движении Земли вокруг Солнца. Все видимое движение звезд связано с вращением Земли вокруг собственной оси.

Со временем поняли, что *звезды* – это "плазменные шары", подобные нашему Солнцу, но находящиеся гораздо дальше. В звездах сосредоточена основная масса видимого вещества видимой части Вселенной. В настоящее время **общепризнано** то, что в галактиках и звездах свойственна эволюция. *Вселенная – это динамическая система*, заполненная эволюционирующими космическими объектами, где все постоянно меняется: звезды появляются, растут и "умирают"; создаются облака газа и пыли, образуются галактики, все находится в движении.

Но так было не всегда. Долгое время предполагалось, что звезды распределены практически равномерно в бесконечной Вселенной, хотя такое предположение приводило к некоторым трудностям в теории Ньютона, которые выглядели как парадоксы. Например, если согласно теории гравитации Ньютона каждая звезда притягивается всеми другими звездами во Вселенной, то почему они не соберутся вместе? Было показано, что бесконечное распределение звезд не может оставаться статическим: если все они притягиваются друг к другу, то должны сближаться – *гравитационный парадокс*. Другой парадокс состоит в том, что если в бесконечной Вселенной существует бесконечное множество звезд,

то небо было бы сплошь усеяно ими и имело бы такую яркость, что даже Солнце на этом фоне казалось бы черным пятном – *фотометрический парадокс*.

Тем не менее в классической ньютоновской космологии считалось, что пространство и время Вселенной абсолютны и бесконечны, однородны и изотропны, а Вселенная стационарна и существует сама по себе. Вера в такую статическую Вселенную была настолько сильной, что даже А. Эйнштейн, основываясь на общей теории относительности, построил космологическую модель Вселенной, в которой Вселенная *стационарна и время ее существования бесконечно*, т.е. не имеет ни начала, ни конца, пространство безгранично, но конечно. Для этого ему пришлось в уравнения теории ввести так называемый космологический член, который приводил к отталкиванию между телами, находящимися на большом расстоянии, чтобы избежать коллапсирования (схлопывания). В такой Вселенной ее можно облететь всю, двигаясь в одном и том же направлении, но так и не пересечь границу.

8.2. Расширяющаяся Вселенная

В начале 20-х годов XX в. А. Фридман, используя уравнения Эйнштейна, построил другую математическую модель, описывающую вещество и геометрию Вселенной в целом. Результат, полученный им, был совершенно неожиданным: оказалось, что согласно общей теории относительности Вселенная не может быть стационарной, она должна либо *сжиматься*, либо *расширяться* с течением времени. В этой модели Вселенная одинакова в каждой точке пространства и во всех направлениях, так как в ней были заложены предположения о крупномасштабной однородности и изотропности распределения вещества. Это было столь неожиданно, что А. Эйнштейн не сразу согласился с выводами Фридмана.

Существует три нестационарные модели Вселенной. В одной из них галактики удаляются друг от друга "достаточно медленно" (гравитационная энергия преобладает над кинетической энергией разлета), так что гравитационное притяжение между ними в конце концов должно остановить их разбегание и заставить галактики сближаться. Такая Вселенная будет расширяться до некоторого максимального размера, а затем начнет сжиматься – *модель пульсирующей Вселенной*. В этой модели Вселенная конечна, но безгранична; она не имеет начала (*замкнутая Вселенная с по-*

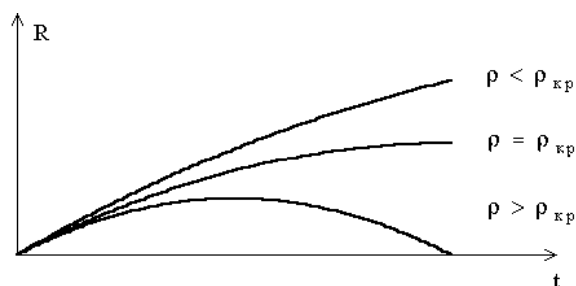


Рис. 8.2. Зависимости расстояния между двумя галактиками от времени для различных моделей Вселенной

ложительной кривизной пространства). Такую Вселенную, в принципе, можно облететь, двигаясь все время в одном и том же направлении (подобно земным кругосветным путешествиям). Она похожа на четырехмерную сферу с изменяющимся радиусом. Поэтому объем ее конечен, но в то же время она не имеет границ, т.е. безгранична, как не имеет их поверхность любой сферы.

Во второй модели галактики разбегаются настолько быстро, что гравитационные силы никогда не смогут остановить их, поскольку кинетическая энергия разлета превышает энергию притяжения. Такая *Вселенная будет вечно расширяться. Это модель бесконечной незамкнутой Вселенной с отрицательной кривизной пространства.*

В третьей модели скорость разбегания галактик равна некоторому минимальному значению (энергия гравитации уравновешивается кинетической энергией разлета), которое еще позволяет избежать сжатия Вселенной; ее расширение замедляется все сильнее и сильнее, хотя продолжается неограниченно долго. В этой модели Вселенная также *бесконечна, но ее пространство евклидово* (нулевая кривизна пространства).

Какая из рассмотренных моделей реализуется, зависит от соотношения между плотностью массы Вселенной ρ и *критическим значением плотности* $\rho_{кр} = 10^{-29}$ г/см³. Если $\rho > \rho_{кр}$, то реализуется первая модель замкнутой Вселенной; если $\rho < \rho_{кр}$ – то вторая, а при $\rho = \rho_{кр}$ – третья. На рис. 8.2 показаны зависимости расстояния между галактиками от времени для каждой из рассмотренных моделей.

Во всех этих моделях, как видно из рис. 8.2, время имеет край (границу), откуда началось расширение. Какая из моделей соответствует нашей действительности, зависит от *средней плотности массы Вселенной* ρ . Та масса во Вселенной, кото-

рая непосредственно доступна нашим наблюдениям, приводит к $\rho = 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3 \ll \rho_{\text{кр}}$, что соответствует второй модели. Однако имеются косвенные указания, что во Вселенной присутствует еще и масса, которую мы не видим – *скрытая масса*. Это черные дыры, остывшие звезды или еще не открытые элементарные частицы и т.п. На роль скрытой массы претендуют, например, нейтрино, который, как предсказывают современные теории, является самой распространенной частицей во Вселенной: на каждый протон приходится примерно один миллиард нейтрино. В настоящее время осуществлены опыты, которые указывают на то, что нейтрино имеет массу покоя, хотя до этого он считался безмассовой частицей, как и фотон. Если данные опытов подтвердятся, то средняя плотность Вселенной окажется больше критической и в далеком будущем ее расширение должно смениться сжатием и возвращением в сингулярное состояние. Таким образом, проблема скрытой массы во Вселенной является одной из самых актуальных проблем современной физики. С учетом скрытой массы, которую пока удалось оценить с достаточно большой вероятностью, в настоящее время принято считать, что $\rho = (0.1 - 1)\rho_{\text{кр}}$. Эти данные указывают на то, что наша Вселенная весьма близка к евклидову пространству с нулевой кривизной. Но этот вопрос все еще остается открытым.

В 1929 г. американский астроном-наблюдатель Э. Хаббл доказал, что *Вселенная расширяется*. Он обнаружил *красное смещение* спектральных линий в спектрах галактик, объяснил его эффектом Доплера, обусловленного разбеганием галактик, и определил скорости, с которыми они разбегаются. Он показал, что *скорость удаления галактик от наблюдателя прямо пропорциональна расстоянию между ними: $v = HR$* , где R – расстояние, H – постоянная Хаббла. Это утверждение верно для всех галактик, т.е. постоянная Хаббла в каждый момент времени одинакова во всей Вселенной, но, вообще говоря, она меняется со временем. В настоящее время она считается равной $75 \text{ км} \cdot \text{Мпк}^{-1}$. В какой бы галактике мы не находились, остальные будут от нас удаляться с большой скоростью, а скорость самых дальних из них может приблизиться к скорости света.

Итак, мы живем в *расширяющейся Вселенной*. Расширение проявляется на уровне галактик, и не существует центра, от которого галактики разбегаются. Будущее Вселенной зависит от ее

средней плотности. Чтобы понять, что представляет собой это расширение, рассмотрим простую аналогию на примере двумерного пространства, хотя следует не забывать, что она не полная. Представим воздушный шарик, на поверхность которого нанесено много точек. Шарик условно изображает Вселенную, его двумерная искривленная поверхность – двумерное пространство, а точки – галактики, содержащиеся во Вселенной. Когда мы надуваем шарик, расстояния между точками увеличиваются. Если теперь представить, что мы находимся на одной из них, все остальные точки будут удаляться от нас все дальше и дальше.

Расширение Вселенной очень похоже на приведенный пример: в какой бы галактике ни оказывался наблюдатель, все остальные будут удаляться от него. Применительно ко Вселенной три обычных измерения расширяются в четырехмерном пространстве-времени, где четвертое измерение – это время. С течением времени три пространственных измерения увеличивают свою протяженность. Скопления галактик, неразрывно "скрепленные" с расширяющимся пространством, все время удаляются друг от друга. Поэтому говорят, что разбегание галактик обусловлено расширением пространства с течением времени. Однако не надо думать, что вследствие расширения Вселенной расширяется все на свете. Галактики разбегаются, но сами они не расширяются; не расширяются и отдельные звезды. Гравитационно связанные тела – галактики, звезды, Земля – не подвержены космологическому расширению.

Если проследить за этим процессом в обратном направлении, то мы увидим, что в некоторый момент времени в прошлом все расстояния между объектами Вселенной обратятся в нуль (см. рис. 8.2). Этот момент и называют *началом расширения Вселенной*. Определить его можно, используя закон Хаббла. Перепишем его в виде $R/v = 1/H$. Если R – расстояние от наблюдателя до выбранной галактики, то R/v означает время τ , за которое галактика успела удалиться на расстояние R . Учитывая однородность и изотропность Вселенной, можно применить эту формулу для любой пары галактик, и, взяв постоянную Хаббла равной $75 \text{ км} \cdot \text{Мпк}^{-1}$, получаем $\tau = 1/H \simeq 13 \cdot 10^9$ лет. Конечно, эта цифра приближительна, так как сама постоянная Хаббла изменяется со временем. Поэтому, говоря о возрасте Вселенной, часто приводят цифру 10–20 млрд лет. Для сравнения: возраст шаровых звездных скоплений в Галактике оценивается 10–14 млрд лет, т.е. лишь немногим мень-

ше возраста Вселенной. Возраст Земли заведомо меньше времени, прошедшего от начала расширения – $5 \cdot 10^9$ лет.

Теория Фридмана также предсказывает, что 10-20 млрд лет назад, вблизи момента начала расширения, плотность вещества во Вселенной была гораздо больше, чем сегодня. Отдельные звезды и галактики не могли существовать как изолированные тела. Вся материя находилась в состоянии непрерывно распределенного однородного вещества. Лишь позже, в ходе расширения, оно распалось на отдельные "комки", что привело к образованию отдельных небесных тел.

Общая теория относительности приводит к тому, что в момент начала расширения Вселенная существовала *в бесконечно малом объеме и имела бесконечно большую плотность*, или, как говорят, существовала в виде *сингулярности*. При этом она была *очень горячей*. Вселенная начала *расширяться* (существовать) с момента, который называют **Большим взрывом**. Большой взрыв – уникальное явление, не имеющее аналогов в физике, не зря его еще называют особой точкой. По сути дела, это некое первичное событие, знаменующее начало нашей Вселенной. Оно относится к числу самых неожиданных результатов, когда-либо полученных наукой. Некоторые в этом усматривают триумф библейского варианта сотворения мира.

Мы не будем здесь обсуждать, как и почему произошел Большой взрыв, поскольку на этот вопрос еще нет однозначного ответа, но отметим, что Большой взрыв совсем не похож на известные нам обычные взрывы. Он качественно отличается от них, его объяснение требует привлечения необычных квантовых представлений, которые имеют место при больших плотностях вещества. Ученым удалось теоретически проследить (достаточно достоверно) за развитием Вселенной, начиная с малых долей первой секунды Большого взрыва. На меньших временах теория Фридмана "не работает", так как в сингулярности кривизна пространства-времени становится бесконечной, а сами понятия пространства и времени, как мы их представляем, теряют смысл. Здесь необходимо использовать квантовую теорию гравитации, которая пока не создана.

В 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вилсоном совершенно случайно было обнаружено слабое космическое микроволновое электромагнитное излучение, равномерно заполняющее всю Вселенную – *реликтовое излучение*, хотя теоретически оно было предсказано еще в

1953 г. Г. Гамовым. Это очень важное событие в истории космологии. Реликтовое излучение – это удивительное космическое явление, которое воспринимается как слабый фоновый радиосум, приходящий из космоса независимо от направления антенны. По современным данным температура космического излучения 2,73 К. Если измерять на одной и той же длине волны интенсивность реликтового излучения, приходящего к нам с разных направлений, то в пределах точности измерений она оказывается практически одинаковой. Это доказывает, что расширение Вселенной происходило и происходит изотропно. *Вселенная прозрачна для реликтового излучения*, которое приходит к нам с огромных расстояний. Расчеты показывают, что число фотонов реликтового излучения составляет 500 фот/см³, т.е. эти кванты во Вселенной распространены гораздо больше, чем обычное вещество (1 атом/м³).

Реликтовое излучение не возникло в каких-либо источниках, подобно свету звезд или радиоволнам, а существовало с самого начала расширения Вселенной. Оно возникло в том горячем веществе Вселенной, которое начало расширяться с момента Большого взрыва, и является наглядным следом событий, связанных с Большим взрывом. В нем содержится информация о свойствах Вселенной в точках, разнесенных очень далеко друг от друга в пространстве. *Существование реликтового излучения доказывает, что на ранних стадиях расширения Вселенная была горячей, а вещество и излучение находились в термодинамическом равновесии.*

8.3. Горячая Вселенная

В эволюции Вселенной от момента Большого взрыва до наших дней выделяют три периода: *первую секунду, первый миллион лет* и все *остальное время*. Время отсчитывают от момента, когда плотность материи была бесконечной.

Первый период называют "*очень-очень ранней Вселенной*", когда Вселенная была необычайно плотная и горячая. Моменту времени 0,01 с от Большого взрыва соответствовала температура 10¹¹ К; в конце первой секунды температура снизилась (за счет расширения) до 10¹⁰ К. Вся материя в конце первой секунды существовала в виде фотонов, электронов, позитронов, нейтрино, протонов, нейтронов и их античастиц; все это образовывало своеобразный "суп" плотностью, в миллиарды раз большей плотности

воды. На ранних стадиях этого периода основную долю массы физической материи составляло излучение, при этом вещество, представленное элементарными частицами, находилось в динамическом (тепловом) равновесии с ним. Частиц и античастиц было примерно поровну, и с равной вероятностью шли процессы рождения пар и аннигиляции. Но уже к концу первой секунды из-за остывания Вселенной начинают преобладать процессы аннигиляции, и доля излучения возрастает. Если бы с самого начала взрыва частиц и античастиц было поровну, то вследствие аннигиляции во Вселенной не осталось бы в конечном счете ничего, кроме фотонов и нейтрино. Однако, как показывают расчеты, на 10^8 частиц приходилось 99 999 999 античастиц. Поэтому во Вселенной, кроме фотонов и нейтрино, существует вещество, из которого построены галактики, звезды, планеты и т.п.

Следующий период – *эра плазмы* – охватывает, примерно, первый миллион лет. Здесь вещество представляло собой ионизированную плазму, непрозрачную для реликтового излучения. Наиболее важными считаются первые несколько минут, в течение которых шел процесс образования самых легких атомных ядер – дейтерия и гелия. К концу 5-й минуты вещество уже состояло примерно на 30 % из ядер атомов гелия и на 70 % из протонов. Через 5 мин температура упала настолько, что реакции ядерного синтеза временно прекратились, поэтому ядра остальных элементов возникнут значительно позднее. В конце этого периода температура Вселенной снизилась до 4000 К и возникли условия, благоприятные для образования атомов водорода; начался третий период. Детальное описание первых трех минут дано в книге С. Вайнберга "Первые три минуты" (М.: Энергоиздат, 1981).

Третий период называют *эрой "прозрачной Вселенной"*. В начале этого периода произошло разделение вещества и излучения. Плазма превратилась в нейтральное вещество. С этого времени подавляющее большинство реликтовых фотонов движется по прямой, уже не взаимодействуя с атомами. Поэтому когда мы наблюдаем реликтовое излучение, то как бы заглядываем в столь далекое прошлое Вселенной, когда в ней происходили процессы рекомбинации – захват электронов атомными ядрами. Вместо плазмы Вселенную теперь заполняло гигантское облако газа, состоящего из атомов водорода и гелия; плотность облака была в начале этого периода примерно 10^{-21} г/см³. После образования облаков

из атомов водорода и гелия во Вселенной начинают формироваться галактики и звезды. Под действием сил тяготения вещество собирается в сгустки, при сжатии этих сгустков температура повышается и приближается к 10^7 К. Снова становятся возможными термоядерные реакции. Благодаря энергии, выделяющейся в этих реакциях, сила давления в недрах звезд повышается настолько, что уравнивает силу тяжести. Дальнейшее сжатие прекращается, и устанавливается равновесие. В этом равновесном состоянии звезда может пребывать очень долго – пока весь водород в ходе термоядерной реакции не превратится в гелий. Для звезды типа нашего Солнца эта стадия может длиться около 10 млрд лет. В более массивных звездах температура выше, и они сгорают быстрее – за миллионы лет. За такой срок в недрах звезд проходят медленные ядерные реакции, которые не успели пройти за первые секунды в начале эволюции Вселенной. В этих реакциях образуются элементы более тяжелые, чем гелий.

Время жизни массивных звезд – десятки миллионов лет. Поэтому те из них, которые образовались в первый миллиард лет истории Вселенной, уже давно закончили свой путь, обогатив мир тяжелыми элементами. Солнце и планеты, включая Землю, сформировались значительно позже из вещества, оставшегося от массивных звезд первого поколения. Происходило это около 5 млрд лет тому назад, или примерно 15 млрд спустя после Большого взрыва. Можно сказать, что звездное небо, каким мы его видим, – это итог работы гравитационных сил в течение многих миллиардов лет.

Говорят, что Вселенная имеет *горизонт видимости*. Чем дальше от нас находится галактика, тем больше времени потребовалось свету, чтобы достичь наблюдателя. Свет, который сегодня достигает наблюдателя, покинул галактику в эпоху прозрачной Вселенной. Свет, вышедший в момент начала расширения мира, успел пройти лишь конечное расстояние во Вселенной – $(3-6) \cdot 10^9$ Мпк. Точки пространства Вселенной, лежащие от нас на этом расстоянии, называют *горизонтом видимости*. Области Вселенной, лежащие за горизонтом, сегодня принципиально ненаблюдаемы. Таким образом, мы видим ограниченную часть Вселенной с радиусом 10–20 млрд световых лет. Вблизи самого горизонта мы должны видеть вещество в далеком прошлом, когда его плотность была гораздо больше сегодняшней; отдельных объектов тогда еще не

было, а вещество было непрозрачно для излучения. Горизонт образовался в момент, когда Вселенная стала прозрачной.

Таким образом, общая теория относительности неизбежно приводит к выводу о существовании *сингулярного состояния Вселенной* в прошлом – состояния с бесконечной плотностью вещества. Она не объясняет, почему началось расширение, откуда в веществе, из которого потом образовались звезды и галактики, взялись начальные скорости расширения. По-видимому, это связано с тем, что эта теория классическая, а не квантовая. Поэтому фридмановская модель применима для описания развития Вселенной от долей секунды после начала расширения и в течение всего последующего времени. Физики надеются, что квантовая теория сможет описать и то, что называют сингулярностью. И здесь физика мегамира смыкается с физикой микромира, с физикой элементарных частиц.

Сингулярность, от которой начала расширяться Вселенная, называется *космологической сингулярностью* в отличие от сингулярности в черных дырах. Они во многом похожи, но имеются существенные различия. Во-первых, *космологическая сингулярность относится ко всей Вселенной*, а не к какой-то ее части, как в случае черных дыр. Во-вторых, космическая сингулярность лежит не в конце процесса сжатия, а в начале процесса расширения. Это очень существенно. Сингулярность в черных дырах мы извне увидеть не можем, она никак не влияет на события во Вселенной вне черной дыры. *Космологическая сингулярность явилась истоком всех процессов в расширяющейся Вселенной*. Все, что мы видим сегодня, есть следствие космологической сингулярности, поэтому мы можем изучать ее по наблюдаемым следствиям.

А что было до сингулярности? Было ли сжатие вещества, и текло ли время или нет? Окончательного ответа на эти вопросы нет. Большинство специалистов считают, что никакого сжатия не было и космологическая сингулярность является истоком времени в том смысле, как и сингулярность в черных дырах является концом "ручейков времени". Это означает, что в космологической сингулярности время тоже распадается на кванты и, возможно, сам вопрос: "Что было до того?" – теряет смысл. Но подчеркнем, что теории о природе сингулярности, в том числе и о свойствах времени в ней, в принципе, проверяются наблюдениями и физическими экспериментами. Таким образом, проблема истоков времени явля-

ется объектом физического и астрофизического исследования, а не пустыми домыслами и рассуждениями. Рассмотренную модель часто называют *стандартной моделью Вселенной*. Она не является единственной, но считается наиболее общепринятой. Здесь еще имеется много открытых вопросов.

8.4. Антропный принцип и эволюция Вселенной

В настоящее время ученые не сомневаются, что устройство Вселенной определяется свойствами составляющих ее микрочастиц. Но невозможно до конца понять сущность Вселенной, не поняв, какое место в ней занимает *жизнь*, включая в том числе и человека, как высшую форму ее проявления. Поскольку направленность развития считается данностью, которая изначально присуща материи, то появление разума во Вселенной, по-видимому, должно иметь какой-то смысл. Поэтому человек давно пытается найти ответы на такие вопросы, как, например: “Значит ли что-нибудь в этом огромном мире маленький человек?”, “Кто он – цель развития Вселенной, венец Творения или что-нибудь случайное, ничем, в принципе, не отличающееся от остальных объектов природы?”, “Является ли появление человека итогом развития Мироздания или это какой-то случайный поворот?”

Долгое время наука не располагала фактами для того, чтобы ответить на эти вопросы аргументированно. Сведения о мире, которыми она располагала, были фрагментарными, общая картина развития Вселенной не просматривалась. Теперь мы уже в состоянии говорить о научной картине мира, о целостном взгляде на Вселенную, хотя многого не знаем и еще не способны дать исчерпывающего ответа. Эти вопросы потому и называются *вечными*, что на них нельзя ответить раз и навсегда.

С другой стороны, математическая формулировка целого ряда законов природы включает в себя параметры, которые не определяются в теории, а принимаются как данность. Некоторые из них получили статус *мировых фундаментальных постоянных* из-за их фундаментального характера. К их числу относятся: заряд электрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), постоянная Планка ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с), скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ км/с), гравитационная постоянная ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг²), масса электрона ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ г) и протона ($m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г). Они получены экспериментальным путем и независимо. Некоторые их

безразмерные комбинации также имеют универсальное значение, хотя бы потому, что они определяют безразмерные константы четырех фундаментальных взаимодействий. Например, отношение $e^2/\hbar c = 1/137$, называемое *постоянной тонкой структуры*, характеризует "силу" электромагнитного взаимодействия (по отношению к ядерному), а $Gm_p^2/\hbar c = 10^{-39}$ характеризует "силу" гравитационного взаимодействия. Оказывается, существует только очень **узкая область изменения** этих величин, в которой возможно существование сложных структур вплоть до живых систем.

Гравитационная постоянная определяет размеры звезд, температуру и давление в них, влияющие на ход реакций. Если бы она была чуть меньше, звезды были бы недостаточно горячими для протекания в них ядерных реакций; если чуть больше, звезды превзошли бы "критическую массу" и обратились бы в черные дыры, выйдя из круговорота материи. В стандартной модели скорость расширения Вселенной и силы тяжести согласованы друг с другом с точностью $1 : 10^{55}$. Если бы расширение Вселенной происходило быстрее, то галактики и звезды не образовались бы – не создались условия для жизни. Если бы этот процесс протекал медленнее, то Вселенная пережила бы коллапс еще до образования хотя бы одной звезды.

Постоянная сильного взаимодействия определяет ядерный заряд в звездах. Если ее изменить, цепочки ядерных реакций не дойдут до углерода и азота. Если бы ядерные силы были всего на 0,3 % больше или на 2 % меньше, то никакой жизни бы не возникло.

Постоянная электромагнитного взаимодействия определяет конфигурацию электронных оболочек и прочность химических связей; ее изменение делает Вселенную мертвой.

Перечень подобных следствий можно продолжить. Итак, *существуют очень узкие "рамки" в выборе подходящих значений фундаментальных постоянных, допускающих существование знакомой нам Вселенной, включая и саму жизнь.*

Создается впечатление, что природа с очень высокой точностью "подогнала" большое число представляющихся нам независимыми параметров, а выход за пределы этих "рамок" закрывает возможность протекания в системе процессов нарастания сложности и упорядочения вещества. Либо надо признать случайность такого совпадения. Совокупность таких многочисленных "случайностей"

называют **тонкой подстройкой Вселенной**. Не менее удивительные совпадения встречаются и при рассмотрении процессов, связанных с возникновением и развитием жизни. Вероятность каждого подобного совпадения мала, а уж совместное их существование и вовсе невероятно.

По-видимому, все это говорит о том, что в самой структуре законов природы скрыт какой-то важный принцип. Его математическая формулировка пока неизвестна, известны лишь некоторые следствия этого принципа. В конечном счете все известные законы природы объединяет один всеобщий закон: человек должен появиться.

В связи с этим и был сформулирован методологический принцип, получивший название **антропного** или **антропоцентрического принципа**. Различают *слабый* и *сильный* варианты.

Слабый вариант: наше положение во Вселенной (как во времени, так и в пространстве) является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимым с нашим существованием в качестве наблюдателей (живых, мыслящих существ). Можно встретить и такую формулировку: *физическая Вселенная, которую мы наблюдаем, представляет собой структуру, допускающую наше присутствие как наблюдателей.* Этот принцип говорит о том, что при разработке теорий необходимо изначально учитывать наблюдателя (человека). Явления должны рассматриваться с учетом влияния на них человека. Применительно к космическим теориям это означает, что не надо создавать теорий, вообще не допускающих существование наблюдателей. В этом смысле антропный принцип играет как бы роль “фильтра” или ограничителя для возможных теорий. Однако согласно сегодняшним представлениям этот фильтр практически ничего не пропустит. Действительно, если рассмотреть совокупность всех мыслимых космосов с различными законами природы, различными мировыми постоянными и разнообразными граничными и начальными условиями, то часть тех, в которых могла возникнуть жизнь на основе углерода, будет очень мала. Рассмотренные выше примеры тонких согласованностей показывают, в каких узких границах значений констант вообще возможна жизнь.

Антропный принцип обращает внимание на то, что *возможность для жизни тесно связана с законами природы и общекосмическим развитием, и их развитие нельзя рассматривать и*

понимать независимо от последних. Согласно антропному принципу разум является естественным и закономерным космическим фактором, ускоряющим, с определенного этапа, развитие Вселенной. Это отражает единство сознания и материи, их цельность и неразрывность. Наиболее отчетливо это проявляется, когда от созерцания человек переходит к творению окружающего мира.

Сильный вариант антропного принципа: *законы физики, которые управляют Вселенной, должны быть такими, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование человечества (наблюдателей)*, т.е. наблюдатели могут появиться только при определенных значениях физических констант и при определенных физических законах. Поэтому можно сказать, что наша Вселенная такая, какая она есть, именно потому, что в ней существуем мы, или, как более тонко заметил известный астрофизик А. Зельманов: "... мы являемся свидетелями природных процессов определенного типа, потому что процессы иного типа протекают без свидетелей". (Цит. по кн.: Комаров В.Н. По следам бесконечности, 1974.)

В такой формулировке антропный принцип декларирует возникновение жизни как необходимое свойство Вселенной. Но сильный вариант антропного принципа не сводится к перечислению условий, несовместимых с жизнью, он только фиксирует необходимые условия для ее возникновения, как бы подчеркивая выделенность, особенность нашей Земли, исключительность положения человечества во Вселенной. Он отражает идею обусловленности появления жизни и наблюдателя глобальными свойствами Вселенной, которые критичны к численным значениям ряда фундаментальных физических постоянных – даже небольшое их изменение влечет далеко идущие следствия, которые делают проблематичным само существование человечества. Сама Вселенная и процессы, происходящие в ней, определяют значения этих констант и их соотношения.

С точки зрения антропного принципа наше пространство трехмерно, потому что в нем существуем мы. В пространстве другого числа измерений, если оно и существует, жизнь, подобная нашей, невозможна. Конечно, антропный принцип не объясняет, почему реальное пространство трехмерно, он лишь подчеркивает важность трехмерности для существования всего, что есть во Вселенной.

Проследим элементы тонкой подстройки в процессе эволюции Вселенной. По современным представлениям Вселенная ограничена во времени и в пространстве, т.е. возраст ее конечен (10–20 млрд лет), объем тоже. Количество частиц оценивается огромным, но конечным числом $N = 10^{80}$. Вселенная стартовала с сильно сжатого и горячего состояния, начальный радиус кривизны был близок к нулю. С тех пор Вселенная непрерывно расширяется, как надуваемый воздухом шарик, а "заполняющие" ее галактики удаляются друг от друга. Материя, пространство и время взаимосвязаны, они начались вместе.

В первые моменты температура была столь велика, что никаких устойчивых структур не могло образоваться. Даже элементарные частицы непрерывно превращались друг в друга. По мере расширения температура падала и стали образовываться стабильные частицы – электроны, протоны, нейтроны. Это первая структура, и с ее появлением связано первое *удивительное* обстоятельство. В первоначальном кипящем котле *частиц и античастиц было поровну*, а при остывании *симметрия нарушилась*, и *число частиц оказалось чуть больше, чем античастиц*. Поэтому аннигиляция вещества не оказалась полной, не вся материя превратилась в свет. Расчеты показывают, что в свет не превратилась одна миллиардная часть частиц. При дальнейшем остывании образуются атомы простейших элементов – водорода и гелия. Для их существования необходим стабильный протон. Известно, что массы протона и нейтрона несколько отличаются: примерно на две с половиной массы электрона. Более тяжелый нейтрон живет всего 16 мин, распадаясь затем на протон, электрон и электронное нейтрино. Внутри ядер идет и обратная реакция, поэтому нейтроны существуют в состоянии динамического равновесия. Если бы *нейтрон был чуть легче, то протон распадался бы на позитрон, нейтрон и электронное нейтрино, и водорода, который является главным топливом звезд, не было бы*.

Но образование простейших атомов – водорода и гелия – все же произошло. Они синтезировались, а для синтеза ядер более тяжелых элементов требуются уже специальные условия – для этого нужны простейшие стабильные ядра как исходный материал и высокие температуры, при которых эти ядра могут слиться. Причем эти температуры должны держаться миллиарды лет, так как термоядерные реакции идут медленно. Но за сотни тысяч лет

Вселенная уже оказалась в состоянии, напоминающем современное. Такие условия благоприятны для существования атомов, но не годятся для синтеза их ядер.

Таким образом, *условия устойчивости атомов и синтеза ядер несовместимы*. Чтобы процесс усложнения, т.е. формирование более сложных структур, пошел дальше, необходимо, чтобы Вселенная потеряла пространственную однородность. Это происходит за счет сил гравитации. В газе возникают сгущения – прообразы будущих галактик. Они, в свою очередь, дробятся на еще более мелкие сгущения — протозвезды. Гравитация должна “успеть” сформировать звезды, пока Вселенная не слишком расширилась. По мере уплотнения протозвезды температура в ней растет, пока начавшиеся термоядерные реакции, сопровождающиеся выделением энергии, не остановят сжатие.

Первые звезды состояли из *водорода* – так произошло потому, что протоны легче, чем нейтроны, их было больше и они не были все истрачены целиком на образование гелия. Гелиевые звезды были бы очень горячими и жили бы недостаточно долго, чтобы на их планетах могла возникнуть биологическая эволюция. В недрах звезд идут превращения – ядра легких элементов, сталкиваясь, слипаются в ядра более тяжелых. И здесь оказывается, что процесс усложнения обусловлен весьма *тонкой подстройкой ядерных и электромагнитных взаимодействий*. Без этой подстройки цепочка реакций, ведущая от гелия через углерод и кислород к железу и далее, могла бы оборваться на первых звеньях. Совсем незначительное увеличение взаимодействия привело бы к тому, что ядра водорода во Вселенной были бы истрачены уже в ходе Большого взрыва.

Когда звезда достаточно обогащается тяжелыми элементами, она взрывается с резким увеличением светимости (вспышка Сверхновой) и сбрасывает большую часть своей массы. Из этого “праха” формируются звезды нового поколения, еще более богатые тяжелыми элементами и т.д. Космологи установили, что наше Солнце принадлежит к четвертому поколению звезд. Средний срок жизни звезды около 3 млрд лет, но этого времени не хватает для биоэволюции (возраст Земли 5 млрд лет). Наше Солнце принадлежит к довольно редкому типу долгоживущих звезд.

Таблица Менделеева “появилась на свет” в том порядке, в каком стоят в ней элементы. Дальнейший процесс усложнения идет

через образование молекул, а неограниченный характер этого процесса обеспечивается наличием такого удивительного элемента, как *углерод*. На его основе могут возникать цепи молекул огромной длины. Углерод для этого идеально приспособлен. Он четырехвалентен, и углы между его валентными связями равны 90° ; атомы углерода, цепляясь друг за друга, как бы образуют "строчки", а на оставшиеся две валентности "салятся" другие атомы и молекулы – возникает нечто вроде "надписи". Образно можно сказать, что весь космический процесс до образования цепей углерода был как бы процессом формирования букв; далее буквы-атомы начинают объединяться в слова-молекулы.

Чем дальше идет процесс усложнения структур, тем жестче становятся условия их протекания. Ядра не распадаются до температур в миллиарды градусов, атомы не выдерживают даже нескольких тысяч, у молекул речь идет уже о сотнях градусов. Температура – это мера хаоса, а хаос, как известно, враг структуре. Но процесс организации не может обойтись без хаоса, поскольку ему нужна энергия, а именно тепло ее и дает. Этот процесс зажат между двумя полюсами – жары и холода: перегреться – значит развалиться, переохладиться – значит застыть. На уровне возникновения жизни это общее противоречие процесса усложнения становится настолько острым, что *для существования жизни на основе органических молекул остается очень узкий интервал температур*. Точно он не известен, но это всего лишь десяток-другой градусов. То, что этот интервал температур существует, не является чем-то само собой разумеющимся. Его существование обеспечивается **тонкой настройкой законов природы**.

Но одной принципиальной возможности еще мало, необходимо место, где эта возможность смогла бы превратиться в действительность. Где найти такое место, где бы на протяжении миллиардов лет поддерживалась температура $+20 \pm 15^0$ С, где была бы вода в свободном состоянии (ведь только в ней можно сварить этот "суп"), не было бы убийственной ультрафиолетовой радиации и т.п.? Здесь уже дело не в законах природы, а в конкретном совпадении. Условия на Земле как нельзя лучше подходят для жизни. Но малейшее ее перемещение относительно Солнца уже грозит жизни катастрофой. Если расстояние Земля – Солнце увеличить, то понижение температуры будет лавинообразным.

Напротив, незначительное приближение к Солнцу, небольшое первоначальное повышение температуры также может закончиться ее скачком; условия на Земле станут почти как на Венере. Уникальное положение Земли оставляет мало надежд на то, что где-либо в обозримой близости может найтись вторая такая планета.

Почему происходит усложнение материи? Это важнейший вопрос естествознания, на который окончательного и полного ответа нет. Как оно происходит, в какой-то мере начинает прояснять синергетика. Законы физики, содержащие фундаментальные постоянные, подтверждают наиболее вероятные пути зарождения жизни.

Основные понятия и термины, которые необходимо знать:

большой взрыв, галактика, Метагалактика, реликтовое излучение, сингулярность, скрытая масса, эффект Доплера.

Контрольные вопросы

1. Что такое космология и что она изучает?
2. Что означает расширение Вселенной?
3. Охарактеризуйте основные стадии расширяющейся Вселенной.
4. Какое излучение называют реликтовым? Что оно доказывает?
5. Имеет ли Вселенная начало?
6. Является ли Вселенная бесконечной?
7. Раскройте сущность антропного принципа, что он выражает?
8. Укажите различия слабого и сильного варианта антропного принципа?
9. Какие факты доказывают однородность Вселенной?
10. Что означает выражение "тонкая подстройка Вселенной"?
11. Перечислите мировые постоянные.

Литература: [21, 22, 24, 39, 65, 66].

Дополнительная литература: [1, 3, 6, 8, 9, 41, 43, 44, 45, 46].

9. СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Современная физическая картина мира. Смена естественно-научной традиции. Современный рационализм. Наука и искусство – два способа познания мира.

Самое удивительное свойство нашего мира – это то, что он познаваем.

А. Эйнштейн

Современная картина мира возникла в рамках естествознания, и поэтому называется **естественно-научной**. Она является результатом синтеза фундаментальных открытий и результатов исследования всех естественных наук в целом. Существующая картина мира оказывает воздействие на другие науки, в том числе и на социально-гуманитарные. Например, это воздействие выражается в распространении концепций, стандартов и критериев естествознания на другие науки. Хотя естественно-научная картина мира формируется из достижений и результатов познания наук о природе – естествознания, но картина мира в целом дополняется важнейшими концепциями и принципами общественных наук.

Современные представления о мире сложились практически целиком на основании достижений науки XX в. *Теория относительности* радикально изменила наше понимание пространственно-временных отношений, *квантовая механика* – причинно-следственных связей. Современная *космология* нарисовала удивительную историю эволюции Метагалактики, начавшуюся около 10 – 20 млрд лет тому назад, раскрыла единство и целостность космоса, проявляющиеся, прежде всего, во взаимосвязи фундаментальных физических взаимодействий. *Биология* выявила молекулярные основы процессов жизнедеятельности, проникла в тайны передачи наследственной информации, соединила идеи эволюции и генетики в новую синтетическую теорию, на основе которой удалось понять механизмы образования и изменения живых организмов. *Синергетика* продемонстрировала, что процессы самоорганизации могут происходить не только в мире живого, но и в неживой природе. *Математика, химия, информатика, языкознание, психология* и другие науки также внесли немалый вклад в современную научную картину мира. Имеются все основания для того, чтобы сказать, что не в одном прошлом столетии наше понимание мира не претерпело столь значительных изменений в

результате развития науки. Сейчас все осознают огромное значение науки не только для практической деятельности, но и для духовной жизни, для формирования современного мировоззрения.

Однако, несмотря на гигантские успехи распространения образования и развития науки, человечество не избавилось от мучительных проблем и их даже не стало меньше. Широкое применение науки и техники раскрыло не только их огромные созидательные возможности, но и продемонстрировало всем, что они могут быть использованы и против человека. *Неотъемлемой частью современной картины мира являются глобальные проблемы, выражающие глубинные противоречия современного этапа единого исторического процесса развития.* Это, несомненно, отражается и на мировоззрении современной эпохи. Ведь недаром высокая оценка науки причудливо сочетается с широким распространением суеверий и современных мифов, нередко облаченных в научные одежды. Как писал Ф. Тютчев, "чему бы жизнь нас не учила, но сердце верит в чудеса."

Рассматривая элементы теории относительности, квантовой физики, физики элементарных частиц, мы, по сути дела, знакомимся с *современной естественно-научной картиной мира*, т.е. той научной картиной природы, которая является итогом развития физического знания и естествознания в целом. *Естественно-научная картина мира рассматривает Вселенную как единое целое.* Наука рисует Вселенную как *однородную, самосогласованную и простую в больших масштабах.* Физика показала, что "инструкции" для самосогласованного однородного космоса заключены в ее *законах.* Свойства фундаментальных взаимодействий определили развитие ранней Вселенной и организацию ее единой структуры, отличающейся простотой в больших масштабах.

При смене картины мира пересматриваются основные вопросы мироздания, структура знаний и место науки в жизни общества. Оказалось, что **окружающий нас физический мир существовал не всегда** – это важнейшее научное открытие XX в. Вселенная возникла внезапно, в результате Большого взрыва – чудовищного катаклизма, когда температура и давление значительно превосходили их предельные значения, которые мы наблюдаем сегодня.

В настоящее время приходит осознание, что **мир является нелинейным.** Нелинейность присуща не только физическим про-

цессам. *Все глобальные процессы – экономические, социологические, демографические, экологические – описываются нелинейными законами.* В естествознании активно исследуются процессы самоорганизации материи. Показано, что новые структуры могут возникать в точках ветвления системы (точках бифуркации), когда становится существенным выбор решения и пути развития, а в промежутках между ними поведение системы описывается обычными причинно-следственными законами. Упорядоченные структуры возникают не только в термодинамике, но и в астрофизике, нелинейной оптике, химии, биологии, экологии, геологии и т.д. Все это свидетельствует в пользу единства естествознания.

9.1. Современная физическая картина мира

Новая картина мира только формируется, она еще должна обрести универсальный язык, адекватный Природе. И. Тамм говорил, что наша первейшая задача – научиться слушать природу, чтобы понять ее язык. Картина мира, рисуемая современным естествознанием, *необыкновенно сложна и одновременно проста.* Ее сложность состоит в том, что она может поставить в тупик человека, привыкшего мыслить классическими представлениями с их наглядной интерпретацией явлений и процессов, происходящих в природе. С такой точки зрения современные представления о мире выглядят в какой-то мере "безумными". Но, тем не менее, современное естествознание показывает, что *в природе реализуется все, что не запрещено ее законами,* каким бы безумным и невероятным это ни казалось. В то же время современная картина мира достаточна проста и стройна, поскольку для ее понимания требуется не так много принципов и гипотез. Эти качества ей придают такие ведущие принципы построения и организации современного научного знания, как *системность, глобальный эволюционизм, самоорганизация и историчность.*

Системность отражает воспроизведение наукой того факта, что *Вселенная предстает перед нами как самая крупная из известных нам систем,* состоящая из огромного множества подсистем различного уровня сложности и упорядоченности. Эффект системности состоит в появлении у системы новых свойств, которые возникают благодаря взаимодействию ее элементов между собой. Другое ее важнейшее свойство – *иерархичность и субординация,* т.е. последовательное включение систем нижних уровней в

системы более высоких уровней, что отражает их *принципиальное единство*, так как каждый элемент системы оказывается связанным со всеми другими элементами и подсистемами. Именно такой принципиально единый характер демонстрирует нам Природа. Подобным же образом организуется и современное естествознание. В настоящее время можно утверждать, что практически вся современная картина мира пронизана и преобразована физикой и химией. Более того, **она включает в себя наблюдателя, от присутствия которого зависит наблюдаемая картина мира.**

Глобальный эволюционизм означает признание того факта, что Вселенная имеет эволюционный характер – *Вселенная и все, что в ней существует, постоянно развивается и эволюционирует*, т.е. в основе всего сущего лежат *эволюционные, необратимые процессы*. Это свидетельствует о *принципиальном единстве мира*, каждая составная часть которого есть историческое следствие эволюционного процесса, начатого Большим взрывом. Идея глобального эволюционизма позволяет также изучать все процессы, протекающие в мире, с единой точки зрения как составляющие общего мирового процесса развития. Поэтому основным объектом изучения естествознания становится единая неделимая самоорганизующаяся Вселенная, развитие которой определяется универсальными и практически неменяющимися законами Природы.

Самоорганизация – это способность материи к самоусложнению и созданию все более упорядоченных структур в ходе эволюции. По-видимому, образование все более сложных структур самой различной природы происходит по единому механизму, который является *универсальным* для систем всех уровней.

Историчность заключается в признании *принципиальной незавершенности* настоящей научной картины мира. И действительно, развитие общества, изменение его ценностных ориентаций, осознание важности исследования уникальности всей совокупности природных систем, в которые составной частью включен и человек, будут непрерывно менять стратегию научного поиска и наше отношение к миру, потому что весь окружающий нас мир находится в состоянии постоянного и необратимого исторического развития.

Одной из главных особенностей современной картины мира является ее **абстрактный характер** и **отсутствие наглядности**, особенно на фундаментальном уровне. Последнее обусловлено

тем, что на этом уровне мы познаем мир не с помощью чувств, а используя разнообразные приборы и устройства. При этом мы уже принципиально не можем игнорировать те физические процессы, с помощью которых получаем сведения об изучаемых объектах. В результате оказалось, что *мы не можем говорить об объективной реальности, существующей независимо от нас, как таковой*. Нам доступна лишь **физическая реальность** как часть объективной реальности, которую мы познаем с помощью опыта и нашего сознания, т.е. факты и числа, получаемые с помощью приборов. При углублении и уточнении системы научных понятий мы вынуждены все дальше уходить от чувственных восприятий и от понятий, которые возникли на их основе.

Данные современного естествознания все больше подтверждают, что реальный мир бесконечно многообразен. Чем глубже мы проникаем в тайны строения Вселенной, тем более многообразные и тонкие связи обнаруживаем.

Коротко сформулируем те черты, которые составляют основу современной естественно-научной картины мира.

• **Пространство и время в современной картине мира**

Суммируем кратко, как и почему изменялись и развивались наши, казалось бы, очевидные и интуитивные представления о пространстве и времени с физической точки зрения.

Уже в античном мире были выработаны первые материалистические представления о пространстве и времени. В дальнейшем они прошли сложный путь развития, особенно в XX в. *Специальная теория относительности* установила неразрывную связь пространства и времени, а *общая теория относительности* показала зависимость этого единства от свойств материи. С открытием расширения Вселенной и предсказанием черных дыр пришло понимание, что во Вселенной имеются состояния материи, в которых свойства пространства и времени должны кардинально отличаться от привычных нам в земных условиях.

Время часто сравнивают с рекой. Извечная река времени течет сама по себе строго равномерно. "Время течет" – таково наше ощущение времени, и в этот поток вовлечены все события. Опыт человечества показал, что *поток времени неизменен*: его нельзя ни ускорить, ни замедлить, ни обратить назад. Он кажется *независимым от событий* и выступает как ни от чего не зависящая *длительность*. Так возникло представление об *абсолютном вре-*

мени, которое, наряду с абсолютным пространством, где происходит движение всех тел, составляет основу классической физики.

Ньютон считал, что *абсолютное, истинное, математическое время*, взятое само по себе без отношения к какому-нибудь телу, протекает единообразно и равномерно. Общую картину мира, нарисованную Ньютоном, коротко можно выразить так: в бесконечном и абсолютном неизменном пространстве с течением времени происходит движение миров. Оно может быть весьма сложным, процессы на небесных телах разнообразны, но это никак не влияет на пространство – “сцену”, где разворачивается в неизменном времени драма событий Вселенной. Поэтому ни у пространства, ни у времени не может быть границ, или, образно говоря, река времени не имеет истоков (начала). В противном случае это бы нарушало принцип неизменности времени и означало бы “создание” Вселенной. Отметим, что уже философам-материалистам Древней Греции тезис о бесконечности мира представлялся доказанным.

В ньютоновской картине не возникало вопроса ни о структуре времени и пространства, ни о их свойствах. Кроме длительности и протяженности, у них других свойств не было. В этой картине мира такие понятия, как “сейчас”, “раньше” и “позже”, были абсолютно очевидными и понятными. Ход земных часов не изменится, если перенести их на любое космическое тело, а события, случившиеся при одинаковом показании часов где бы то ни было, надо считать синхронными для всей Вселенной. Поэтому можно использовать одни часы, чтобы установить однозначную хронологию. Однако, как только часы отдаляются на все большие расстояния L , возникают трудности из-за того, что скорость света c хоть и велика, но конечна. Действительно, если наблюдать за отдаленными часами, например, в телескоп, то мы заметим, что они отстают на величину L/c . Это отражает тот факт, что “единого мирового потока времени” просто нет.

Специальная теория относительности обнаружила еще один парадокс. При изучении движения со скоростями, сравнимыми со скоростью света, выяснилось, что река времени не так проста, как думали раньше. Эта теория показала, что понятия “сейчас”, “позже” и “раньше” имеют простой смысл только для событий, которые происходят недалеко друг от друга. Когда сравниваемые события происходят далеко, то эти понятия однозначны только в том случае, если сигнал, идущий со скоростью света, успел дойти

от места одного события до места, где произошло другое. Если это не так, то соотношение “раньше”–“позже” неоднозначно и зависит от состояния движения наблюдателя. То, что было “раньше” для одного наблюдателя, может быть “позже” для другого. Такие события не могут влиять друг на друга, т.е. не могут быть причинно связанными. Это обусловлено тем, что скорость света в пустоте всегда постоянна. Она не зависит от движения наблюдателя и является предельно большой. Ничто в природе не может двигаться быстрее света. Еще более удивительным оказалось то, что *течение времени зависит от скорости движения тела*, т.е. секунда на движущихся часах становится “длиннее”, чем на неподвижных. *Время течет тем медленнее, чем быстрее по отношению к наблюдателю движется тело.* Этот факт надежно измерен и в опытах с элементарными частицами, и в прямых опытах с часами на летящем самолете. Таким образом, свойства времени только казались неизменными. *Релятивистская теория установила неразрывную связь времени с пространством.* Изменение временных свойств процессов всегда связаны с изменением пространственных свойств.

Дальнейшее развитие понятие времени получило в общей теории относительности, которая показала, что на *темп времени влияет поле тяготения*. Чем сильнее гравитация, тем медленнее течет время по сравнению с его течением вдали от тяготеющих тел, т.е. *время зависит от свойств движущейся материи*. Наблюдаемое извне время на планете течет тем медленнее, чем она массивнее и плотнее. Этот эффект имеет абсолютный характер. Таким образом, время является локально неоднородным и на его ход можно оказывать влияние. Правда, наблюдаемый эффект обычно мал.

Теперь уже река времени скорее представляется текущей не везде одинаково и величаво: быстро в сужениях, медленно на плесах, разбитой на множество рукавов и ручейков с разной скоростью течения в зависимости от условий.

Теория относительности подтвердила философскую идею, согласно которой время лишено самостоятельной физической реальности и вместе с пространством является лишь необходимым средством наблюдения и познания окружающего мира разумными существами. Таким образом, концепция абсолютного времени как единого потока, равномерно текущего независимо от наблю-

дателя, была разрушена. **Абсолютного времени как оторванной от материи сущности нет**, но есть абсолютная скорость любого изменения и даже абсолютный возраст мироздания, рассчитанный учеными. Скорость света сохраняет свое постоянство даже в неоднородном времени.

Дальнейшие изменения в представлениях о времени и пространстве произошли в связи с открытием черных дыр и теории расширения Вселенной. Оказалось, что в сингулярности пространство и время перестают существовать в обычном смысле этого слова. Сингулярность – это место, где разрушается классическая концепция пространства и времени, так же как и все известные законы физики. *В сингулярности свойства времени кардинально изменяются и приобретают квантовые черты.* Как образно написал один из известнейших физиков современности С. Хокинг: “...непрерывный поток времени состоит из ненаблюдаемого истинно дискретного процесса, подобно рассматриваемому издали непрерывному потоку песка в песочных часах, хотя этот поток состоит из дискретных песчинок – река времени дробится здесь на неделимые капли...” (Хокинг, 1990).

Но нельзя считать, что сингулярность – это граница времени, за которой существование материи происходит уже вне времени. Просто здесь пространственно-временные формы существования материи приобретают совсем необычный характер, а многие привычные понятия становятся порой бессмысленными. Однако при попытке представить себе, что это такое, мы попадаем в затруднительное положение из-за особенностей нашего мышления и языка. “Здесь перед нами вырастает психологический барьер, связанный с тем, что мы не знаем, как воспринимать понятия пространства и времени на этом этапе, когда они еще не существовали в нашем традиционном понимании. У меня при этом появляется такое ощущение, как будто я внезапно попал в густой туман, в котором предметы теряют свои привычные очертания” (Б. Ловелл).

О характере законов природы в сингулярности пока только догадываются. Это передний край современной науки, и многое здесь будет еще уточняться. Время и пространство приобретают в сингулярности совсем другие свойства. Они могут быть квантовыми, могут иметь сложное топологическое строение и т.д. Но в настоящее время понять это детально не представляется возможным не только потому, что очень сложно, но и потому, что специалисты

сами не очень хорошо знают, что все это может означать, тем самым подчеркивая, что *наглядные интуитивные представления о времени и пространстве как неизменной длительности всего сущего правильны лишь в определенных условиях*. При переходе к другим условиям должны быть существенно изменены и наши представления о них.

- **Поле и вещество, взаимодействие**

Сформировавшиеся в рамках электромагнитной картины понятия *поля и вещества* получили дальнейшее развитие в современной картине мира, где содержание этих понятий существенно углубилось и обогатилось. Вместо двух видов полей, как в электромагнитной картине мира, теперь рассматривается четыре, при этом электромагнитное и слабое взаимодействия удалось описать единой теорией электрослабых взаимодействий. Все четыре поля на корпускулярном языке интерпретируются как фундаментальные бозоны (всего 13 бозонов). Каждый предмет природы является сложным образованием, т.е. имеет структуру (состоит из каких-либо частей). Вещество состоит из молекул, молекулы – из атомов, атомы – из электронов и ядер. Атомные ядра состоят из протонов и нейтронов (нуклонов), которые, в свою очередь, состоят из кварков и антикварков. Последние сами по себе – в свободном состоянии, не существуют и не имеют никаких отдельных частей, как электроны и позитроны. Но по современным представлениям они *потенциально* могут содержать в себе целые замкнутые миры, имеющие собственную внутреннюю структуру. В конечном счете *вещество состоит из фундаментальных фермионов – шести лептонов и шести кварков* (не считая антилептонов и антикварков).

В современной картине мира основным материальным объектом является вездесущее **квантовое поле**, переход его из одного состояния в другое меняет число частиц. Здесь уже нет *непродолимой границы между веществом и полем*. На уровне элементарных частиц постоянно происходят *взаимопревращения поля и вещества*.

Согласно современным взглядам *взаимодействие любого вида имеет своего физического посредника*. Такое представление основано на том, что скорость передачи воздействия ограничена фундаментальным пределом – скоростью света. Поэтому притяжение или отталкивание передается через вакуум. Упрощенную

современную модель процесса взаимодействия можно представить следующим образом. Заряд-фермион создает вокруг частицы поле, порождающее присутствие ему частицы-бозоны. По своей природе это поле близко к тому состоянию, которое физики приписывают вакууму. Можно сказать, что заряд возмущает вакуум, и это возмущение с затуханием передается на определенное расстояние. Частицы поля являются *виртуальными* – они существуют очень короткое время и в эксперименте не наблюдаются. Две частицы, оказавшись в радиусе действия своих зарядов, начинают обмениваться виртуальными частицами: одна частица испускает бозон и тут же поглощает идентичный бозон, испущенный другой частицей, с которой она взаимодействует. Обмен бозонами создает эффект притяжения или отталкивания между взаимодействующими частицами. Таким образом, каждой частице, участвующей в одном из фундаментальных взаимодействий, соответствует своя бозонная частица, переносящая это взаимодействие. *Каждому фундаментальному взаимодействию присущи свои переносчики-бозоны.* Для гравитации – это гравитоны, для электромагнитных взаимодействий – фотоны, сильное взаимодействие обеспечивается глюонами, слабое – тремя тяжелыми бозонами. Эти четыре типа взаимодействий лежат в основе всех других известных форм движения материи. Более того, имеются основания считать, что все фундаментальные взаимодействия не независимы, а могут быть описаны в рамках единой теории, которую называют **суперобъединением**. Это еще одно доказательство единства и целостности природы.

- **Взаимопревращения частиц**

Взаимопревращаемость – характерная черта субатомных частиц. Электромагнитной картине мира была присуща стабильность; недаром в ее основе лежат стабильные частицы – электрон, позитрон и фотон. Но *стабильные элементарные частицы – это исключение, а правилом является нестабильность.* Почти все элементарные частицы *нестабильны* – они самопроизвольно (спонтанно) распадаются и превращаются в другие частицы. Взаимопревращения происходят и при столкновениях частиц. Для примера покажем возможные превращения при столкновении двух протонов при различных (возрастающих) уровнях энергии:

$$\begin{aligned}
p + p &\rightarrow p + n + \pi^+, \\
p + p &\rightarrow p + \Lambda^0 + K^+, \\
p + p &\rightarrow p + \Sigma^+ + K^0, \\
p + p &\rightarrow n + \Lambda^0 + K^+ + \pi^+, \\
p + p &\rightarrow p + \Theta^0 + K^0 + K^+, \\
p + p &\rightarrow p + p + p + \bar{p}.
\end{aligned}$$

Здесь \bar{p} – антипротон.

Подчеркнем, что при столкновениях в действительности происходит *не расщепление частиц, а рождение новых частиц*; они рождаются за счет *энергии* сталкивающихся частиц. При этом возможны *не любые превращения частиц*. Способы преобразования частиц при столкновениях подчиняются определенным законам, которые могут быть использованы для описания мира субатомных частиц. В мире элементарных частиц действует правило: **разрешено все, что не запрещают законы сохранения**. Последние играют роль *правил запрета*, регулирующих взаимопревращения частиц. Прежде всего, это законы *сохранения энергии, импульса и электрического заряда*. Эти три закона объясняют стабильность электрона. Из закона сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса продуктов распада меньше массы покоя распадающейся частицы. Существует много специфических ”зарядов”, сохранение которых также регулируют взаимопревращения частиц: барионный заряд, четность (пространственная, временная и зарядовая), странность, очарование и др. Некоторые из них не сохраняются при слабых взаимодействиях. *Законы сохранения связаны с симметрией*, которая, как считают многие физики, является *отражением гармонии фундаментальных законов природы*. Видимо, не зря еще философы древности рассматривали симметрию как воплощение красоты, гармонии и совершенства. Можно даже сказать, что *симметрия в единстве с асимметрией правят миром*.

Квантовая теория показала, что вещество постоянно находится *в движении*, не оставаясь в состоянии покоя ни на мгновение. Это говорит о фундаментальной подвижности материи, ее динамизме. Материя не может существовать без движения и становления. *Частицы субатомного мира* активны не потому, что они очень быстро движутся, но потому, что они – *процессы сами по себе*.

Поэтому говорят, что *вещество имеет динамическую природу*, а составные части атома, субатомные частицы, существуют не в виде самостоятельных единиц, а в виде неотъемлемых компонентов неразрывной сети взаимодействий. Эти взаимодействия питают бесконечный поток энергии, проявляющийся в обменах частицами, динамическом чередовании стадий созидания и разрушения, а также в беспрестанных изменениях энергетических структур. В результате взаимодействий образуются устойчивые единицы, из которых и состоят материальные тела. Эти единицы также ритмически колеблются. Все субатомные частицы имеют релятивистскую природу, и их свойства невозможно понять *вне их взаимодействий*. Все они неразрывно связаны с окружающим их пространством, и не могут рассматриваться в отрыве от него. С одной стороны, частицы оказывают влияние на пространство, с другой – они являются не самостоятельными частицами, а, скорее, сгустками поля, пронизывающими пространство. Изучение субатомных частиц и их взаимодействий открывает нашему взору не мир хаоса, а в высшей степени упорядоченный мир, несмотря на то, что в этом мире безраздельно властвует ритм, движение и непрестанное изменение.

Динамическая природа мироздания проявляется не только на уровне бесконечно малого, но и при изучении астрономических явлений. Мощные телескопы помогают ученым следить за непрерывным движением вещества в космосе. Вращающиеся облака газообразного водорода, сгущаясь, уплотняются и постепенно превращаются в звезды. При этом температура их сильно возрастает, они начинают светиться. Со временем водородное топливо выгорает, звезды увеличиваются в размерах, расширяются, затем сжимаются и заканчивают свою жизнь гравитационным коллапсом, при этом некоторые из них превращаются в черные дыры. Все эти процессы происходят в различных уголках расширяющейся Вселенной. Таким образом, *вся Вселенная вовлечена в бесконечный процесс движения* или, говоря словами восточных философов, в постоянный космический танец энергии.

- **Вероятность в современной картине мира**

Механическая и электромагнитные картины мира построены на динамических закономерностях. **Вероятность** там допускается лишь в связи с *неполнотой наших знаний*, подразумевая, что с ростом знаний и уточнением деталей вероятностные законы

уступят место динамическим. В современной картине мира ситуация принципиально иная – здесь *фундаментальными являются вероятностные закономерности*, несводимые к динамическим. Нельзя точно предсказать, какое превращение частиц произойдет, можно говорить только о вероятности того или иного превращения; нельзя предсказать момент распада частицы и т.д. Но это не означает, что атомные явления протекают совершенно произвольным образом. Поведение любой части целого обусловлено ее многочисленными связями с последним, а поскольку об этих связях мы, как правило, не знаем, нам приходится от классических понятий причинности перейти к представлениям о статистической причинности.

Законы атомной физики имеют природу статистических закономерностей, согласно которым вероятность атомных явлений определяется динамикой всей системы. Если в классической физике свойства и поведение целого определяются свойствами и поведением его отдельных частей, то в квантовой физике все обстоит совершенно иначе: *поведение частей целого определяется самим целым*. В современной картине мира *случайность* стала *принципиально важным атрибутом*; она выступает здесь в диалектической взаимосвязи с необходимостью, что и предопределяет фундаментальность вероятностных закономерностей. *Случайность и неопределенность лежат в основе природы вещей*, поэтому язык вероятности стал нормой при описании физических законов. Господство вероятности в современной картине мира подчеркивает ее диалектичность, а стохастичность и неопределенность являются важными атрибутами современного рационализма.

- **Физический вакуум**

Фундаментальные бозоны представляют возбуждения силовых полей. Когда все поля находятся в основном (невозбужденном) состоянии, то говорят, что это и есть *физический вакуум*. В прежних картинах мира вакуум рассматривался просто как *пустота*. В современной – это не пустота в обычном смысле, а *основное состояние физических полей*, вакуум "заполнен" *виртуальными частицами*. Понятие "виртуальная частица" тесно связано с соотношением неопределенностей для энергии и времени. Она принципиально отличается от обычной частицы, которую можно наблюдать в эксперименте.

Виртуальная частица существует столь малое время Δt , что определяемая соотношением неопределенностей энергия $\Delta E = \hbar/\Delta t$ оказывается достаточной для "рождения" массы, равной массе виртуальной частицы. Эти частицы появляются сами по себе и тут же исчезают, считается, что они не требуют затрат энергии. По замечанию одного из физиков, виртуальная частица ведет себя как кассир-мошенник, регулярно успевающий вернуть взятые из кассы деньги, прежде чем это заметят. В физике мы не так редко встречаемся с вполне реально существующим, но до случая себя не проявляющим. Например, атом в основном состоянии не испускает излучения. Значит, если на него не действовать, он останется ненаблюдаемым. Говорят, что виртуальные частицы ненаблюдаемы. Но они ненаблюдаемы до тех пор, пока на них определенным образом не подействовать. Когда же они сталкиваются с реальными частицами, имеющие соответствующую энергию, то происходит рождение реальных частиц, т.е. виртуальные частицы превращаются в реальные.

Физический вакуум представляет собой пространство, в котором рождаются и уничтожаются виртуальные частицы. В этом смысле физический вакуум обладает определенной энергией, соответствующей энергии основного состояния, которая постоянно перераспределяется между виртуальными частицами. Но воспользоваться энергией вакуума мы не можем, потому что это самое низкое энергетическое состояние полей, соответствующее самой минимальной энергии (меньше быть не может). При наличии внешнего источника энергии можно реализовать возбужденные состояния полей – тогда будут наблюдаться обычные частицы. С этой точки зрения обычный электрон теперь представляется как бы окруженным "облаком" или "шубой" виртуальных фотонов. Обычный фотон движется "в сопровождении" виртуальных электрон-позитронных пар. Рассеяние электрона на электроне можно рассматривать как обмен виртуальными фотонами. Точно так же каждый нуклон окружен облаками мезонов, которые существуют очень недолго.

При некоторых обстоятельствах виртуальные мезоны могут превратиться в реальные нуклоны. Виртуальные частицы спонтанно возникают из пустоты и снова в ней растворяются, даже если поблизости нет других частиц, которые могут участвовать в сильных взаимодействиях. Это также свидетельствует о неразрывном

единстве вещества и пустого пространства. Вакуум содержит бесчисленное множество беспорядочно возникающих и исчезающих частиц. Связь между виртуальными частицами и вакуумом имеет *динамическую природу*; образно говоря, вакуум есть "живая пустота" в полном смысле этого слова, в его пульсациях берут начало бесконечные ритмы рождений и разрушений.

Как показывают эксперименты, виртуальные частицы в вакууме вполне реально воздействуют на реальные объекты, например, на элементарные частицы. Физики знают, что отдельные виртуальные частицы вакуума невозможно обнаружить, но их суммарное воздействие на обычные частицы опыт замечает. Все это соответствует принципу наблюдаемости.

Многие физики считают открытие *динамической сущности вакуума* одним из важнейших достижений современной физики. Из пустогоместища всех физических явлений пустота превратилась в динамическую сущность огромной важности. Физический вакуум принимает непосредственное участие в формировании качественных и количественных свойств физических объектов. Такие свойства, как спин, масса, заряд, проявляются именно при взаимодействии с вакуумом. Поэтому любой *физический объект в настоящее время рассматривается как момент, элемент космической эволюции Вселенной, а вакуум считается мировым материальным фоном.* Современная физика демонстрирует, что на уровне микромира материальные тела не имеют собственной сущности, они являются неразрывно связанными со своим окружением: их свойства могут восприниматься только в терминах их воздействий с окружающим миром. Таким образом, *неразрывное единство мироздания проявляется не только в мире бесконечно малого, но и в мире сверхбольшого* – этот факт получает признание в современной физике и космологии.

В отличие от предыдущих картин мира, современная естественно-научная картина рассматривает мир на существенно более глубоком, более фундаментальном уровне. Атомистическая концепция присутствовала во всех прежних картинах мира, но только в XX в. удалось создать теорию атома, позволившую объяснить периодическую систему элементов, образование химической связи и т.д. Современная картина объяснила мир микроявлений, исследовала необычные свойства микрообъектов и радикальным образом воздействовала на наши представления, которые

вырабатывались веками, заставила кардинально пересмотреть их и решительно порвать с некоторыми традиционными взглядами и подходами.

Все прежние картины мира страдали метафизичностью; они исходили из четкого разграничения всех исследуемых сущностей, стабильности, статичности. Сначала преувеличивалась роль механических движений, все сводилось к законам механики, затем – к электромагнетизму. Современная картина мира порвала с такой ориентацией. В ее основе лежат *взаимопревращения, игра случая, многообразие явлений*. Основанная на вероятностных законах, современная картина мира диалектична; она значительно точнее, чем прежние картины, отражает диалектически противоречивую действительность.

Раньше вещество, поле и вакуум рассматривали отдельно. *В современной картине мира вещество, как и поле, состоит из элементарных частиц, которые взаимодействуют друг с другом, взаимопревращаются*. Вакуум "превратился" в одну из разновидностей *материи* и "состоит" из виртуальных частиц, взаимодействующих друг с другом и с обычными частицами. Таким образом, исчезает граница между веществом, полем и вакуумом. *На фундаментальном уровне все грани в природе действительно оказываются условными*.

В современной картине мира физика тесно объединяется с другими естественными науками – она фактически сливается с химией и выступает в тесном союзе с биологией; недаром эту картину мира называют естественно-научной. Для нее характерно стирание всех и всяческих граней. Здесь пространство и время выступают как единый пространственно-временной континуум, масса и энергия взаимосвязаны, волновое и корпускулярное движение объединяются и образуют единый объект, вещество и поле взаимопревращаются. Исчезают границы между традиционными разделами внутри самой физики, а, казалось бы, такие далекие дисциплины, как физика элементарных частиц и астрофизика, оказываются настолько связанными, что многие говорят о революции в космологии.

Мир, в котором мы живем, состоит из разномасштабных открытых систем, развитие которых подчиняется общим закономерностям. При этом он имеет свою историю, в общих чертах известную современной науке, начиная от Большого взрыва. Науке известны

20 млрд лет назад	Большой взрыв
3 минуты спустя	Образование вещественной основы Вселенной
Через несколько сотен лет	Появление атомов (легких элементов)
19-17 млрд лет назад	Образование разномасштабных структур (галактик)
15 млрд лет назад	Появление звезд первого поколения, образование тяжелых атомов
5 млрд лет назад	Рождение Солнца
4,6 млрд лет назад	Образование Земли
3,8 млрд лет назад	Зарождение жизни
450 млн лет назад	Появление растений
150 млн лет назад	Появление млекопитающих
2 млн лет назад	Начало антропогенеза

Таблица 9.1.

не только “даты”, но и во многом сами механизмы эволюции Вселенной от Большого взрыва до наших дней. Краткая хронология наиболее важных событий приведена в таблице 9.1 (взята из книги [3]). Здесь мы обратили внимание в первую очередь на данные физики и космологии, потому что именно эти фундаментальные науки формируют общие контуры научной картины мира.

9.2. Смена естественно-научной традиции

...Разум есть способность видеть связь общего с частным.

И. Кант

Достижения естествознания, и прежде всего физики, в свое время убедили человечество, что окружающий нас мир можно объяснить и предсказать его развитие, абстрагируясь от Бога и человека. Лапласовский детерминизм сделал человека сторонним наблюдателем, для него было создано отдельное – гуманитарное знание. В результате *все прежние картины мира создавались как бы извне*: исследователь изучал окружающий мир отстраненно, вне связи с собой, в полной уверенности, что можно исследовать явления, не нарушая их течения. Н. Моисеев пишет: “В науке прошлого с ее стремлением к прозрачным и ясным схемам, с ее глубокой убежденностью, что мир в своей основе достаточно прост, человек превратился в стороннего наблюдателя, изучающего мир “извне”. Возникло странное противоречие – человек все же существует, но существует как бы сам по себе. А космос, природа – тоже сами по себе. И объединились они, если это можно

назвать объединением, только на основе религиозных воззрений”. (Моисеев, 1988.)

В процессе создания современной картины мира эта традиция решительно ломается. Она сменяется принципиально иным подходом к изучению природы; теперь научная картина мира создается уже не “извне”, а “изнутри”, *сам исследователь становится неотъемлемой частью создаваемой им картины*. Об этом хорошо сказал В. Гейзенберг: “В поле зрения современной науки прежде всего – сеть взаимоотношений человека с природой, те связи, в силу которых мы, телесные существа, представляем собой часть природы, зависящую от других ее частей, и в силу которых сама природа оказывается предметом нашей мысли и действия только вместе с человеком. Наука уже не занимает позиции только наблюдателя природы, она осознает себя как частный вид взаимодействия человека с природой. Научный метод, сводившийся к изоляции, аналитическому объединению и упорядочению, натолкнулся на свои границы. Оказалось, что его действие изменяет и преобразует предмет познания, вследствие чего сам метод уже не может быть отстранен от предмета. В результате, естественно-научная картина мира, по-существу, перестает быть только естественно-научной.” (Гейзенберг, 1987.)

Таким образом, **познание природы предполагает присутствие человека**, и надо ясно осознавать, что мы, как выразился Н. Бор, не только зрители спектакля, но одновременно и действующие лица драмы. Необходимость отказа от существующей естественно-научной традиции, когда человек отстранился от природы и мысленно бесконечно детально готов был ее препарировать, хорошо осознавал уже 200 лет назад Гете:

Во всем подслушать жизнь стремясь,
Спешат явленья обездушить,
Забыв, что если в них нарушить
Одушевляющую связь,
То больше нечего и слушать. (“Фауст”.)

Особенно ярко новый подход к исследованию природы продемонстрировал В. Вернадский, создавший учение о **ноосфере – сфере Разума** – биосфере, развитие которой целенаправленно управляется человеком. В. Вернадский рассматривал человека как важнейшее звено в эволюции природы, который не только подвергается влиянию природных процессов, но и, будучи носителем

разума, способен *целенаправленно воздействовать* на эти процессы. Как отмечает Н. Моисеев, "учение о ноосфере оказалось как раз тем звеном, которое позволило связать картину, рожденную современной физикой, с общей панорамой развития жизни – не только биологической эволюции, но и общественного прогресса... Очень многое нам еще не ясно и скрыто от нашего взора. Тем не менее сейчас перед нами разворачивается грандиозная гипотетическая картина процесса самоорганизации материи от Большого взрыва до современного этапа, когда материя познает себя, когда ей становится присущ разум, способный обеспечить ее целенаправленное развитие". (Моисеев, 1988.)

9.3. Современный рационализм

В XX в. физика возвысилась до уровня науки об основах бытия и его становления в живой и неживой природе. Но это не означает, что все формы существования материи сводятся к физическим основаниям, речь идет о принципах и подходах к моделированию и освоению целостного мира человеком, который и сам является его частью, и осознает себя таковым. Мы уже отмечали, что *в основе всякого научного знания лежит рациональное мышление*. Развитие естествознания привело к новому пониманию *научной рациональности*. Согласно Н. Моисееву, различают: **классический рационализм**, т.е. классическое мышление, – когда человек "задает" вопросы Природе, а Природа отвечает, как она устроена; **неклассический (квантово-физический)** или *современный рационализм* – человек задает Природе вопросы, но ответы уже зависят не только от того, как она устроена, но и от способа постановки этих вопросов (относительность к средствам наблюдения). Пробивает дорогу третий тип рациональности – **постнеклассическое или эволюционно-синергетическое мышление**, когда ответы зависят и от того, как был задан вопрос, и от того, как устроена Природа, и какова ее предыстория. Сама же постановка вопроса человеком зависит от уровня его развития, его культурных ценностей, которые, по сути, определяются всей историей цивилизации.

- **Классический рационализм**

Рационализм есть система взглядов и суждений об окружающем мире, которая основывается на выводах и логических

заключениях разума. При этом не исключается влияние эмоций, интуитивных прозрений и т.п. Но всегда можно отличить рациональный образ мышления, рациональные суждения от иррациональных. Истоки рационализма как образа мышления лежат в глубокой древности. Весь строй античного мышления был рационалистичен. Рождение современного научного метода связывают с революцией Коперника–Галилея–Ньютона. В этот период подверглись коренному слому взгляды, утвердившиеся со времен античности, сформировалось понятие современной науки. Именно отсюда родился научный метод формирования утверждений о природе взаимосвязей в окружающем мире, который опирается *на цепочки логических заключений и эмпирический материал*. В результате сформировался образ мышления, который теперь называют *классическим рационализмом*. В его рамках утвердился не только научный метод, но и целостное миропонимание – некая целостная картина мироздания и процессов, которые в нем происходят. В ее основе лежало представление о Вселенной, возникшее после революции Коперника–Галилея–Ньютона. После сложной схемы Птолемея Вселенная предстала в своей удивительной простоте, законы Ньютона оказались простыми и понятными. Новые воззрения объяснили, почему все происходит так, а не иначе. Но со временем эта картина усложнилась.

В XIX в. мир уже предстал перед людьми как некий сложный механизм, который однажды был когда-то и кем-то запущен и который действует по вполне определенным, раз и навсегда начертанным и познаваемым законам. В результате возникла **вера в неограниченность знаний**, которая была основана на успехах науки. Но в этой картине самому человеку места не оказалось. В ней он был лишь только **наблюдатель**, не способный влиять на всегда определенный ход событий, но способный регистрировать происходящие события, устанавливать связи между явлениями, другими словами, познавать законы, управляющие этим механизмом и, таким образом, предугадывать возникновение тех или иных событий, оставаясь посторонним наблюдателем всего, что происходит во Вселенной. Таким образом, *человек эпохи Просвещения – всего лишь посторонний наблюдатель* того, что происходит во Вселенной. Для сравнения вспомним, что в античной Греции человек приравнивался к богам, он был в силах вмешиваться в происходящие вокруг него события.

Но человек – не просто наблюдатель, *он способен познавать Истину* и ставить ее на службу самому себе, предсказывая ход событий. Именно в рамках рационализма возникло представление об **Абсолютной истине**, т.е. о том, что *есть на самом деле* – что от человека не зависит. Убежденность в существовании *Абсолютной истины* позволила Ф. Бэкону сформулировать знаменитый тезис о покорении Природы: *знания человеку нужны для того, чтобы ставить себе на службу силы Природы*. Изменять законы Природы человек не в состоянии, но заставить их служить человечеству он может. Таким образом, у науки появилась цель – умножать силы человеческие. Природа теперь представляется неисчерпаемым резервуаром, предназначенным для того, чтобы удовлетворять его безгранично растущие потребности. **Наука становится средством покорения Природы**, источником человеческой активности. Такая парадигма в конечном счете и привела человека на край пропасти.

Классический рационализм установил возможности познания законов Природы и их использования для утверждения могущества человека. Одновременно появились представления о *запретах*. Оказалось, что существуют и различные ограничения, непреодолимые **принципиально**. Такими ограничениями является, прежде всего, *закон сохранения энергии*, который носит *абсолютный характер*. Энергия может переходить из одной формы в другую, но не может возникать из ничего и не может исчезать. Отсюда вытекает невозможность создания вечного двигателя – это не технические трудности, а **запрет Природы**. Другой пример – *второй закон термодинамики* (закон о неубывании энтропии). **В рамках классического рационализма человек осознает не только свое могущество, но и собственную ограниченность**. Классический рационализм – детище европейской цивилизации, его корни уходят в античный мир. Это величайший прорыв человечества, открывший горизонты современной науки. **Рационализм – есть некий образ мышления**, чье влияние испытали на себе и философия, и религия.

В рамках рационализма сложился один из важнейших подходов к изучению сложных явлений и систем – **редукционизм**, суть которого состоит в том, что, *зная свойства отдельных элементов, составляющих систему, и особенности их взаимодействия, можно предсказать свойства всей системы*. Другими

словами, свойства системы выводятся из свойств элементов и структуры взаимодействия и являются их следствием. Таким образом, изучение свойств системы сводят к изучению взаимодействия отдельных ее элементов. Это и составляет основу редукционизма. При таком подходе решено множество важнейших проблем естествознания, он часто дает хорошие результаты. Когда говорят слово “редукционизм”, то имеют в виду также и попытки заменить исследование сложного реального явления некоторой сильно упрощенной моделью, его наглядной интерпретацией. Построение такой модели – достаточно простой для изучения ее свойств и одновременно отражающей определенные и важные свойства для исследования реальности, всегда является искусством, и каких-либо общих рецептов наука предложить не может. Идеи редукционизма оказались весьма плодотворными не только в механике и физике, но и в химии, биологии и других областях естествознания. Классический рационализм и идеи редукционизма, сводящие изучение сложных систем к анализу отдельных их составляющих и структуры их взаимодействий, представляют важный этап в истории не только науки, но и всей цивилизации. Именно им в первую очередь обязано современное естествознание своими основными успехами. Они были необходимым и неизбежным этапом развития естествознания и истории мысли, но, будучи плодотворными в определенных сферах, эти идеи оказались не универсальными.

Несмотря на успехи рационализма и связанное с ним бурное развитие естественных наук, рационализм как образ мышления и основа миропонимания не превратился в некую универсальную веру. Дело в том, что в любом научном анализе присутствуют *элементы чувственного начала, интуиции* исследователя и далеко не всегда чувственное переводится в логическое, так как при этом теряется часть информации. Наблюдение за природой и успехи естествознания постоянно стимулировали рационалистическое мышление, которое, в свою очередь, способствовало развитию естествознания. Сама реальность (т.е. воспринимаемый человеком окружающий мир) порождала рациональные схемы. Они рождали методы и формировали методологию, которая и становилась инструментом, позволявшим рисовать картину мира.

Разделение духа и материи – наиболее слабое место в концепции классического рационализма. Кроме этого, он привел к тому, что в сознании ученых глубоко укоренилась убежденность в том,

что окружающий мир *прост*: он прост потому, что такова реальность, а любая сложность от нашего неумения связать наблюдаемое в простую схему. Именно эта простота позволяла строить рациональные схемы, получать практически важные следствия, объяснять происходящее, строить машины, облегчать жизнь людей и т.д. В основе простоты реальности, которую изучало естествознание, лежали такие, казалось, "очевидности", как представления об универсальности времени и пространства (время всюду и всегда течет одинаково, пространство однородно) и т.п. Не всегда эти представления могли быть объяснены, но они всегда казались простыми и понятными, как говорят, само собой разумеющимися и не нуждающимися в обсуждении. Ученые были убеждены, что это есть аксиомы, раз и навсегда определенные, потому что в реальности происходит так, а не иначе. Классическому рационализму была присуща *парадигма абсолютного знания*, которое утверждалось всей эпохой Просвещения.

- **Современный рационализм**

В ХХ в. от этой простоты, от того, что казалось *само собой разумеющимся и понятным*, пришлось отказаться и принять, что мир устроен гораздо сложнее, что все может быть совсем иначе, чем привыкли думать ученые, опираясь на реальность окружающего, что классические представления – всего лишь **частные случаи** того, что *может быть на самом деле*.

Существенный вклад в это внесли и русские ученые. Основатель русской школы физиологии и психиатрии И. Сеченов постоянно подчеркивал, что человека можно познать только в единстве его плоти, души и Природы, которая его окружает. Постепенно в сознании научного сообщества утверждалось *представление о единстве окружающего мира, о включенности человека в Природу, о том, что человек и Природа представляют собой нерасторжимое единство. Человека нельзя мыслить только наблюдателем – он сам действующий субъект системы*. Такое мировосприятие русской философской мысли называют *русским космизмом*.

Одним из первых, кто способствовал разрушению *естественной простоты* окружающего мира, был Н. Лобачевский. Он открыл, что кроме геометрии Евклида могут существовать и другие непротиворечивые и логически стройные геометрии – неевклидовы геометрии. Это открытие означало, что ответ на вопрос, какова

геометрия реального мира, вовсе не прост, и что она может быть отличной от евклидовой. На этот вопрос должна ответить экспериментальная физика.

В конце XIX в. было разрушено еще одно из основополагающих представлений классического рационализма – закон сложения скоростей. Также было показано, что скорость света не зависит от того, направлен световой сигнал вдоль скорости движения Земли или против (эксперименты Майкельсона–Морли). Чтобы это как-то интерпретировать, пришлось признать как аксиому существование *предельной скорости распространения любого сигнала*. В начале XX в. рухнул еще целый ряд опор классического рационализма, среди которых особое значение имело изменение представления об одновременности. Все это привело к окончательному крушению обыденности и *очевидности*.

Но это не означает крушение рационализма. Рационализм перешел в новую форму, которую называют теперь **неклассическим** или **современным рационализмом**. Он разрушил кажущуюся простоту окружающего мира, привел к крушению обыденности и очевидности. В результате прекрасная в своей простоте и логичности картина мира *теряет свою логичность* и, главное, – **наглядность**. Очевидное перестает быть не только просто понятным, а иногда и просто *неверным*: очевидное становится невероятным. Научные революции XX в. привели к тому, что человек уже готов к встрече с новыми сложностями, новыми невероятностями, еще более не соответствующими реальности и противоречащими обычному здравому смыслу. Но рационализм остается рационализмом, так как в основе картин мира, создаваемых человеком, остаются схемы, созданные его разумом на основе эмпирических данных. Они остаются рациональной или логически строгой интерпретацией опытных данных. Только современный рационализм приобретает более раскрепощенный характер. Запретов на то, *что этого не может быть*, становится меньше. Но зато исследователю чаще приходится задумываться над смыслом тех понятий, которые до сих пор казались очевидными.

Новое понимание места человека в Природе начало формироваться с 20-х годов XX в. с появлением квантовой механики. Она наглядно продемонстрировала то, что Э. Кант и И. Сеченов давно подозревали, а именно *принципиальную неразделимость объекта исследования и изучающего этот объект субъекта*. Она

объяснила и показала на конкретных примерах, что опора на гипотезу о возможности разделения субъекта и объекта, которая казалась очевидной, никаких знаний не несет. Оказалось, что мы, люди, тоже являемся не просто *зрителями*, но и *участниками мирового эволюционного процесса*.

Научное мышление очень консервативно, и утверждение новых взглядов, формирование нового отношения к научным знаниям, представлениям об истине и новой картине мира проходили в научном мире медленно и непросто. Однако при этом старое полностью не отбрасывается, не перечеркивается, ценности классического рационализма и сейчас сохраняют свое значение для человечества. Поэтому современный рационализм – это новый синтез обретенных знаний или новых эмпирических обобщений, это попытка расширить традиционное понимание и включить схемы классического рационализма в качестве удобных интерпретаций, годных и полезных, но только в определенных и весьма ограниченных рамках (годных для решения почти всей повседневной практики). Тем не менее это расширение **абсолютно фундаментально**. Оно заставляет видеть мир и человека в нем в совершенно ином свете. К нему надо привыкнуть, и это требует немалых усилий.

Таким образом, первоначальная система взглядов на устройство окружающего мира постепенно усложнялась, исчезало первоначальное представление о простоте картины мира, его структуре, геометрии, представлениях, которые возникли в эпоху Просвещения. Но происходило не только усложнение: многое из того, что раньше представлялось очевидным и обыденным, оказалось на самом деле просто неверным. Осознать это было наиболее трудным. Исчезло разграничение между материей и энергией, между материей и пространством. Они оказались связанными с характером движения.

Не надо забывать, что *все отдельные представления – это части единого неразрывного целого, а наши определения их являются крайне условными*. А отделение человека-наблюдателя от объекта исследования вовсе не универсально, оно тоже условно. Это всего лишь удобный прием, хорошо работающий в определенных условиях, а не универсальный метод познания. Исследователь начинает привыкать, что в природе все может происходить самым невероятным, алогичным образом, потому что в действительности все между собой каким-то образом связано. Не всегда понятно

как, но связано. И человек тоже погружен в эти связи. В основе современного рационализма лежит утверждение (или постулат системности, согласно Н.Моисееву): **Вселенная, Мир представляют собой некую единую систему (Универсум), все элементы явления которой так или иначе связаны между собой.** Человек выступает неотделимой частью Универсума. Это утверждение не противоречит нашему опыту и нашим знаниям и является эмпирическим обобщением.

Современный рационализм качественно отличается от классического рационализма XVIII в. не только тем, что вместо классических представлений Евклида и Ньютона пришло гораздо более сложное видение мира, в котором классические представления являются приближенным описанием очень частных случаев, относящихся преимущественно к макромиру. Основное отличие состоит в понимании **принципиального отсутствия внешнего Абсолютного наблюдателя**, которому постепенно открывается Абсолютная Истина, равно как отсутствие самой *Абсолютной Истины*. С точки зрения современного рационализма *исследователь и объект связаны нерасторжимыми узами.* Это экспериментально доказано в физике и естествознании в целом. Но при этом рационализм продолжает оставаться рационализмом, ибо логика была и остается **единственным** средством построения умозаключений.

9.4. Наука и искусство – два способа познания мира

...Чутье художника стоит иногда мозгов ученого, и то и другое имеет одни цели, одну природу и что, может быть, со временем при совершенствовании методов им суждено слиться...

А. Чехов

Мы уже отмечали, что наука – мощный и практически незаменимый метод познания мира, хотя и не единственный. Стремление к познанию окружающего мира объективно обусловлено важнейшей задачей *разумно использовать природу, разумно организовать общество и вообще выработать целесообразное поведение, которое обеспечивает жизнь человеческого рода.* Велика роль науки в *прогнозировании и планировании* того, что может случиться. Эта потребность была, есть и будет обязательным условием существования человечества.

В течение многих столетий люди всегда считали именно свою эпоху временем небывалого расцвета и триумфа науки. Они с удивлением и гордостью рассматривали свою науку как знание, достигшее чуть ли не высшей ступени. Наше время не исключение. До сих пор рост науки описывается экспоненциальной зависимостью, которая показывает, что число ученых, число публикуемых научных работ, материальные затраты и т.п. удваиваются через каждые 15–20 лет, т.е. в пределах формирования нового поколения. Другими словами, за это время новых знаний появляется столько, сколько их было накоплено за всю предшествующую историю человечества.

Рассматривая познание мира в историческом развитии, можно увидеть неуклонное возрастание роли научного, точного знания. Этот процесс начался в незапамятные времена и привел к представлениям рационалистов XVII–XVIII вв. Именно тогда был поставлен вопрос о **возможности познания мира** в рамках строго научных, неопровержимых, *логически взаимно обусловленных понятий и связей*. В современном мире значение точного знания, существенно опирающегося на *формальную логику*, так выросло, что формально-логические методы иногда абсолютизируются. Часто достоверным считается только такое утверждение, которое может быть строго логически доказано, а науку, не основанную на этом методе, многие вообще не считают наукой. Люди "точных" наук убеждены, что, исходя из строго сформулированных основных положений и в дальнейшем примененных последовательно (в рамках системы законов формальной логики), можно прийти только к одному-единственному и потому правильному выводу.

Наука осваивает мир в понятиях. Оперирование понятиями позволяет выполнять науке познавательные функции: описание, объяснение и предсказание явлений. Поэтому каждая наука имеет собственный язык. Всякое научное познание характеризуется доказательностью и системностью. Эти качества отличают научное познание от обыденного. В основе системности доказательности лежит *логическая взаимосвязь научных понятий и суждений*.

В точных науках широко используется дедуктивный метод исследования: сначала дают строгое определение понятий, которые используются в дальнейшем, затем формулируют правила действий с ними, а также постулируют некоторые основные связывающие их соотношения. После этого в процессе исследования

применяются лишь *логические операции*. Исходные положения (определения и постулаты) предполагаются "правильными", т.е. соответствующими истинным свойствам тех природных объектов, которые изучает данная наука. Но, строго говоря, эти исходные положения являются *гипотетическими*. Их выбор представляет собой действие, лежащее *вне логики*, а их правильность подтверждается лишь успехами науки, построенной таким образом. Значит, в науке используются как *формально-логические элементы*, так и *внелогические*.

Возникает естественный вопрос о *соотношении логического и внелогического* в процессе познания. Успехи точных наук столь велики, что понимание *принципиальной* необходимости обоих элементов распространено недостаточно широко, и логический элемент обычно превалирует над внелогическим (последнее нередко считается чем-то второстепенным). Однако внимательный анализ показывает, что необходимость во внелогическом элементе возникает в любой науке, как только мы хотим сопоставить с реальными процессами в мире результаты, получаемые с помощью математического аппарата, а также аксиоматические положения, на которых этот аппарат строится. **Вера** в то, что логически возможное обязательно связано с реальным миром, свойственна большинству физиков и математиков.

В гуманитарных науках внелогический элемент более значителен. Однако непроходимой границы между естественными и гуманитарными науками нет. Например, Н. Вавилов предложил основывать выводы науки о культурных растениях на анализе их названий. Именно здесь наглядно обнаруживается отсутствие реальных границ между гуманитарными и естественными науками. Здесь нужно быть или ботаником, или генетиком, проникшим в языковые тайны, либо лингвистом, профессионально изучающим географию растений. Метод совместного изучения языка и материальной культуры применяется не только к исследованию названий растений, но и слов, обозначающих сельскохозяйственные орудия. На этом пути была установлена связь языка и истории культурных растений и получены важные выводы по некоторым вопросам истории, позволившие понять культурное прошлое человечества.

Внелогический элемент В. Вернадский называл *эмпирическим обобщением*. Его смысл состоит в том, что в качестве отправных позиций для любого анализа должны использоваться утвержде-

ния, согласные, т.е. не противоречащие, эмпирическим данным – опыту, приобретенному в практической деятельности. Следование этому принципу позволяет повысить вероятность реализации предполагаемого развития событий, но, очевидно, не дает гарантий, что выводы, полученные на основе эмпирических обобщений, будут обладать абсолютной достоверностью. *Эмпирическое обобщение* есть тоже некая *интерпретация*.

Рассмотрим пример такого утверждения: **мир, вся окружающая нас природа принимается как реально существующая**. Доказать подобное утверждение невозможно, его либо можно принять, либо отвергнуть (как и нельзя доказать или опровергнуть существование Бога). Данное утверждение можно рассматривать в качестве аксиомы. В основе *рационалистического миропонимания* лежит **вера** в то, что наши *эмпирические обобщения нас не обманывают*. Мир (или Универсум) действительно существует на *самом деле*, а не в нашем воображении, как считают позитивисты, а логические выводы, которые мы делаем на их основе, позволяют служить благу человека. Другим примером использования внелогического рассуждения является высказывание *обобщающих суждений*. Например, справедливость неевклидовой геометрии для физического мира устанавливается не логически, а изучением и обобщением опытных фактов, т.е. в результате испытания критерием практики. Истинность таких положений устанавливается путем сравнения с опытом, который всегда, вообще говоря, ограничен.

Таким образом, дополняя формальную логику критерием опытной проверки, критерием практики, и оценивая в процессе этой проверки с помощью внелогического суждения достаточность оснований для обобщающего вывода, мы можем познавать окружающую нас природу. Значит, всякая научная система в области точного знания, претендующая на описание реально существующего мира, содержит два важнейших элемента: не только *строгое логическое доказательство*, но и *интуитивное усмотрение (в смысле интуиции-суждения)*. Мы постигаем мир не только с помощью логики, которая позволяет делать строгие заключения и способна создавать рациональные конструкции на основе эмпирических данных, но и благодаря интуитивному, чувственному, алогичному (нелогичному) восприятию мира. Интуиция является не менее важным каналом познания мира. По-видимому, сама природа почему-то “распорядилась” таким образом, чтобы уравнивать эти

две стороны нашего “я”, которые находятся в разных полушариях мозга. Именно чувственное восприятие позволяет создавать образ в целом. Однако наше чувственное восприятие, как правило, вносит в картину мира элемент субъективизма, потому что разные люди по-разному воспринимают и понимают одни и те же явления окружающего мира.

Интуитивное суждение, остающееся само по себе логически недоказуемым, необходимо в науке не только для решения принципиальных проблем, например, установления новых законов природы. Любой экспериментатор постоянно в нем нуждается и им пользуется, так как нельзя экспериментировать до бесконечности и в какой-то момент всегда нужно остановиться, считая, что никакие дальнейшие изменения условий опыта ничего не изменят в сделанном выводе. Но эта уверенность логически недоказуема. Суждение о достаточности и есть внелогический акт – эмпирическое обобщение, в полной мере интуитивное, не сводимое логически к другим положениям, принятым за основные и безусловно верные.

Необходимое познание мира не ограничивается познанием его материальной основы, но также предполагает познание и общественной среды, и даже “самого себя”. Последние представляют существенно иной предмет, и используемые здесь методы и способы имеют свою специфику. Конечно, они не настолько различны, чтобы между ними существовала непроходимая граница. Методы “точных” наук все более внедряются, например, в психологию, социологию, филологию и т.п. Однако есть науки, “крайние” в отношении возможности использования таких методов, существует **искусство**, которое не поддается подобным научным методам.

На всех этапах истории человечества искусство занимало особое место, хотя полного объяснения этому феномену нет. Тем не менее *стремление к художественному творчеству* следует поставить в один ряд со стремлением к познанию окружающего мира. **Искусство** – это *вид духовного освоения действительности человеком, имеющим целью формирование и развитие его способности творчески преобразовывать мир и самого себя по законам красоты*. Оно удовлетворяет универсальные потребности человека – восприятие окружающей действительности в развитых формах человеческой чувственности и дает *художественную картину мира*. Художественное творчество является составной

частью духовной культуры человечества. Оно включает литературу, театр, кино, живопись, музыку, архитектуру и др. Искусство оказывает огромное влияние на человека, оно обращается к его душе, внутреннему миру, воздействует на его эмоции и чувства как непосредственно, так и на интуитивном уровне. Многие считают, что искусство – это целитель от всех проявлений мерзостей человеческого характера, потому что оно имеет **колоссальную силу воздействия** на внутренний мир человека.

Весь человеческий опыт показывает, что искусство дает познание того, что интуитивное решение, не обосновываемое рационально, не доказуемое логически и даже противоречащее логическому рассуждению, способно быть гораздо более справедливым и верным, чем само это рассуждение. В отличие от науки в искусстве основной формой познания является *художественный образ*. Искусство дает познание того, что такая ситуация **типична** для жизни человека, пронизывает эту жизнь, и *без доверия к интуиции человечество не может существовать*. Искусство создается без помощи математики и строгих логических рассуждений. Оно использует такие инструменты, присущие сознанию, как *эмоции* и *образы*. Поэтому можно сказать, что *искусство – это ценностное эмоционально-образное моделирование человеческой реальности*. Художественный образ всегда конкретен, дан непосредственно чувству, переживается, а не мыслится. Искусство возвышает человека до современного ему уровня культуры, мышления и понимания, и является наиболее существенным фактором *самоорганизации и саморазвития общества*. Расцвет науки и искусства – процессы взаимосвязанные, свидетельствующие об ускоренном развитии.

Итак, **наука и искусство** – два способа познания природы и мира, *аналитический (логический, рациональный)* и *синтетический (интуитивный, целостный)*; оба они отражают действительность.

И в науке, и в искусстве человек занимается *творческой деятельностью*, направленной на создание новых по содержанию и по форме материальных и культурных ценностей. Но средства и методы в науке и в искусстве различны. Они существенно различаются тем, что в науке основное внимание уделяется *анализу*, хотя в определенной мере присутствует и *синтез*. Именно *синтез* дает *общую картину мира*. Поэтому он не менее нужен чело-

веку, чем логические построения. Здесь прямо работает принцип дополнительности Бора: только тогда сознание полноценно, когда оно объединяет различные способы познания.

В искусстве основным является *синтетическое* или целостное изображение действительности. В этом смысле они *дополняют* друг друга. Но *искусство* дает, в отличие от *науки*, *целостное восприятие мира*. Оно дает изображение таких ситуаций, где число существенных факторов столь велико, что картина не поддается анализу. Но искусство – не наука и поэтому не может быть специально направлено на исследование проблем социальной жизни человека. Однако, оно может выступать как средство обнаружения тонких нюансов в процессе познания мира, на что не способна наука, которая стремится к созданию абстрактных (достаточно универсальных) образов – теорий и гипотез. Наука в развитии более конструктивна, чем искусство, которое, однако, позволяет раскрыть весьма существенные свойства, недоступные пока современной науке. Наука и искусство как два пути познания мира – едины; взятые отдельно, они не могут дать полной картины мира. Именно поэтому настоящий ученый использует и средства искусства, а настоящий художник (писатель, артист) – средства науки.

В науке существует критерий истины, и слово "нравится" здесь исключено. Истины в науке доказываются, а явления объясняются. В искусстве они истолковываются, ему чужды логические рассуждения, а строгие доказательства оно заменяет непосредственной убедительностью образов. Наука может объяснить, почему хороша или плоха та или иная теория. Искусство позволяет почувствовать очарование мелодии, звука и т.п., но никогда не объясняет до конца. Высшее достижение ученого, – если его результаты работы подтвердятся, но в искусстве "повторение равносильно смерти".

Мы привыкли считать науку и искусство противоположными полюсами. Такое разделение произошло почти триста лет назад и в значительной мере сохраняется до сих пор. В науке укоренился дух рационализма. С его помощью мир преобразован до такой степени, что само существование человека оказалось под угрозой. Даже искусство перед ним оказалось беспомощным. Все это отразилось и на естествознании. Но так ли уж они не зависят друг от друга? Существует ли между ними общее?

В наше время появляется все больше доказательств общности науки и искусства и их зависимости друг от друга. *Наука и искусство – составная часть культуры человека.* Многие ученые осознают неадекватность укоренившегося рационалистического способа мышления, который страдает склонностью возводить получаемые данные в догмы, разрывать и абсолютизировать их. Приходит понимание, что пора пересмотреть отношение к рациональному (логическому), оно перестает претендовать на единственный способ получения абсолютных истин. Но рационализм как способ мышления отбрасывать нельзя, он себя еще не исчерпал, у него богатые возможности.

Окружающий нас мир сложен и *нелинеен*. Нелинейность присутствует не только физическим процессам. Все глобальные процессы – экономические, социальные, экологические и т.п. – описываются нелинейными законами. Однако физики и математики умудрялись успешно это игнорировать. Сосредоточившись на простых (линейных) задачах, которые они могли решить, ученые оказали сильное влияние на технологию и таким образом радикально изменили облик планеты. Теперь, однако, начинает возникать ощущение, что требуется нечто большее, чем понимание линейных явлений. Современным знаниям становится "тесно" в рамках когда-то открытых законов. Почти одновременно во многих дисциплинах растет озабоченность тем, что о следствиях нелинейных законов известно не так уж много.

Теперь уже недостаточно открыть основные законы и понять, как работает мир "в принципе". Более важным становится выяснение того, каким способом эти принципы проявляют себя в реальности, в явлениях, так как фундаментальные законы действуют в реально существующем мире. Дело в том, как мы уже отмечали выше, что любой нелинейный процесс приводит к *ветвлению*, к развилке на пути, в которой система может выбрать ту или иную ветвь. Мы имеем дело с *выбором решения*, последствия которых трудно предсказать, так как незначительные неточности раздуваются и имеют далеко идущие последствия. В каждый отдельный момент причинная связь сохраняется, но после нескольких ветвлений она уже не видна. Рано или поздно начальная информация о состоянии системы становится бесполезной. Таким образом, *законы природы допускают для событий множество различных исходов, но наш мир имеет одну-единственную историю.*

Даже в астрономии, одной из старейших естественных наук, следует пересмотреть прежние представления. Когда Кеплер и Ньютон, а затем более точно Эйнштейн объяснили, как отдельные планеты движутся вокруг Солнца по своим орбитам, создалось впечатление, что для полного описания движения системы трех и более тел требуется просто увеличить интенсивность вычислений. Действительно, движение космических кораблей описывается законами ньютоновской механики, а современные компьютеры направляют их к нужным целям, однако также верно, что по истечении достаточно большого периода времени траектории их движения становятся практически непредсказуемыми (хаотическими). До сих пор нет ответа на старый вопрос об устойчивости Солнечной системы. До конца XIX в. считалось, что она должна быть устойчивой. В начале XX в. появились основания предполагать обратное. Сегодня многие ученые допускают, что долгосрочный прогноз поведения солнечной системы невозможен. Как говорят специалисты, большинство уравнений являются "неинтегрируемыми". Любая даже самая малая неточность в начальных условиях может позже повлиять на последующее движение.

Аналогичные проблемы возникают почти во всех дисциплинах. Все это не означает, что известные до сих пор законы природы неверны; это лишь говорит о том, что очень трудно обнаружить все скрытое в них. Эти трудности являются общими и для небесной механики, и для физики элементарных частиц, и для биологии, и для экономики. Приходит понимание, что требуются совершенно новые взгляды в науке. Поэтому говорят, что фундаментальные науки должны перевести свой взгляд от основ к явлениям. И здесь, по-видимому, одной логики недостаточно.

Такая точка зрения возникла в основном в последние десятилетия и во многом благодаря развитию компьютерной техники (хотя и не только). Именно это новое средство познания позволило увидеть связи и их значение, которые до сих пор были скрыты от нас. Компьютер, компьютерная графика помогает приподнять покров над тайнами природы. Там, где предыдущие поколения ученых были вынуждены существенным образом упрощать свои уравнения или вообще отказываться от них, теперь их суть можно увидеть на экране дисплея. Естественные процессы, представленные графически, т.е. в виде рисунка, можно постичь во всей сложности, опираясь на нашу интуицию.

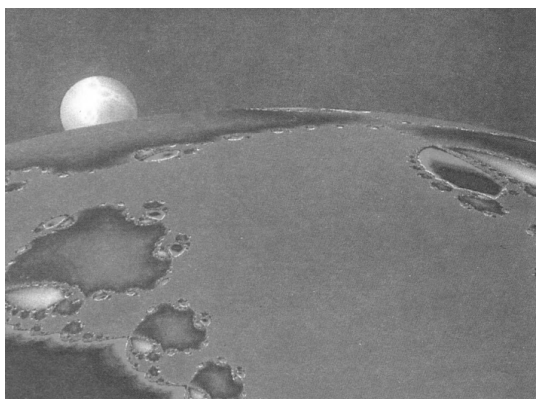


Рис. 9.3. “Космический пейзаж”

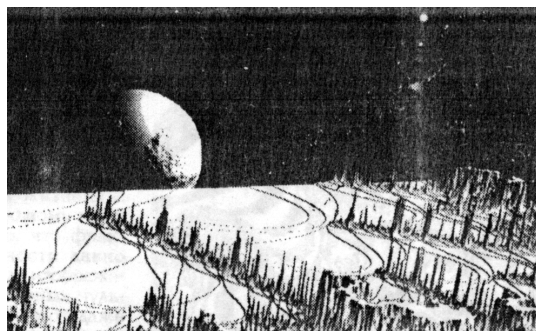


Рис. 9.4. Пейзаж, полученный на основе фрактального множества Мандельброта

Рисунки – это, в сущности, другой способ описания реальных событий (фактов). Их можно закодировать числами, а затем обработать с помощью компьютера. *Графические изображения*, созданные компьютером, называют *компьютерной графикой*. Значение этого способа использования компьютера возросло в последнее время. Современные компьютерные средства позволяют создавать двух- и трехмерные изображения с фотографической точностью и вместе с этим позволяют ловить не отдельные мгновения, а охватывать действительность в движении и изменениях в реальном масштабе времени. Можно построить плоские или трехмерные движущиеся изображения даже с тех точек зрения, которые недоступны человеческому взгляду или камере. По сути дела, возникает *новый язык – язык изображений*, позволяющий наблюдать и другие виды взаимосвязи явлений, которые недоступны обычному языку, например, петлевидные процессы, взаимодействия, сети коммуникаций и т.п. А такое восприятие действительности уже ближе к искусству. Сведения, представленные в виде рисунков (картинки) и схем, весьма удобны и легче воспринимаемая для человека информация, чем длинные перечни чисел. Именно поэтому цифровая информация часто представляется в диаграммах, гистограммах, графиках и т.п.

В качестве примера, где сближение науки и искусства налицо, можно привести *компьютерную графику на основе фрактальной математики*. Такой подход является мощным средством моделирования сложных нелинейных процессов. Это позволило по-новому взглянуть на процессы, протекающие в природе. Особенно красивы представления фракталов в виде изображений (рис. 9.3

и рис. 9.4). Они могут восприниматься и как абстрактная живопись, и как реальные пейзажи. Фрактальные пейзажи выглядят настолько правдоподобными, что большинство людей воспринимает их как естественные. Но самое удивительное состоит в том, что все это разнообразие описывается простыми математическими формулами. В книге Х. Пайтгена и П. Рихтера “Красота фракталов” (М.: Мир, 1993) собрано много подобных красивых картинок, нарисованных с использованием фрактальной математики. Именно из-за этого она сразу же получила огромную известность не только среди специалистов, но и людей искусства. Картины, представленные в этой книге, просто прекрасны. На них кажущаяся *смесь порядка и беспорядка* поразительна и удивительна, и это является типичным также для природных процессов. Можно сказать, что ощущение прекрасного возникает под влиянием гармонии порядка и беспорядка в объектах природы. Возможно, именно поэтому они и представляются нам такими правдоподобными.

Можно сказать, что фракталы позволяют сделать математический мир видимым, и мы даже можем окунуться в него, как в мир настоящий. Поэтому говорят, что фрактальные графики служат мостом между наукой и искусством. Здесь подобие реальному миру настолько велико, что фрактальные поверхности уже используются для изображения гор в компьютерных мультфильмах. Возникла точка зрения, что компьютеры выступают новым средством получения произведений искусства. Производимое эстетическое впечатление и вызываемое новизной удивление – именно это и роднит произведения искусства и изображения, создаваемые наукой.

Таким образом, один из путей сближения науки и искусства лежит в росте математизированного знания – в компьютеризации. Стремительно возрастает доля интеллектуальной деятельности, которая может быть передана ЭВМ и которую машина выполняет значительно быстрее и надежнее, чем человек. В принципе, так может быть охвачена вся формализуемая часть мыслительной деятельности человека. В результате человек освобождается для подлинно творческой работы. Следовательно, благодаря компьютеризации сближается структура интеллектуальной деятельности в естественно-научной и гуманитарной сфере, в науке и искусстве.

Хорошо известно, что крупные математики и физики всегда мыслили образами; более того, они использовали эстетические

категории в качестве критерия если не истины, то, по крайней мере, завершенности (критерий красоты). Именно здесь содержится глубокая вера в единство науки и искусства.

Контрольные вопросы

1. Объясните сущность современной естественно-научной картины мира.
2. Перечислите особенности вещества и поля в современной картине мира.
3. В чем состоит сущность физического вакуума как разновидности материи и каковы его особенности?
4. Что понимают под сменой естественно-научной парадигмы?
5. На каких принципах основана современная картина мира?
6. Объясните смысл понятий "рациональный", "рационализм", типы рационализма.
7. Сформулируйте сущность классического рационализма, современного рационализма.
8. В чем состоит отличие современного рационализма от классического?
9. Почему нельзя отказываться от рационального способа мышления?
10. В чем различие и в чем сходство между наукой и искусством?
11. Приведите примеры, которые доказывают сближение науки и искусства.

Литература: [3, 12, 24, 39, 50, 51].

Дополнительная литература: [1, 2, 4, 6, 67].

ГЛОССАРИЙ (краткий словарь терминов)

Абстрагирование – процессы мысленного отвлечения, выделения существенных свойств, сторон, черт явления или предмета; отвлечение от одних признаков и выделение других; в процессе абстрагирования создаются мысленные абстракции и понятия, являющиеся формой существования мыслей.

Анализ – расчленение целостного предмета на составные части (стороны, признаки, свойства или отношения) с целью их всестороннего объяснения.

Аналогия – прием познания, при котором на основе сходства объектов в одних признаках заключают об их сходстве в других признаках.

Биосфера (живая оболочка) – область существования и функционирования ныне живущих организмов, охватывающая нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу, поверхность суши и верхние слои литосферы. Этот термин включает в себя как живые организмы (живое вещество), так и их среду обитания. При этом организмы, сложившись друг с другом, составляют органически единую, динамическую систему. Это сложная динамическая система, осуществляющая улавливание, накопление и перенос энергии путем обмена веществ между живыми организмами и окружающей их абиотической средой. При этом поддерживается динамическое равновесие между всеми составляющими (гомеостаз).

Бифуркации – особые точки, точки ветвления возможных путей эволюции системы, чему на уровне математического описания соответствует ветвление решений нелинейных дифференциальных уравнений.

Вероятность – количественная характеристика осуществимости *возможности* в некотором конкретном комплексе условий; величина, характеризующая степень возможности некоторого случайного события. Вероятность *достоверного события* равна 1, а *невозможного* – 0. Вероятность случайного события отлична от 1. Закономерности, присущие случайным событиям, называют *вероятностными, стохастическими или случайными*. Они играют важную роль в науке.

Вид – определенная категория растений, животных и микробов, качественно обособленная форма живого, этап и основная

единица эволюционного процесса, отличающаяся деталями обмена веществ, закрепленными в генотипе. Это совокупность популяций особей, способных в природных условиях к скрещиванию с образованием плодового потомства, но, как правило, не скрещивающихся в этих условиях с особями других видов.

Виртуальные частицы – частицы, возникающие и исчезающие в результате флуктуаций соответствующего квантового поля, описывающего эти частицы.

Возможность – это то, чего еще нет, но то, что должно наступить при *определенных условиях*; совокупность порождаемых единством многообразных сторон действительности предпосылок ее изменения, превращения в другую действительность. Возможность отражает тот этап движения, развития явлений, когда они существуют лишь в виде предпосылок или в качестве тенденций, присущих некоторой действительности. Возможность превращается в действительность через *необходимость* (одна возможность превращается в одну действительность) или случайность (когда из нескольких возможностей в действительность реализуется только одна возможность). *Действительность* – это то, что уже объективно существует, имеется при данных условиях, это осуществившаяся возможность и основа формирования новых возможностей. Возможность и действительность находятся в диалектическом единстве, они подвижны, меняются местами, взаимно переходят друг в друга. Любое развитие можно представить как движение от возможности, возникающей в недрах действительности, к новой реальности с присущими ей возможностями.

Волна – это распространение (передача) колебания из одного места в другое, соседнее (от точки к точке). Волна не локализована в пространстве, она заполняет часть или все пространство. Волны могут интерферировать при наложении друг на друга; они переносят энергию и импульс.

Вселенная – понятие, употребляемое в трех смыслах. Во-первых, как синоним ойкумены, т.е. обитаемой части мира; во-вторых, как совокупность всех вещей, имеющихсся в мире; в-третьих, как объект космологии, ибо Вселенная (Метагалактика) – та часть мира, которая доступна наблюдению и исследованию.

Генетика – наука о законах наследственности и изменчивости организмов.

Гипотеза – отдельные предположения или догадки, к которым прибегают при построении теории или постановке эксперимента с целью проверки теории. Гипотетическое знание носит вероятностный, а не достоверный характер и требует проверки и обоснования. В ходе доказательства выдвинутых гипотез одни из них становятся истинной теорией, другие видоизменяются, уточняются и конкретизируются, третьи превращаются в заблуждения и отбрасываются в случае отрицательного результата. ”Всякая плодотворная гипотеза кладет начало удивительному извержению потока непредвиденных открытий” (Л. Бриллюэн).

Гомеостаз(ис) – состояние динамического подвижного равновесия природной системы, поддерживаемое сложными приспособительными реакциями, регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и внутренних свойств, а также постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее звеньях. Он характерен и необходим для всех природных систем – от космических до атомных. Направлен на максимальное ограничение воздействий на целое (систему) внешней и внутренней среды, сохранение постоянства структуры и функций в системе.

Дедукция (дедуктивный метод познания) – способ (метод) предсказания или получения *частных следствий из общих правил с помощью логических рассуждений*; процесс восхождения познания от общего к единичному. Противоположна индукции. Индукция и дедукция широко используются в науке. Каждый из них в какой-то мере ограничен.

Действительность – весь объективный существующий мир в многообразии своих проявлений, объективная реальность, материя в ее различных формах.

Детерминизм – система философских взглядов об объективной, закономерной связи всех явлений окружающего мира, противостоящая индетерминизму. *Механический, или лапласовский, детерминизм* – учение о закономерности и причинной обусловленности всех событий и явлений; предопределенность всех событий до крайних пределов: все в происходящем мире однозначно задается тем, что уже происходило.

Диалектика (с греческого – *искусство вести беседу*) – учение о наиболее общих законах природы, общества и познания и основанный на этом учении метод мышления, который рассматривает

явления или события в движении, развитии, взаимосвязи. Развитие с точки зрения диалектики – качественное превращение одних предметов и явлений в другие, уничтожение отжившего, устаревшего, того, что мешает развитию; утверждение нового. Формула диалектики: в какой-то мере да, в какой-то нет, нет окончательных истин.

Динамические закономерности – объективные, необходимые, существенные связи и зависимости, характеризующие поведение относительно изолированных объектов, при исследовании которых можно абстрагироваться от многих случайных факторов. Предсказания на их основе имеют однозначный, точно определенный характер.

Динамический хаос – нерегулярное или хаотическое поведение простой системы, подчиняющейся регулярным, неслучайным динамическим законам; рождение случайного из неслучайного. При этом система должна быть нелинейной. Поведение таких систем невозможно предсказать на достаточно больших промежутках времени.

Доплера эффект – изменение частоты или длины волны электромагнитных колебаний, воспринимаемых наблюдателем (приемником), вследствие движения источника волн относительно наблюдателя. При удалении от наблюдателя длина волны уменьшается (красное смещение), при приближении к нему – увеличивается.

Духовный – связанный с внутренним и нравственным миром человека, с умственной деятельностью.

Естественный (природный) – то, что возникает и существует само по себе. Естествознание все объекты и процессы изучает как естественно существующие и протекающие сами по себе.

Естественный отбор – процесс, в результате которого под действием природных факторов происходит вымирание наименее адаптированных к среде членов популяции и остаются особи, наиболее приспособленные к выживанию и размножению. Процесс дифференцированного (неслучайного, избирательного) выживания и воспроизведения организмов в ходе эволюции; обуславливает относительную целесообразность строения и функций организма.

Закон природы – это *порядок*, которому подчиняются явления природы; связь между процессами или явлениями, происходящи-

ми в природе. Эта связь – *объективная, существенная, общая, повторяющаяся, устойчивая*. При установлении закона обычно сосредотачивают внимание на некоторых особенностях рассматриваемых явлений. Открытие законов природы есть главная задача естествознания. Законы естествознания описывают связь явлений природы, *многократно повторяемую в идентичных условиях*. Законы природы позволяют предвидеть одни явления на основе того, что мы знаем о других явлениях, поэтому их прогностическая ценность огромна.

Идеализация представляет собой мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследований. В результате такого изменения могут быть исключены из рассмотрения какие-то свойства, стороны или признаки объекта. Хорошо известным примером идеализации служит понятие материальной точки в механике – это объект, размерами которого пренебрегают. Реально в природе таких объектов не существует, но подобная абстракция позволяет заменить в исследовании самые различные реальные объекты: от атомов и молекул до планет и звезд.

Иерархия – расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему или, наоборот, вхождение или функциональное соподчинение систем, при которых меньшие подсистемы составляют большие системы, сами являющиеся подсистемами еще более крупных систем.

Изменчивость – *разнообразие*, т.е. существование различий в данный момент; *изменение* как появление нового. Говоря об изменчивости, надо четко определять – изменчивость чего. Это существование организмов в различных формах и вариантах; способность организмов реагировать на воздействия факторов среды морфофизиологическими изменениями; характеристика степени изменения организмов какой-либо группы в ходе эволюции.

Индетерминизм – философская концепция, отвергающая всеобщий характер универсальной взаимосвязи явлений, отвергает причинность. Индетерминизм противостоит детерминизму по вопросу о месте и роли причинности.

Индукция (индуктивный метод познания) – процесс вывода *общего из частного*. Сначала собирают экспериментальные данные (факты), а затем выводят общие правила. Ярким примером этого метода рассуждений служит метод математической индукции.

Интуиция – способ постижения истины путем прямого ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств (*интуиция-суждение*). В математике и физике под интуицией подразумевают угадывание результата, который обязательно должен быть подтвержден логическим доказательством (дискурсивно) или опытной проверкой (*интуиция-догадка*).

Искусство – художественное творчество, составная часть духовной культуры человечества: литература, театр, живопись, музыка, архитектура и т. д.

Искусственный – то, что придумано и создано человеком.

Концепции – идеи или общие понятия. *Математические концепции* – полезные понятия (предел, давление); они часто представляются в виде математических соотношений. *Концепции наименований* – понятия, полезные при классификации и обсуждении (например, группы материалов – металл, диэлектрик; общие свойства – упругость). *Концепции определений* – понятия, которые придумывают и определяют для описания явлений (например, ускорение, сила). **Научные концепции** – полезные понятия, получаемые из эксперимента. *Схемы понятий* – научные идеи более общего характера, вокруг которых концентрируется научная мысль (например, теплота как форма молекулярного движения; законы Ньютона). *Великие схемы понятий* – система движения планет; кинетическая теория газов и др.

Культура – совокупность достижений человечества в производственной, общественной и духовной жизни; это вся сумма деятельности человеческого разума, она объединяет все хорошее в деятельности человека, а все плохое ей противоречит. Она кумулятивна, т.е. строится на протяжении всей истории человечества, суммируясь с ней и обогащаясь. Различают культуру *духовную, социальную и материальную*.

Логика – этимологически восходит к древнегреческому слову “logos”, означавшему “слово”, “мысль”, “понятие”, “рассуждение”, “закон”. Это наука о законах и формах мышления человека. Она занимается *исследованием мыслительных процедур*. Различают *традиционную логику*, начало которой положил Аристотель, изучающей умозаключения, понятия и операции над ними. Применение методов формализации и математических методов привело к созданию *классической логики (символической или математической)*. Неклассическая (модальная или философская) логика,

которая использует формальные методы для анализа содержательных реалий. *Упрощенное понимание логики – ход рассуждений, правила рассуждений.*

Материя – объективная реальность, данная в ощущениях и реально существующая вне и независимо от человека.

Метафизика (с греческого – *то, что за физическим*) – способ познания, противоположный диалектическому; синоним неподвижности, разрозненности, отсутствие связи; она мыслит крайними категориями (либо да, либо нет); развитие рассматривает как простое увеличение или уменьшение готовых качеств.

Мир – Вселенная во всей ее совокупности форм материи в земном и космическом пространстве, т. е. все то, что существует вокруг нас.

Мировоззрение – комплекс представлений человека о себе и о мире, единство знания и оценки. Оно включает позицию субъекта по отношению к действительности, идеалы, ценности, цели.

Модель происходит от латинского “modulus”, что означает *мера, образец*. Содержание понятий “модель”, “моделирование” в различных сферах знания и человеческой деятельности разнообразно. Общее состоит в том, что модель в том или ином смысле, *более или менее полно имитирует объект*. Различают модели *исследовательские*, например, физические, химические или биологические, экономические, и модели *рабочие* (автопилот, кукла). Моделирование лежит в основе любой науки. *Физические модели* ориентированы на решение физических задач, часто средствами математики. Так как модели строятся для имитации, и притом лишь части свойств исходного объекта, то, как правило, они оказываются проще самого объекта. *Модель никогда не бывает полностью идентичной реальному объекту*. Исследовательские модели условно можно разделить на экспериментальные и теоретические. Первые представляют собой реально существующие устройства, вторые формулируются на языке той или иной науки (математические, экономические и т. д.). Теоретические физические модели имитируют реальные объекты с помощью абстрактных, идеализированных представлений на физическом языке с помощью языка и средств математики. Известно много способов построения моделей. Умение правильно выбрать математическую модель находится на грани науки и искусства, оно требует не только математических и физических (или других) знаний, но и вкуса и

чувства меры. Следует помнить, что идеализация “мстит за себя”, порождая парадоксы и недоразумения. Поэтому не надо забывать о статусе моделей.

Мораль – совокупность правил и норм поведения людей по отношению друг к другу и к обществу. Носит исторический характер, развивается вместе с общественными отношениями.

Мышление – функция (или способность) головного мозга отражать действительность, это *высшая форма отражения действительности*, посредством которой достигается воспроизведение внутреннего, существенного; способность человеческого мозга к производству мыслеобразов. Мыслить – значит рассуждать, сопоставляя данные опыта или мысли и делать выводы из них. В отличие от чувственного познания, мышление имеет *абстрактно-обобщающий характер*, оно способно отвлечься от несущественных случайных черт, выделить главные, существенные. *Абстрактное мышление выходит за пределы чувственного опыта*. Путем рассуждений оно дает возможность выявить такие черты действительности, которые не были предметом ощущения и восприятия. Оно формируется на основе чувственного опыта и в процессе обучения. Логическое мышление как форма абстрактного мышления позволяет организовать мыслительные процедуры таким образом, чтобы, отталкиваясь от данных чувственного познания, гарантированно получить истинное заключение.

Наследственность – свойство организмов повторять в ряду поколений сходные признаки и свойства; неотъемлемое свойство живой материи. Вместе с изменчивостью она обеспечивает постоянство и многообразие форм жизни и лежит в основе эволюции живой природы. Осуществляется на основе передачи наследственных факторов, ответственных за формирование признаков и свойств организма, т.е. на базе наследования – передаче генетической информации от одного поколения к другому. Наследуются определяющие признаки (химические носители наследственности – гены). Термин “наследственность” также означает и то, что *настоящее и будущее любой системы зависят от прошлого*. Степень этой зависимости может быть любой.

Научная революция – процесс коренного, качественного переворота, вызываемый научными достижениями и открытиями; коренная ломка представлений о строении мира и положения в нем человека, великий поворот в мышлении, перелом в развитии на-

уки. При этом старое, занимавшее до тех пор господствующее положение, быстро заменяется на новое, а не переделывается постепенно шаг за шагом. Революции совершаются людьми как их сознательная и целенаправленная деятельность.

Нелинейность в математическом смысле означает определенный вид математических уравнений, содержащих искомые величины в степенях, больших единицы, или коэффициенты, зависящие от свойств среды. Нелинейные уравнения могут иметь несколько (больше одного) качественно различных решений. Отсюда вытекает физический смысл нелинейности. Множеству решений нелинейного уравнения соответствует множество путей эволюции системы, описываемой этими уравнениями. В мировоззренческом плане понятие нелинейности отражает *идею многовариантности, альтернативности путей развития или эволюции системы; идею необратимости эволюции; идею выбора из данных альтернатив.*

Нелинейная среда (система) – среда (система), процессы в которой описываются нелинейными уравнениями. Это среда, которая может эволюционировать (развиваться) различными путями, таит в себе бифуркации.

Неустойчивые системы (среды) – определенный класс систем (сред), поведение которых *чувствительно к малым возмущениям*, к хаотическим флуктуациям на микроуровне. Состояние такой системы резко изменяется под их влиянием.

Нравственный – относящийся к нормам поведения человека в обществе; соблюдающий нормы общественного поведения, соответствующий требованиям морали.

Необходимость – то, что обязательно должно произойти в данных условиях и при соответствующих условиях наступает неизбежно. Необходимость имеет причину своего появления в самом себе и обусловлена внутренними причинами. *Случайность* есть форма проявления необходимости. Необходимость и случайность объективно существуют, тесно связаны и неотделимы друг от друга, могут переходить друг в друга, меняться местами. Они проявляются в виде свойств и связей, отражают различные типы связей в объективном мире и его познании. Каждое явление возникает в силу необходимости, но разнообразны условия, в которых оно осуществляется, многочисленны влияния на него, и это отражается в случайностях, сопровождающих явление. Основная задача

науки – познание необходимого. Познание закономерностей объективного мира позволяет устанавливать связи между явлениями или событиями и условиями, которые определяют их появление. Если можно указать комплекс условий, при каждой реализации которого событие (явление) наступает неизбежно, то такое событие (явление) называют достоверным. Если событие не может произойти при реализации данного комплекса условий, его называют невозможным. Однако предсказать с полной определенностью наступление того или иного явления удается не всегда. Это связано с тем, что часто указываемый комплекс условий не отражает всей совокупности причинно-следственных связей между явлениями (либо они не все известны). Такие события или явления и называют случайными.

Обобщение – прием мышления, в результате которого устанавливаются общие свойства и признаки объектов.

Опыт – опытное, эмпирическое знание. Оно характеризуется как знание непосредственное, т. е. когда исследователь входит в непосредственный познавательный контакт с объектом изучения. Результатом опытного знания выступает эмпирический факт, событие, явление. Для опытного знания также характерно описание фактов, их объяснение, систематизация и каталогизация. Часто под опытом понимают *эксперимент*. Для этого между субъектом и объектом помещается прибор.

Организм – всякое живое тело, живое существо, реальный носитель жизни, характеризующийся всеми ее свойствами; происходит от одного зачатка и индивидуально подвержен факторам эволюции и экологическим воздействиям. Это любая биокосная система, состоящая из взаимосвязанных элементов, функционирующих как единое целое (система).

Открытая система (среда) – определенный вид систем или сред, которые обмениваются веществом, энергией и/или информацией с окружающей средой, т. е. имеют источники и стоки.

Парадигма (от греческого – образец, пример) – совокупность общепринятых норм и идеалов научного исследования и той картины мира, с которой согласна основная масса научного сообщества.

Понятие – форма мышления, отражающая общие закономерные связи, существенные стороны, признаки явлений, необходимые свойства предметов, явлений и процессов действительности, которые закрепляются в определениях (дефинициях).

Популяция – совокупность особей одного вида с общим генофондом, в течение большого числа поколений, населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

Принцип (от латинского “принципус”) – основа, первоначало. Принцип есть центральное понятие, основание системы, обобщение и распространение какого-либо положения на все явления той области, из которой данный принцип абстрагирован.

Природа – в широком смысле это все многообразие движущейся материи, ее свойств и состояний, включая и общество; в узком смысле – это материальный мир, за исключением социальной формы движения материи. Всякий раз, когда природа противопоставляется обществу, она понимается в узком смысле. Вся природа представляет процесс универсального движения материи из одной формы в другую.

Причина – одна из форм связи и взаимодействия материальных образований или их элементов, обуславливающая соответствующие изменения. Причина и следствие не являются застывшими, раз и навсегда данными сторонами действительности; они переходят друг в друга, могут меняться местами, т.е. относительны. Они существуют в единстве и связаны необходимым образом, но причина по времени всегда бывает раньше следствия.

Причинность – философский принцип цельности и неразрывности природы, утверждающий всеобщность причинности, и ориентирующий на исследование причинно-следственных взаимосвязей. Причинность имеет много сторон: производство одним объективным явлением другого; воздействие одного предмета на другой; связь, существующая вне и независимо от сознания субъекта; связь во времени. Все явления обусловлены, но не все связи и отношения наступают одинаково: одни из них неизбежны, другие случайны.

Проблема – форма знания, содержанием которой является то, что не познано человеком, т.е. это *знание о незнании*. Считается, что современная наука начинается не с наблюдения, а с проблем, и ее развитие есть переход от одних проблем к другим – от менее глубоких к более глубоким. Проблемы возникают как следствие противоречия в отдельной теории, либо при столкновении двух или нескольких различных теорий, либо в результате столкновения теории с наблюдениями.

Разум – *высший уровень мышления*, для которого характерно, прежде всего, творческое оперирование абстракциями и сознательное исследование их собственной природы; это высшая ступень познавательной деятельности человека, способность логически и творчески мыслить. Разум выступает как творческая и познавательная сила, с помощью которой раскрывается сущность действительности. *Разум присущ только человеку*. Он охватывает не только умственную, но и всю практическую сознательную деятельность людей. Важнейшее свойство разума – *свобода воли, т. е. способность делать выбор и принимать решение в неоднозначной ситуации*.

Рассуждение – метод получения знания, представляющий собой мысленное моделирование, логический вывод или заключения из имеющихся данных.

Рациональный – основанный на требованиях разума, разумный. Целесообразный, логичный. Определение понятий – важнейший инструмент рациональности.

Редукционизм (редукция) – установка на сведение сложного к простому, одних наук или крупных их разделов к другим: химии к физике, биологии к химии и физике и т. д.

Реликтовое излучение – космическое электромагнитное излучение, связанное с эволюцией Вселенной, которое проявляется как фоновое шумовое излучение. Его спектр близок к спектру абсолютно черного тела с $T = 2,73$ К.

Самоорганизация – процессы спонтанного упорядочения (перехода от хаоса к порядку), образования и эволюции структур в открытых нелинейных средах.

Синтез – процесс реального или мысленного объединения ранее выделенных частей предмета в единое целое; связан с анализом.

Система – это такая совокупность элементов или частей, в которых существует их взаимное влияние и взаимное качественное преобразование. Система всегда унитарна, т.е. представляет собой единое целое, из которого нельзя отнять ни одного элемента, не изменив качества всего целого. Важнейшая особенность системы со сложной структурой – это иерархичность структур, наличие по крайней мере нескольких уровней строения или организации. Система считается тем более высокоорганизованной и совершенной, чем сильнее в ней проявляется принцип иерархии ее подсистем

или структурных уровней, чем строже в ней действует принцип субординации ее частей. Таким образом, каждая система состоит из элементов, упорядоченных определенным образом и связанных определенными отношениями. Каждый объект природы – это сложное образование, оно состоит из каких-то частей, т.е. является системой. Наши знания о природе, отражающие реальные явления и предметы природы, также состоят из частей – из отдельных представлений, суждений, понятий, теорий и т.п. Часть – это относительно самостоятельный компонент, входящий в состав системы. Целое – какая-то определенная система, состоящая из взаимосвязанных частей и имеющая такие свойства, которые у частей отсутствуют. Элемент – это относительно неделимая часть целого.

Следствие – порождается причиной, результат действия причины; это изменения, возникающие во взаимодействующих сторонах или материальных образованиях в результате их взаимодействия.

Случайность – то, что может произойти, а может и нет. Случайность имеет причину своего существования во внешних обстоятельствах.

Статистические закономерности – форма проявления взаимосвязи явлений, при которой данное состояние системы определяет все ее последующие состояния не однозначно, а лишь с некоторой вероятностью, выступающей объективной мерой возможности реализации заложенных в прошлом тенденций изменения. Это обусловлено действием множества случайных факторов. Необходимость в таких закономерностях возникает как следствие взаимной компенсации и уравнивания множества случайностей.

Структура – способ организации элементов и характер связи между ними. При этом часто существенна не сама природа элементов, а совокупность отношений между ними. Структура системы, определенная как совокупность отношений, задает связь между элементами. Формирование структуры – это возникновение новых свойств и отношений в множестве элементов системы.

Теория – мысленная схема с допущениями, которые подбираются так, чтобы получилось согласие с экспериментальными данными; они содержат умозрительные идеи и общие подходы к решению разных проблем, и это позволяет отнести их к главным концепциям. Любая теория есть целостная развивающаяся систе-

ма истинного знания, которая имеет сложную структуру и выполняет ряд функций.

Выделяют следующие элементы теории: 1) *исходные основания* – фундаментальные понятия, принципы, законы, уравнения, аксиомы и т. п.; 2) *идеализированный объект* – абстрактная модель существенных свойств и связей изучаемых предметов; 3) *логика теории*, нацеленная на прояснение структуры и изменения знаний; 4) *совокупность законов и утверждений*, выведенных из основных положений данной теории в соответствии с определенными принципами. К числу основных функций теории относятся: 1) синтетическая – объединение отдельных достоверных знаний в единую, целостную систему; 2) объяснительная – выявление причинных и иных зависимостей, многообразия связей данного явления и т. п.; 3) предсказательная – предвидение, когда делают выводы о неизвестных ранее фактах, их свойствах; 4) методологическая – на базе теории формулируются разнообразные методы, способы и приемы исследовательской деятельности; 5) практическая – это руководство к действию по изменению реальной действительности.

Всякая теория должна удовлетворять трем условиям. Первое из них – самосогласованность. Теория не должна приводить к противоречащим друг другу выводам. Второе: первопринципы и фундаментальные законы теории должны давать возможность вычислять на их основе движение сложных систем и анализировать результаты любого эксперимента, имеющего к ней отношение в самом широком понимании, плюс еще она должна быть согласована с законами всех остальных областей физики. Третье условие простое и естественное: теория должна "соглашаться" со всеми уже проведенными опытными фактами; она должна объяснять все, что мы успели узнать у природы прямым опытом.

Научная теория дает последовательное описание тех или иных явлений природы, основанное на сумме не противоречащих друг другу принципов, выраженных преимущественно в математической форме. Цель теории заключается в создании модели определенной части физического мира; она сохраняет силу или, наоборот, отвергается в зависимости от своей пригодности. Чтобы определить, насколько модель близка к реальности, ученые ставят эксперименты. Если неоднократные опыты подтверждают точность модели, то доверие к теории растет, и она становится частью совершенного научного знания, оставаясь в этом качестве до тех

пор, пока ей на смену не придет улучшенная, более точная или более глубокая теория. Однако любую теорию невозможно подкрепить абсолютными доказательствами. Происходит лишь накопление доказательств, направленных на подтверждение одной теории и опровержение другой. "...Как бы ни была совершенна теория, она только приближение к истине" (А. Бутлеров).

Творчество – деятельность человека, направленная на создание новых по форме и содержанию материальных и культурных ценностей.

Умозрительные идеи – то, что рождается в голове человека. Они также могут быть полезными и остаются в силе до тех пор, пока мы помним о их статусе.

Универсум (от латинского – *единая Вселенная*) – понятие, обозначающее мир в целом и отождествляемое либо с видимой частью Вселенной, либо с ее духовной сущностью.

Чувство – способность живого существа ощущать, испытывать, воспринимать внешние воздействия, а также само ощущение; способность понимать на основе ощущений.

Факты – то, что получают в результате наблюдения, которое либо подтверждается, либо проверяется. Вся научная информация основана на наблюдениях и подвергается проверке. В науке наблюдения ограничиваются только ощущениями, получаемыми от пяти органов чувств: зрения, слуха, осязания, обоняния и вкуса. Все эти ощущения можно измерить и проверить. Но наши органы чувств могут обманывать нас. Факты должны быть повторяемы и воспроизводимы, т.е. не зависеть от того, когда, где и какими наблюдателями получены. Научные факты объективны из-за того, что они ограничены вещами и событиями, поддающимися наблюдению и исключению любой информации, которую нельзя проверить. Правила проверки справедливы на всех этапах научного метода. Это важнейший инструмент, позволяющий отделить точную информацию от неточной. Чтобы обсуждать – нужны факты. Важной характеристикой наблюдения является полнота учета, казалось бы, второстепенных обстоятельств. Чтобы наблюдение стало научным фактом, необходима уверенность, что описание обладает полнотой учета всех относящихся к данному явлению обстоятельств.

Формализация – подход в науке, который заключается в использовании специальной символики и знаковой системы, позво-

ляющей отвлечься от изучения реальных объектов и оперировать вместо этого некоторым множеством символов или знаков. Она создается для точного выражения мыслей с целью исключения неоднозначности понимания. На основе формализации создаются искусственные языки, используя которые, можно проводить исследования чисто формальным путем, оперируя только символами, без непосредственного обращения к объекту.

Флуктуации – случайные отклонения мгновенных значений величин от их средних значений, показатель хаотичности процессов на микроуровне системы.

Хаос – синоним случайности; состояние беспорядка и нерегулярности.

Частица – это нечто локализованное в пространстве. Движение частицы характеризуется траекторией; они не могут огибать препятствия. Простейший образ частицы – некий твердый мини-шарик, перемещающийся в абсолютно пустом пространстве. Противопоставление волн и частиц в классической физике есть метафизическое противопоставление прерывности и непрерывности. Частицы и волны – это предельно идеализированные случаи существования объектов природы. В "чистом" виде они существуют только как понятия.

Эволюция – отражает идею развития: процесс развития, изменения кого или чего-либо. В философии развитие рассматривается как процесс постепенного, непрерывного количественного изменения, подготавливающий качественные изменения. Происхождение всех ныне живущих видов от предковых за счет постепенного изменения популяций, обусловленного естественным отбором.

Необратимое и в известной мере направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, образованием и вымиранием видов и составленной ими биосферой в целом. Она определяется изменчивостью, наследственностью и естественным отбором, происходящими на фоне перемен в экосистемах и свойствах геосистем различного уровня. В ходе эволюции организмы и экосистемы приспособляются к постепенно меняющимся условиям среды – абиотической и биотической.

Экосистема – совокупность растений, животных и других организмов, взаимосвязанных между собой и с окружающей средой таким образом, что эта система сохраняет свою устойчивость

неограниченно долго. Экосистема Земли в целом самая крупная.

Экосфера – совокупность свойств Земли как планеты, создающих на ней условия для развития жизни.

Язык – система знаков, служащая средством человеческого общения, мышления, передачи социального опыта и т.п. С помощью языка осуществляется познание мира. Разделяется на “естественный” и “искусственный”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушевицкая Т.Г., Садохин А.П. *Концепции современного естествознания*. М.: Высш. шк., 1998.
2. Горелов А.А. *Концепции современного естествознания*. М.: ЦЕНТР, 1988.
3. *Концепции современного естествознания* /Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М.: ЮНИТИ, 1997.
4. Рузавин Г.И. *Концепции современного естествознания*. М.: ЮНИТИ, 1999.
5. Хорошавина С.Г. *Концепции современного естествознания*. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
6. Карпенков С.Х. *Концепции современного естествознания*. М.: ЮНИТИ, 1997.
7. *Концепции современного естествознания* /Под ред. С.И. Самыгина. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
8. Найдыш В.М. *Концепции современного естествознания*. М.: Гардарики, 1999.
9. Дубнищева Т.Я. *Концепции современного естествознания*. Новосибирск: ЮКЭА, 1997.
10. Потеев М.И. *Концепции современного естествознания*. СПб.: Питер, 1999.
11. Кокин А.В. *Концепции современного естествознания*. М.: Приор, 1998.
12. *Философия* /Под ред. В.П. Кохановского. Ростов-на-Дону: Феникс, 1995.
13. Кун Т. *Структура научных революций*. М.: Прогресс, 1975.
14. Гинзбург В.Л. *Как развивается наука? О физике и астрофизике*. М.: Наука, 1985. С. 233–255.
15. Фейнберг Е.Л. *Две культуры. Интуиция и логика в природе*. М.: Наука, 1992.
16. Вернадский В.И. *Философские мысли натуралиста*. М.: Наука, 1988.
17. Князев Е.Н., Курдюмов С. П. *Законы эволюции и самоорганизация сложных систем*. М.: Наука, 1994.
18. Николис Г., Пригожин И. *Познание сложного*. М.: Мир, 1990.
19. Пригожин И., Стенгерс И. *Время, хаос, квант*. М.: Прогресс, 1994.
20. Лопатников С. *Физики начинают и выигрывают. На бирже*// Поиск. 1997. Март–апр.
21. *Физический энциклопедический словарь*. М.: Большая российская энциклопедия, 1995.
22. *Энциклопедический словарь юного физика*. М.: Педагогика-Пресс, 1995.

23. *Современная философия: словарь и хрестоматия.* Ростов-на-Дону: Феникс, 1995.
24. Тарасов Л.В. *Современная физика в школе.* М.: Просвещение, 1990.
25. Небел Б. *Наука об окружающей среде.* М.: Мир, 1993 (Т.1).
26. Вайскопф В. *Физика в двадцатом столетии.* М.: Атомиздат, 1977.
27. Челноков М.Б. *Научное творчество и некоторые проблемы физики.* Ростов-на-Дону: Изд. Ростов. ун-та, 1992.
28. Хазен А.М. *О возможном и невозможном в науке.* М.: Наука, 1988.
29. Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н. *Естествознание.* М.: АГАР, 1996.
30. *Наука в изменяющемся мире // Наука и жизнь.* 1993. №1.
31. *Мир на пороге XXI столетия /Под ред. В.И. Купцова.* Чебоксары, 1993.
32. Мигдал А.Б. *Как рождаются физические теории.* М.: Педагогика, 1984.
33. Мигдал А.Б. *Квантовая физика для больших и маленьких.* М.: Наука, 1989 (библ. "Квант". Вып.75).
34. Баженов Л.Б., Морозов К.Е. *Философия естествознания* М.: Изд-во пол-лит. лит., 1966.
35. Спасский В.И. *Физика для философов.* М.: МГУ, 1989.
36. Фейнман Р. *Характер физических законов.* М.: Наука, 1987.
37. Сонин А. *Постижение совершенства.* М.: Знание, 1987.
38. Рыбин И.А. *Лекции по биофизике.* Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1994.
39. Капра Ф. *Дао физики.* СПб: ОРИС, 1994.
40. Кедров Б.М. *О великих переворотах в науке.* М.: Педагогика, 1986.
41. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. *Драма идей в познании природы.* М.: На-ука, 1988.
42. Брагинский В.Б., Полнарев А.Г. *Удивительная гравитация.* М.: Наука, 1985.
43. Вайнберг С. *Первые три минуты.* М.: Атомиздат, 1981.
44. Дэвис П. *Случайная Вселенная.* М.: Мир, 1985.
45. Новиков И.Д. *Эволюция Вселенной.* М.: Наука, 1990.
46. Хокинг С. *От большого взрыва до черных дыр.* М.: Мир, 1990.
47. Эткинс П. *Порядок и беспорядок в природе.* М.: Мир, 1987.
48. Волькенштейн М.В. *Энтропия и информация.* М.: Наука, 1986.
49. Фомин Ю. *Реальность невероятного.* Свердловск: Интербук, 1991.
50. Гейзенберг В. *Картина природы в современной физике// Природа.* (1987). №6.

51. Гейзенберг В. *Физика и философия. Часть и целое*. М.: Наука, 1989.
52. Моисеев Н.Н. *Универсальный эволюционизм // Вопросы философии*, 1991. №3.
53. Моисеев Н.Н. *Современный рационализм*. М.: МГВП КОКС, 1995.
54. Моисеев Н.Н. *Алгоритмы развития*. М.: Наука, 1987.
55. Пайтген Х.-О., Рихтер П. Х. *Красота фракталов*. М.: Мир, 1993.
56. Галиулин Р. *От мавританских орнаментов к фракталам // Наука и жизнь*. 1995. №8.
57. Козинцев С. *Ландшафты фрактальных миров// Наука и жизнь*. 1995. №12.
58. Пойзнер Б.Н. *Синергетика как фактор модернизации образования. Процессы обновления содержания естественно-научного образования// Материалы Российской научно-педагогической конференции, 29–31 марта 1999 г., Красноярск, 1999. С. 1-11.*
59. Романовский Ю.М. *Процессы самоорганизации в физике, химии и биологии*. М.: Знание, 1981.
60. Подольский Р. *Нечто по имени ничто*. М.: Знание, 1981.
61. Данин Д. *Вероятностный мир*. М., 1981.
62. Рьдник В.И. *Поле*. М.: Знание, 1976.
63. Потемкин В.К., Симанов А.Л. *Пространство в структуре мира*. Новосибирск: Наука, 1990.
64. Френкель В.Я., Чернин А.Д. *От альфа-распада до Большого взрыва*. М.: Знание, 1990.
65. Хегеле П.К. *Рассчитан ли космос на человека// Поиск*. 2001, №5, 2 февр.
66. Кузин А. *Антропный принцип – что это такое // Квант*. 1990. №7.
67. Ахиезер А.И., Рекало М.П. *Современная естественно-научная картина мира*. М., 1990.
68. Саймон и Жаклин Миттон. *Астрономия*. Оксфордская библиотека. М.: РОСМЭНБ, 1995.

Василий Григорьевич Архипкин
Владимир Павлович Тимофеев
Естественно-научная картина мира
Учебное пособие

Лицензия РЛ № 020372 от 29 января 1997 г.

Подписано к печати _____ 2002 г. Формат 60× 84/16.

Бумага типографская. Печать офсетная.

Уч.-изд.л.19.1. Усл. печ.л. 19.5. Тираж 450 экз.

Заказ №

Издательский центр

Красноярского госуниверситета.

660041 Красноярск, пр. Свободный, 79