

С. В. БОНСОВСКИЙ

СОВРЕМЕННАЯ

**ЕСТЕСТВЕННО-
НАУЧНАЯ**

**КАРТИНА
МИРА**

Springer Series in
Solid-State Sciences 73

S. V. Vonsovsky
M. I. Katsnelson

**Quantum
Solid-State Physics**



Springer-Verlag

W. W O N S O W S K I

WSPÓŁCZESNA
NAUKA
O MAGNETYZMIE

С. В. ВОНСОВСКИЙ
МАГНЕТИЗМ
МИКРОЧАСТИЦ

С. В. Вонсовский

**Современная
естественно-научная
картина мира**



**Екатеринбург
2005**

УДК 53
ББК 22.3
В73

В73 Вонсовский С.В.

Современная естественно-научная картина мира. – Екатеринбург: Изд-во Гуманитарного ун-та, 2005. – 680 с.

ISBN 5-901527-39-9

В учебном пособии излагаются основные представления современной естественно-научной картины мира. Детально рассмотрены важнейшие физические законы микро- и макромира в форме, доступной для широкого круга читателей. Большое внимание уделено как классическим вопросам, так и последним достижениям науки. Обсуждаются связи физики с другими естественными науками, техникой и гуманитарными дисциплинами.

В дополнении В.Ю.Ирхина и М.И. Кацнельсона дан сравнительный анализ современных научных результатов и традиционных философских и духовных концепций.

Для студентов, аспирантов и научных сотрудников гуманитарных и других специальностей высших учебных заведений. Книга также может быть полезна всем, интересующимся современной наукой и стремящимся расширить свой кругозор.

**УДК 53
ББК 22.3**

Издание осуществлено при участии
Института физики металлов
Уральского отделения
Российской Академии наук
и Уральского государственного
университета имени А.М.Горького

ISBN 5-901527-39-9

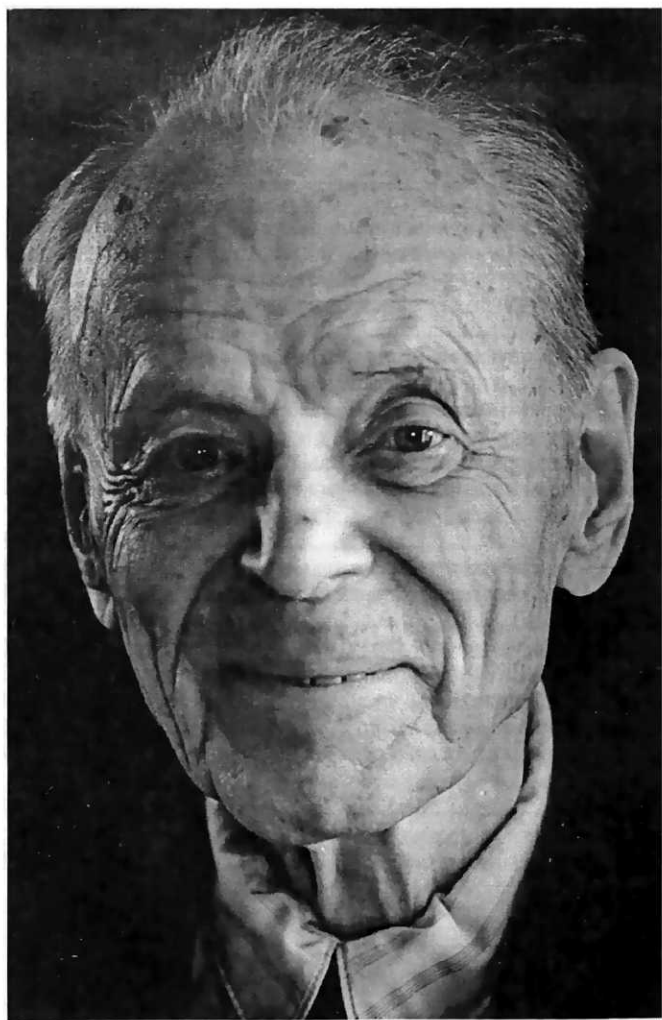
© С.В.Вонсовский, 1998
© Наследники С.В.Вонсовского, 1998
© Дополнение.
В.Ю.Ирхин, М.И.Кацнельсон, 2002
© Оригинал-макет.
Гуманитарный ун-т, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА.....	7
ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.....	7
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. <i>Современные физические представления об атомном и субатомном мирах</i>	13
1.1. Зарождение атомистических представлений в античной науке	16
1.2. Два направления античного атомизма: Левкипп, Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар, Платон	19
1.3. Атомистика в Новом времени	25
1.4. Периодический закон химических элементов Менделеева	31
1.5. Атомизм в новой физике	35
1.6. Экспериментальное доказательство реальности атомизма – броуновское движение	41
1.7. Открытие субатомного мира: опыты Фарадея по электролизу	45
1.8. Открытие катодных лучей – потоков электронов; их изучение и определение удельного заряда электрона	48
1.9. Основы электронной теории металлов. Опыты Стюарта и Толмена	52
1.10. Рентгеновские лучи, их получение и исследование. Опыты по определению электрического заряда электрона	62
1.11. Открытие и изучение явления радиоактивности	77
1.12. Теория излучения света. Гипотеза Макса Планка о кван- тах света. Квантовая теория фотоэффекта по Эйнштейну	87
1.13. Ядерная модель атома, опыты Резерфорда. Полуклассическая теория атома Бора	94
1.14. Идеи де Бройля. Элементы квантовой механики	101
1.15. Квантово-механическое объяснение периодического закона химических элементов Менделеева	108
1.16. Соотношение неопределенностей Гейзенберга и принцип дополнительности Бора	118
1.17. Математический аппарат квантовой механики	126
1.18. Релятивистская квантовая механика Дирака. Предсказание и открытие античастиц	132
1.19. Строение атомного ядра	136
1.20. Ядерная энергетика. Ядерные процессы в звездах и космические лучи	144
1.21. Открытие нейтрино и антинейтрино. Эффект Комптона. Механизм ядерных сил	155

1.22. Классификация элементарных микрочастиц. Новые квантовые числа в мире микрочастиц	171
1.23. Фундаментальные взаимодействия микрочастиц. Адроны и лептоны, барионы и мезоны	188
1.24. Внутренняя структура адронов. Гипотеза кварков, глюонов. Четность C , зарядовое сопряжение P и изменение T . CPT -инвариантность	200
1.25. Законы сохранения в микромире	211
1.26. Природа физического вакуума	217
ГЛАВА 2. О некоторых важнейших представлениях макрофизики и физики Космоса	223
2.1. Понятия пространства и времени в макрофизике, их топологические и метрические характеристики. Ньютонов- ская картина абсолютного пространства-времени. Опыт Майкельсона-Морли и его отрицательный результат	226
2.2. О теории электромагнетизма и магнитных свойствах вещества	237
2.3. Некоторые применения квантовой механики в макрофизике. Электронная теория твердых тел	260
2.4. Несимметричность времени. Термодинамика и ее основные понятия	276
2.5. Колебания кристаллической решетки. Сверхпроводи- мость и сверхтекучесть	287
2.6. Элементы специальной теории относительности	309
2.7. Теория гравитации (общая теория относительности), ее опытная проверка	326
2.8. Основные сведения о космологии. Красное смещение в спектрах звезд. Решение уравнений теории тяготе- ния Фридманом и его модели эволюции Вселенной	339
2.9. Современные представления об эволюции Вселенной. Теория Большого взрыва и горячей Вселенной	350
2.10. О связи законов сохранения со свойствами симметрии пространства-времени	362
2.11. Проблема объединения фундаментальных взаимодей- ствий микрочастиц. Теория суперсимметрии и суперструн ...	365
ГЛАВА 3. Связь физики с другими естественными и гуманитарными дисциплинами. Некоторые общие проблемы современной науки и культуры.....	377
3.1. Связь физики с химией	380
3.2. Связь физики с биологией	385
3.3. Связь физики с геологией и геофизикой	403
3.4. Связь математики и физики с социальными и гуманитарными науками	407

3.5. Связь физики с техникой	419
3.6. Электронно-вычислительные методы. Компьютеры и кибернетика	424
3.7. Проблемы синергетики	427
3.8. О проблемах экологии	432
3.9. О зарождении органической жизни на Земле	437
3.10. Место человека во Вселенной	439
<i>Литература</i>	446
ДОПОЛНЕНИЕ	
<i>В.Ю. Ирхин, М.И. Кацнельсон.</i>	
<i>Естественно-научный и гуманитарный подходы к современному мировоззрению</i>	
	447
ПРЕДИСЛОВИЕ	
	449
Введение	
	451
1. Западная научная картина мира	
	458
1.1. Наука средневековья и переход к Новому времени	
	460
1.2. Современная наука	
	474
1.3. Критерии истинности в научном исследовании	
	486
2. Атомизм и первоэлементы	
	504
3. Квантовая механика: проблема субъекта и объекта	
	529
4. Энергия	
	558
5. Пространство	
	580
5.1. Понятие пространства и взаимодействие	
	581
5.2. Пространство и сознание человека	
	594
6. Время	
	609
6.1. Творение, цикличность и начало времени	
	609
6.2. Необратимость и трагедия времени	
	635
6.3. Эволюция и конец времени	
	647
Заключение	
	661
Литература	
	671
ОБ АВТОРЕ	
	679
SUMMARY	
	680



ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

К несчастью, смерть помешала Сергею Васильевичу Вонсовскому завершить работу над своей последней книгой. Несмотря на некоторую неоднородность материала, при редактировании рукописи я старался по возможности избежать сокращений (за исключением стандартных рабочих деталей математических выкладок) и ограничиться минимальными исправлениями. Нам казалось принципиальным сохранить особенности стиля книги, поскольку ее содержание важно не только с учебной точки зрения, но и как свидетельство духа безвозвратно уходящего времени. Хотя некоторые освещенные в книге вопросы можно найти в классических учебниках, изложение часто имеет оригинальный характер. Ряд разделов, которые могут составить трудности для гуманитариев (либо быть пропущенными при первом чтении), выделены при изложении материала другим шрифтом.

В.Ю. Ирхин

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

В этой книге изложено содержание курса лекций об основных представлениях современного естествознания, в основном, физики, касающихся учения о природе окружающего нас мира. Кратко затронуты вопросы истории и экспериментального обоснования открытых законов. Изложение весьма строгое, но не перегружено сложным математическим аппаратом.

В начале речь идет о структуре и свойствах атомных и субатомных микрочастиц, а также о физическом вакууме. Значительное место уделено проблемам квантовой физики. Далее рассматриваются макропредставления о структуре материи, о понятиях пространства-времени, об архитектуре и эволюции Вселенной. Дается представление об основных законах электродинамики, термодинамики, теории относительности. Затем идут сведения о связи физико-математического цикла наук с другими естественными науками – химией, биологией, геологией. Обсуждаются проблемы связи физики с техникой и с гуманитарными науками. Отдельно рассматриваются вопросы экологии, синергетики, компьютеризации и проблема о месте человека во Вселенной.

ВВЕДЕНИЕ

Курс лекций «Современная естественно-научная картина мира» рассчитан на слушателей гуманитарных специальностей в высших учебных заведениях. Он предполагает, что слушатели знакомы с физикой и математикой в объеме средней школы и с начальными элементами высшей математики, которая введена в программы гуманитарных вузов.

Курс будет посвящен изложению основных концепций современного естествознания, касающихся учения о природе окружающего нас мира, об иерархии структурных элементов материи, о микро-, макро- и мегамире, о специфике неорганического и животного мира, о месте человека во Вселенной и об ее эволюции.

Разделение наук на естественные, технические и гуманитарные вызвано, конечно, не какими-то принципиальными различиями, а скорее, сложившимися исторически процессами их специализации и профессионализации. Акценты, которые делались в них на ту или иную специальность, и привели к некой односторонности при обучении естественников и гуманитариев. Однако мы никогда не должны забывать об основной сути всех этих научных направлений: они описывают единый мир природы, лишь частями которого являются неорганический и органический миры и человеческое общество. Это *единство* мира приводит в настоящее время к необходимости объединения всех направлений в знании человека, хотя казалось бы, что специализация наук поставила между ними непроницаемые барьеры или вырыла какие-то глубокие пропасти.

Актуальной задачей современного этапа развития человеческой культуры, является разрушение таких барьеров или наведение мостов через эти мифические пропасти. В облас-

ти естественных наук, где между различными дисциплинами было тоже кажущееся, якобы принципиальное различие, устанавливается некое своеобразное единство, например, путем возникновения *промежуточных* дисциплин, таких как химическая физика, биофизика, геофизика и т. п., что приводит к резкому переходу во всем естествознании от описательного, качественного этапа к строго количественному с использованием всей мощи современного математического аппарата. Такая же тенденция наблюдается и в социальных и гуманитарных науках: уже создан целый комплекс наук по экономической кибернетике, где применяется сложнейший математический аппарат. И даже в таких далеких, казалось бы, от математики науках, как филология и история, имеется совершенно явное стремление к разработке специального математического подхода, что заставляет нас всячески способствовать указанному прогрессивному процессу объединения наук. Этой задаче и служит настоящий курс лекций, введение которого в программы обучения в гуманитарных вузах является чрезвычайно актуальным и своевременным.

Следует еще добавить, что такого рода лекции ставят перед собой две основных цели:

1. Дать возможность слушателям использовать некоторые результаты и методы естествознания (в основном, физики) в своей будущей профессиональной деятельности.
2. Сформулировать у студентов-гуманитариев правильное и достаточно полное представление о естественно-научной картине мира.

Первая цель вполне понятна и может быть решена самими слушателями. Целесообразность второй цели заключается в том, что успехи естествознания, особенно в последнее время, представляют собой достижения общечеловеческой культуры, которые надо знать любому образованному человеку, тем более с высшим образованием.

Приобщение к этим ценностям культуры может дать свой толчок к творческой деятельности гуманитариев в их собственной профессиональной области. Знакомство с естественно-научной культурой будет также способствовать развитию логически стройного и аналитически глубокого мышления. Многие глобальные проблемы, рассматриваемые в социальных и гуманитарных науках (от философии до эстетики и лингвистики), настоятельно требуют обращения к последним сведениям науки о Космосе, структуре микромира,

кибернетике, синергетике и т. д. Знакомство с историческим развитием естествознания и техники может привести гуманитариев к интересным корреляциям с историей общественных отношений, а также с историей развития их собственных конкретных научных направлений. Достаточно строгое, лишенное какого-либо намека на упрощенчество знакомство с естествознанием также может быть важным элементом в борьбе образованных гуманитариев с различными, становящимися в последнее время модными псевдонауками вроде оккультизма, со всевозможными «средневековыми» суевериями, с ложной постановкой проблемы НЛО и т. д.

Предлагаемый курс лекций разбит на три раздела. В *первой* части дается достаточно полное представление о состоянии современной физической науки, о структуре и свойствах *микромира* – мира атомов и субатомных частиц, а также о «физическом вакууме». При этом изложение не загружено сложным аппаратом математических выкладок современной теоретической физики. Однако само качественное изложение весьма строгое и лишено какого-либо намека на вульгаризацию.

Во *второй* части курса речь будет идти о *макроскопических* представлениях: структуре материи, понятиях пространства и времени, об электродинамике и термодинамике, о теории относительности, а также достаточно подробно – о наших современных представлениях об архитектуре Космоса и его эволюции. Особый акцент делается на космологических проблемах, поскольку правильное знакомство с их основами играет важнейшую роль в формировании нашего мировоззрения.

Третья часть курса тоже очень важна для гуманитариев, поскольку она дает знакомство с общими принципами связи физики и математики с другими естественными науками – химией, биологией и геологией, в которых за последнее время произошел переход от описательного этапа в их развитии к строго количественному подходу решения соответствующих проблем. Это наиболее ясно проявляется в упоминавшемся выше процессе рождения промежуточных наук. Кроме того, в третьей части дается изложение важнейшей связи физики с техникой, а также, что представляется особенно важным для гуманитариев, связи естествознания с социологическими и гуманитарными науками. Отдельно рассматриваются вопросы экологии, кибернетики, компью-

теризации, синергетики и проблема о месте человека во Вселенной.

Физика и математика уже давно тесно связаны между собой, они являются фундаментом вообще всех научных знаний о мире. В настоящее время их влияние усилилось во всех науках – естественных, социальных и гуманитарных.

«Первичной» естественной наукой является математика, которая рассматривает чисто количественные связи в природных явлениях и в человеческом обществе. Для этого она отвлекается от конкретного содержания изучаемых объектов, интересуясь лишь числами. Элементарная математика – арифметика, алгебра, геометрия и тригонометрия изучают самые простые количественные соотношения. Более сложными являются количественные характеристики, которые описываются высшей математикой – математическим анализом, аналитической и дифференциальной геометрией, теорией групп, теорией чисел, математической логикой и другими разделами современной высшей математики.

Прогресс в математике теперь определяется не только логикой ее собственного развития, но и требованиями со стороны. Например, это могут быть запросы физики, а теперь и многих других естественных, социальных и гуманитарных наук, в которых перед математикой ставятся новые конкретные задачи. Но при этом новое не меняет абстрактного характера математики, отражая только чисто количественные отношения в соответствующих явлениях и процессах природы и общества. В качестве примера собственного развития математики можно привести появление в ней теории групп, которая вначале была открыта математиками и не связывалась с какими-либо конкретными явлениями в природе. И только потом физики нашли для этой абстрактной математической дисциплины широкое поле применений в кристаллографии, квантовой механике и т. д. Точно так же неевклидова геометрия была открыта русским ученым Н. Лобачевским в самой математике, и казалось, что она весьма далека от реальной действительности. Только потом физики, в связи с созданием теории относительности, поняли, что она отражает вполне реальные материальные отношения в природе. Примером другого типа, когда математические разработки индуцируются запросами извне, может быть теория микроявлений в современной физике, которая непрерывно предъявляет свои требования к развитию новых раз-

делов математики. В целом прогресс в математике очень важен для развития всей нашей цивилизации.

Физика, в отличие от математики – вполне конкретная наука, которая математическим языком формулирует свои объяснения явлений и процессов в природе. При этом она, в отличие от других наук, изучает наиболее *глубинные*, элементарные явления в мире атомных и субатомных частиц, лежащие в основе строения всех тел природы. Здесь физика, как и математика, несколько абстрагируется от сугубо специфических особенностей отдельных объектов природы, рассматривая лишь наиболее общие типы тел и процессов, а также вопросы о структуре пространства и времени и проблемы эволюции Вселенной.

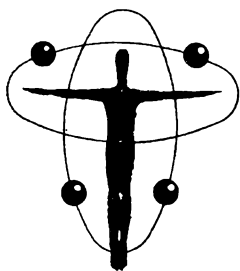
Отметим, что математика и физика имеют важное значение в развитии всей современной цивилизации – обе эти науки являются фундаментом всей современной техники и технических наук. Мы – свидетели того, как из физики рождаются новые отрасли техники, когда, например, по «вине» физики атомного ядра возникли ядерная энергетика с ее атомными электростанциями и полупроводниковая и лазерная техника.

Обратим внимание на важную роль физики в философских проблемах, т. к. уже в античную эпоху физика была рядом с философией: недаром античных ученых называли *натурфилософами*. Ниже мы неоднократно будем касаться связи физики как с техникой, так и философией.

Глава 1

СОВРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АТОМНОМ И СУБАТОМНОМ МИРАХ





В этом разделе дадим доступное, в основном качественное изложение фундаментальных проблем современной физики атомных и субатомных явлений, которые, вместе с тем, по словам знаменитого физика-теоретика Ричарда Фейнмана, «очень трудные для понимания».

По всей видимости, проблемы строения тел окружающего нас мира возникли практически одновременно в различных областях Земли: в Китае, Индии, Месопотамии и в Средиземноморском бассейне. Так, например, в Китае о структуре материи ученые задумывались еще 4500 лет тому назад. У китайских натурфилософов и тогда возникали определенные представления о фундаментальных структурных составляющих материи в результате простых наблюдений, а не сознательно поставленных физических экспериментов. Здесь, по-видимому, с самого начала родилось два направления, описывающих строение окружающего нас мира. Согласно одному из них, материю считали дискретной, т.е. построенной из наименьших по размерам и массе частиц. По второму же, альтернативному представлению материя была непрерывной, т.е. бесконечно делимой. Около 3000 лет тому назад в Китае идеи о строении вещества получили свое дальнейшее развитие. Китайские натурфилософы того времени считали, что существует материя двух типов, именуемая терминами «инь» и «янь», или положительная и отрицательная. В рукописях эти символы изображались либо сплошной линией, либо пунктиром. Такого же рода идеи разрабатывались и в Индии, и в Месопотамии, т.е. в Ассирии и Вавилоне. В наше время мы достаточно полно знаем об этих первых представлениях о структуре тел в природе из истории античной науки. На них сейчас и остановимся.



1.1. Зарождение атомистических представлений в античной науке

Идея атомизма родилась и вполне оформилась в античном мире примерно около 2500 лет тому назад. Античные поселения греков в основном были расположены на побережье Средиземного моря, так как между населенными пунктами можно было легко общаться путем морского судоходства. Одна из первых научных школ в античном мире возникла в городе Милете в VI веке до н. э., на берегу Эгейского моря на полуострове Малая Азия. Во главе этой школы стоял Фалес Милетский, в неё входили только его ученики и последователи – Анаксимандр и Анаксимен. Они были первыми создателями астрономических, математических и физических научных гипотез, считая, что в природе существует *четыре стихии: земля, вода, воздух и огонь*.

Сам же Фалес считал первоисточником всего *воду*. По-видимому, здесь сыграло роль то, что Милет был приморским городом. По Анаксимандру, первичной является не одна из четырех стихий, а некая качественно неопределенная материя «*апейрон*». Он также был создателем одной из первых гелиоцентрических космологических гипотез и впервые высказал предположение об эволюции в живом мире, например, что человек произошел от рыбы. В соответствии с идеями Анаксимена все сущее происходит из стихии *воздух* и обратно в нее возвращается, причем воздух бесконечен, вечен и подвижен. Сгущаясь, он создает облака, потом воду и, наконец, землю, а разрежаясь, превращается в огонь. В какой-то степени он предвосхитил идею перехода количества в качество. Далее, он считал, что звезды – это огонь, но они очень далеко находятся от нас, поэтому мы не чувствуем их тепла. Здесь он был не согласен со своим учителем, который считал, что звезды ближе расположены к нам, чем планеты. Кроме того, Анаксимен впервые дал близкое к истинному объяснение затмению Луны и Солнца. Отметим, что в этой древнейшей материалистической философской школе еще нет намека на атомизм.

Первые проблески атомизма появились у другого древнегреческого натурфилософа Анаксагора (500–428 гг. до н. э.) из города Каломея в Малой Азии, откуда он перебрался в



Афины и в течение 30 лет был советником и другом Перикла (который в эти годы был вождем афинской рабовладельческой демократии). В качестве начала всего сущего в мире Анаксагор признавал бесконечное множество качественно определенных элементов материи, из сочетания которых, по его мнению, происходит все многообразие вещей в природе. Эти первичные «семена тел», как их именовал ученый, отличаются еще от атомов Демокрита своей качественной определенностью и разнородностью, а также бесконечной делимостью.



Анаксагор был непоследовательным материалистом, ибо первоначальной движущей силой в природе считал «нус» – ум, который мыслился им как самое тонкое и самое чистое из всех тел природы и который приводит все семена в движение, но все дальнейшее происходит чисто механически. Анаксагор первым ввел понятие бесконечно большого и бесконечно малого и разработал проблему перспективы. В своей теории он высказал определенные предположения о строении материи: (1) о существовании упомянутых семян – бесчисленных и *подобночастных*; (2) о наличии противоположных качеств: светлого и темного, сухого и влажного, теплого и холодного и т. д. Повторяем, что его семена – это частицы, но с качественно определенными свойствами, подобными свойствам самих веществ, ими образуемых, т. е. обладающих вкусом, запахом и т. д. Кроме семян, в природе существуют те же, что и у милетских натурфилософов, четыре стихии, заполняющие все пространство в мире. В зависимости от того, в какой стихии находятся семена, они приобретают соответствующее качество, а отсюда уже один шаг до атомизма Демокрита и Платона.

Важно упомянуть и пифагорейскую школу греческих натурфилософов (580–400 гг. до н. э.). Основатель школы Пифагор и его последователи высказывали замечательную идею, что все явления природы подчиняются строго математическим закономерностям, как и числа. Это была первая гениальная догадка о материальности математики и ее

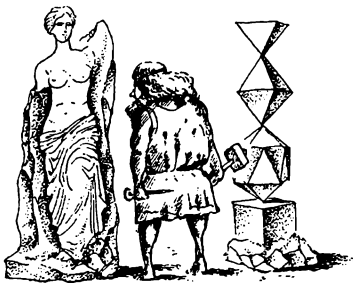


фундаментальной роли в объяснении всего сущего в мире, в чем Пифагор и его школа близки к современной оценке роли математики в науке. Истина, что математика связана (несмотря на свою абстрактность) с природой, таким образом, уже была добыта греками – Пифагором, а затем Евклидом. Все достижения науки в Новом времени, связанные с такими именами ученых, как Исаак Ньютон, явились в определенном смысле продолжением учения Пифагора и Евклида.

Открытие Пифагором и его школой значения математики в описании природных явлений привело к ее необычайному развитию в античную эпоху. Из трудов Аристотеля, дошедших до нас, можно понять, что пифагорейцы открыли связь математики с реальной действительностью, теперь так хорошо понятную для нас. В пестром многообразии природных явлений и процессов лежит единый математический принцип числа и формы. Именно по такому пути, установленному еще античными учеными, пошли много лет спустя Галилей, Ньютон и другие ученые. Занимаясь, кроме самой математики, еще и музыкой, пифагорейцы нашли, что при одинаковом натяжении струн гармонические созвучия появляются только тогда, когда длины струн относятся друг к другу как целые числа. Увидев в числах свойства и причины гармонии, они пришли к мысли, что Космос и вся Вселенная – это великая гармония чисел.

1.2. Два направления античного атомизма: Левкипп, Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар, Платон

После перечисленных выше работ греческих ученых оставалось сделать всего два шага на пути создания атомистики. Основателем этого важного направления античной науки был Левкипп (500–440 гг. до н. э.). Долгое время его считали мифической личностью, и лишь из недавно найденных папирусов было установлено, что он действительно жил и был учителем Демокрита. Поэтому теперь с полным правом можно считать именно Левкиппа основателем греческой атомистики.



По Левкиппу, мир состоит, во-первых, из *атомов*, вечно движущихся, однородных по качеству, но бесконечно разнообразных по форме и неделимых, во-вторых, из *пустоты*, в которой они двигаются. Разнообразие форм атомов, положение в пустоте и порядок их соединения создают все разнообразие веществ в природе. По-видимому, он же установил, что во Вселенной господствует принцип *причинности* и закон *достаточного основания*, согласно которым ничто в мире не возникает без причин, и только в силу определенной необходимости. Он был, таким образом, последовательным материалистом. Его ученик Демокрит (460–370 гг. до н.э.), как и учитель, происходил из города Абдеры во Фракии (северо-восток Греции) и был величайшим греческим натурфилософом. По словам Карла Маркса, он является первым энциклопедическим умом античного мира. Именно Демокриту принадлежит детальная разработка начального этапа античной атомистики. Хотя его теория является детищем V века до н.э., в ней были четко сформулированы принципы атомизма.

Согласно учению Демокрита, все тела в мире состоят из мельчайших, конечных по размерам и неделимых (отсюда



сам термин – атом, т.е. неразрезаемый или неделимый) частиц – атомов. Атомы различного объема, формы и расположения не обладают свойствами образованных из них тел – макровеществ, которые мы воспринимаем нашими несовершенными органами чувств, благодаря действию истекающих из тел тонких «идолов». Чувственные восприятия дают лишь «темное» знание о вещах, но над ним возвышается «светлое» знание, ведущее из темноты. Так Демокрит поставил проблему соотношения чувственных восприятий и разума в процессе познания. Движение, возникновение и разрушение макротел – это результат движения атомов, но для их движения обязательно нужна пустота, которая является вторым основным элементом материи.

В IV веке до н.э. представления Левкиппа и Демокрита развил другой греческий натурфилософ – материалист и атеист Эпикур (311–270 гг. до н.э.). Сведения о нем дошли до нас в сохранившейся в целости поэме римского ученого и поэта Лукреция Кара под названием «О природе вещей». Из нее мы узнаем, что в основу греческой атомистики положены три главных принципа:

1. Ничто не рождается из ничего, что по сути является первой формулировкой закона сохранения материи.

2. В природе идет непрерывное превращение веществ, т.е. происходят процессы их возникновения и разрушения – основным свойством материи является ее движение.

3. Для движения атомов необходима пустота.

В то время, конечно, не было сколько-нибудь обоснованного эксперимента, но, как видно из поэмы Кара, было много разумных наблюдений над телами и процессами, происходящими с ними в природе.

В античной атомистике ничего не говорилось о силах взаимодействия между атомами и вообще не было речи о действии на расстоянии, хотя грекам были уже известны явления магнетизма и действие магнитного притяжения и индукции. Для объяснения высокой прочности некоторых тел, например, алмаза, греческие ученые считали, что у атомов этих тел имеются крючочки, которыми атомы скрепляются между собой. Чтобы объяснить возможность образования и разрушения различных тел, Эпикур высказал мысль о том, что падение атомов под действием силы тяжести, которое считалось до него прямолинейным, фактически в телах меняется на криволинейное, что и позволяет атомам образо-



вывать и разрушать тела. Этой гипотезой Эпикур дал более глубокий взгляд на соотношение необходимости и случайности (между прочим, Демокрит напрочь отрицал объективный характер случайности, считая ее лишь признаком нашего незнания). Несмотря на прогрессивный характер идеи Эпикура о непрямолинейности в движениях атомов, она была подвергнута уничтожающей критике со стороны римского поэта Цицерона.

Второе направление в античной атомистике связано с именем Платона (427–347 гг. до н.э.), который жил в Афинах в то время, когда город, ослабленный многочисленными войнами, находился в упадке. Платон хотел спасти Афины и около 377 года до н.э. основал для этого специальную философскую школу, получившую название «платоновской Академии». Она существовала и после смерти Платона и до 592 года н.э. была центром всей интеллектуальной жизни Афин. Школу закрыл христианский император Рима Юстиниан, посчитавший её языческим учреждением.

Платон сам не был специалистом-математиком, но хорошо знал математику того времени, уделял ей большое внимание и всячески способствовал ее развитию и изучению. Будучи по своим философским убеждениям учеником хорошо известного философа Греции Сократа (469–399 гг. до н.э.), Платон также не был в полной мере атомистом. Однако в своем знаменитом Диалоге «Тимее» он достаточно подробно изложил свою оригинальную концепцию атомистики, выступая явным сторонником «атомизма», отличного от демокритовского.

Отметим, что долгое время его диалог «Тимей» был предметом внимания почти исключительно гуманитарных наук. Поэтому замечательные по тому времени атомистические представления Платона находились практически в полном забвении. Физики поняли значение атомистических идей Платона в значительной степени случайно, это произошло только в двадцатых годах XX века. Именно тогда важность замечательного предвидения, а по существу гениальной догадки Платона, начал понимать гимназист, будущий великий физик-теоретик современности Вернер Гейзенберг. На крыше одного мюнхенского дома, где юный гимназист вел дежурство, будучи мобилизованным в армию, готовился одновременно к гимназическим экзаменам по греческому языку, он читал именно диалог «Тимей». Именно тогда он



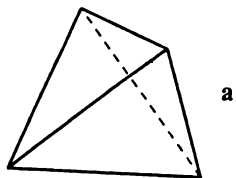
впервые глазами будущего физика увидел идеи Платона о строении атомов вещества, которые, в отличие от бесструктурных атомов Левкиппа-Демокрита-Эпикура, Платон представлял себе в виде правильных геометрических тел-многогранников.

Таким образом, Платон внес в атомистику математическое (геометрическое) содержание. Несмотря на колоссальные успехи, которых достигла современная атомистика, особенно в области субатомного строения микрочастиц, и позже, когда Гейзенберг стал знаменитым физиком, он посчитал, что структура атомов-многогранников по Платону гораздо ближе к современным представлениям и к истине, чем бесструктурные и неделимые атомы Демокрита. Именно в *математическом* подходе Платона к атомистике Гейзенберг увидел преимущества его учения об атомах. Платон, естественно, учитывал существование в природе четырех стихий, о которых мы уже говорили. Заметим, что другой замечательный греческий учёный-диалектик – Гераклит из Эфеса – предполагал, что первоосновой в природе является не вода, а *огонь*. Гейзенберг считает, что этим Гераклит созвучен современной науке, если его огонь отождествить с нашим представлением об энергии как мере движения материи.

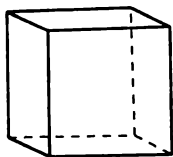
Платон, в отличие от прежних ученых, ввел в атомистику понятия геометрической симметрии. Конкретно, у Платона атомы четырех стихий – это четыре *элементарных многогранника*, которые изображены на *рис. 1а-г*. Выбирая такую геометрическую модель атомов четырех стихий, Платон в своем «Тимее» подчеркнул, что грани всех этих многогранников могут быть построены из комбинаций – либо двух прямоугольных треугольников, с гипотенузой вдвое длиннее меньшего катета, либо из равнобедренных прямоугольных треугольников.

В *первом* случае можно построить *тетраэдр*, который, по Платону, представляет собой структуру атома огня. Каждая грань его состоит из двух прямоугольных треугольников, соединенных большими катетами. Все четыре грани тетраэдра, как видно из *рис. 1а*, соединены гипотенузами. Сами же четыре грани тетраэдра суть равносторонние треугольники.

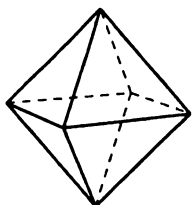
Второй тип многогранников – *октаэдр*. Он строится из таких же треугольников, но теперь в один узел соединяются четыре равносторонних треугольника со стороной,



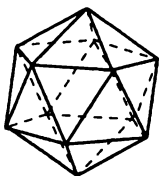
а



б



в



г

Рис. 1. Модели атомов различных стихий по Платону:

- а) огня – тетраэдр;
- б) земли – куб;
- в) воздуха – октаэдр;
- г) воды – икосаэдр.

равной гипотенузе. Среднее сечение многоугольника является квадратом со стороной, равной также гипотенузе (см. рис. 1в).

Третий способ построения граней из прямоугольных треугольников с гипотенузой, равной удвоенному меньшему катету, требует уже 120 треугольников и 12-ти объемных углов, каждый из которых охвачен пятью равносторонними треугольниками, так что весь многогранник имеет 20 треугольных граней. Такой многогранник называется **икосаэдром**, он ближе всего к сфере, и поэтому Платон считал его моделью атома воды (см. рис. 1г).

Теперь осталось рассмотреть второй тип комбинаций из **равнобедренных** прямоугольных треугольников, прямые углы которых встречаются в одном центре (центре грани) и образуют квадрат: Из сложения шести квадратов возникает восемь объемных углов, каждый из которых охватывается тремя плоскими прямыми углами. В результате мы получаем **куб** (см. рис. 1б), который, как наиболее устойчивый, изображает атом **земной** стихии.

В связи с этим Гейзенберг в своих статьях по философии естествознания и физике подчеркивал роль в платоновских построениях идеи первенства формы и математической сим-



метрии. Платон весьма своеобразно трактовал поверхности своих моделей атомов различных стихий. По мысли Платона, треугольники, которые образуют поверхность, сами не являются материальными образованиями и не существуют самостоятельно, это лишь «идеи» о поверхности многогранников, математическая форма, которая дает атомам возможность превращаться из одних в другие.

На указанный аспект платоновских моделей, отличающих подход к атомистике Платона от подхода Демокрита, обратил особое внимание русский физик Я.Г.Дорфман в своей книге по истории физики, подчеркнув, что превращение одного многогранника в другой сводится просто к изменению числа треугольников, образующих их поверхность. Точно так же, согласно современным воззрениям, двигающиеся микрочастицы могут не только разлетаться в разные стороны, но и превращаться в другие микрочастицы, конечно, подчиняясь определенным законам сохранения, например, энергии или импульса, о чем речь будет идти впереди. Платон, разумеется, не знал истинной симметрии своих треугольников в конкретной форме, но еще 2500 лет тому назад, без сколько-нибудь развитого физического эксперимента, он тем не менее правильно угадал роль математической симметрии в атомных процессах взаимодействия. Гейзенберг неоднократно подчеркивает, что современная физика выступает против механистической теории Левкиппа-Демокрита-Эпикура и принимает точку зрения Платона и пифагорейцев, несмотря на их идеализм.

Однако в античные времена идеи Платона подвергались жестокой критике, например, в сочинениях такого великого ученого древней Греции, как Аристотель (384–322 гг. до н.э.). В его трудах учение Платона, и вместе с ним вся атомистика в целом, по причине отсутствия какого-либо опытного наглядного доказательства существования атомов, неделимых и делимых, отвергалась полностью. Авторитет Аристотеля в средние века был столь велик, что на протяжении всего этого периода атомистика была, по существу, в загоне. И только в XVII веке в науке вновь возрождаются гипотезы об атомном строении вещества.



1.3. Атомистика в Новом времени

Атомистические воззрения в науке Нового времени возродил французский ученый Пьер Гассенди, философ-материалист, известный своими исследованиями в области математики, астрономии, механики и истории науки. Он жил в XVII веке (1592–1655) и был католическим священником. Гассенди считал, что атомы обладают внутренним стремлением к движению.



Преемники учения Гассенди также использовали механику Ньютона для описания движения атомов. Сам же Ньютон говорил: «Мне представляется, что Бог с самого начала сотворил вещество в виде твердых, весомых, непроницаемых и подвижных частиц».

Английский ученый Роберт Бойль (1627–1691) в своем главном сочинении «Химик-скептик» (1661) дал ясный анализ атомизма с точки зрения химии. Атомы, по Бойлю, бывают разных сортов. Тела, построенные из атомов одного сорта, являются «простыми телами» (по современным понятиям – химическими элементами). Атомы могут соединяться, образуя более сложные частицы – молекулы, а тела, построенные из них, называются «совершенными смесями» (по современным понятиям – химическими соединениями). Однако скудная по тому времени экспериментальная техника не дала возможность Бойлю установить, какие тела являются простыми, т.е. химическими элементами, а какие – смесями, т.е. соединениями. Он даже допускал, что единственным простым телом, т.е. химическим элементом, является *вода*. А все другие известные тогда вещества, такие, как железо, медь, золото, серебро, свинец, ртуть, являются смесями.

Важный вклад в химическую атомистику внес великий русский учёный Михайло Васильевич Ломоносов (1711–1765).



Он имел цельное научное представление о телах природы, исходя из атомистической гипотезы, и вслед за своими предшественниками – Бойлем, Ньютоном и другими – поднял химическую атомистику на более высокий уровень. По его мнению, все тела в природе состоят из *корпускул* (молекул), которые, в свою очередь, могут делиться на элементы – атомы. Корпускулы разнородны, когда их элементы различны и соединены различным образом или в различном числе, от чего зависит бесконечное разнообразие тел в природе. «Начальным есть тело, состоящее из однородных корпускул... Смешанные тела есть такие, которые состоят из двух и более начал, соединенных между собой так, что каждая его отдельная корпускула имеет такое отношение к частям начал, из которых оно состоит, как и все смешанное тело – к целым отдельным началам». Фундаментом атомистики, по Ломоносову, являлось положение о неразрывной связи материи и движения, что противоречило предыдущему этапу в развитии атомистики, где движение считалось чем-то внешним. Он также развил кинетическую теорию тепла, нанесшую удар по теории теплорода, и пришел к понятию абсолютного нуля температур.

В 1808 году вышел первый том книги «Новая система химической философии», написанной Джоном Дальтоном (1766–1844), учителем из города Манчестера в Англии. Это произошло через 147 лет после выхода в свет книги Бойля «Химик-скептик». К этому времени уже были известны труды Лавуазье, жившего в XVIII веке (1743–1794) и преобразовавшего химию в науку, основанную на точных измерениях.

В последующие годы ученые-химики поняли, что водород, кислород, азот, углерод, сера, фосфор, а также натрий, калий, кальций, стронций, барий и магний, открытые в 1807–1808 годах Дэви, как и железо, цинк, медь, серебро, золото, платина, ртуть, – настоящие химические элементы, т.е. простые тела, а вода, аммиак, углекислый газ и многие другие вещества – сложные химические соединения. В экспериментальной химии уже употреблялось понятие химического веса и рождался метод количественного анализа сложных химических соединений. Поэтому Дальтон поставил смелую задачу – определить относительные массы различных атомов.

Он начал с водорода – химического элемента, состоящего из атомов одного сорта, обозначив его знаком круж-



ка с точкой в центре – \odot . Кислород, тоже химический элемент, ученый обозначил просто кружком – \circ .

Вода – это химическое соединение, которое состоит из определенного числа атомов водорода и кислорода, скрепленных друг с другом химическими силами связи. Их Дальтон назвал «сложными атомами», т.е. молекулами. Ради простоты он предположил, что молекула воды – просто соединение двух атомов – водорода и кислорода – $\odot\circ$. Отсюда легко выяснить, во сколько раз атом кислорода тяжелее атома водорода. Каждый фунт (400,5 грамм) воды, как давал химический анализ, состоит из $1/8$ фунта водорода и $7/8$ фунта кислорода. Поэтому ясно, что атом кислорода весит в 7 раз больше атома водорода. Если массу атома водорода принять за единицу, то масса атома кислорода будет равна 7. Аналогичный результат Дальтон получил и для атома азота, зная, что фунт аммиака состоит из $1/6$ фунта водорода и $5/6$ фунта азота, атом которого обозначил кружком перечеркнутым по вертикальному диаметру – $\textcircled{\circ}$. Итак, масса атома азота равна 5, если считать, что молекула аммиака – соединение атомов водорода и азота – $\odot\textcircled{\circ}$.

Углерод образует с кислородом два химических соединения. В одном из них кислорода меньше, чем в другом. Дальтон обозначил углерод зачерненным кружком – \bullet – и изобразил эти молекулы так: для окиси углерода из атомов кислорода и углерода – $\circ\bullet$, а для углекислого газа из двух атомов кислорода и одного атома углерода – $\circ\circ\bullet$. Анализ показывал, что фунт углекислого газа состоит из $5/19$ фунта углерода и $14/19$ фунта кислорода. Таким образом, масса атома углерода равна $5/14$ частям масс двух атомов кислорода или $5/7$ массы одного атома кислорода. Если принять, что масса атома водорода равна единице, зная при этом, что масса атома кислорода равна 7, тогда для массы атома углерода находим 5, что блестяще подтвердилось на окиси углерода. По приведенному расчету в молекуле окиси $\circ\bullet$ отношение массы атома кислорода к массе атома углерода должно раняться 7:5, что и было подтверждено анализом: 7 фунтов кислорода и 5 фунтов углерода давали при анализе 12 фунтов окиси углерода. Ввиду малой точности тогдашних химических опытов успех полученных результатов был огромный. Гипотеза атомного строения вещества впервые получила экспериментальное, хотя и косвенное, но количественное подтверждение.



Дальтон опубликовал свою таблицу химических символов и относительных атомных весов всех известных к тому времени элементов (табл. 1).

Он был последовательным сторонником представлений о неизменности и неразрушимости атомов. Химические реакции, по Дальтону, – это лишь различные комбинации неизменных атомов. Идеи Дальтона стали истинной философией многих поколений химиков и физиков.

Здесь имеет смысл упомянуть об «алхимических» исследованиях Ньютона. Академик С.И. Вавилов в своей известной книге «Исаак Ньютон (Научная биография и статьи)»

отмечает, что Ньютон еще с юношеских лет чрезвычайно интересовался химией и алхимией. На протяжении почти всей своей жизни, вплоть до переезда в Лондон в связи с его назначением хранителем Монетного двора, он проводил химические опыты.

«Был ли Ньютон алхимиком?» – спрашивает себя Вавилов. И отвечает на этот вопрос так: «Если иметь в виду алхимика как бытовую фигуру прежних времен, т.е. обманывающего или обманутого человека, применявшего магические заклинания к химическим операциям, то, конечно, не может быть и мысли о Ньютоне-алхимике». Но если считать основной мыслью алхимии о возможности превращения одних химических элементов в другие, т.е. о их *трансмутации*, тогда Ньютона можно назвать алхимиком.

Водород	⊙	1
Азот	⊖	5
Углерод	●	5
Кислород	○	7
Фосфор	⊗	9
Сера	⊕	13
Магний	⊛	20
Кальций	⊙	23
Натрий	⊖	28
Калий	⊗	42
Стронций	⊕	46
Барий	⊛	68
Железо	⊖	38
Цинк	⊗	56
Медь	⊙	56
Свинец	⊖	95
Серебро	⊙	100
Платина	⊖	100
Золото	⊙	140
Ртуть	⊙	167

Табл. 1. Таблица символов химических элементов по Дальтону (1808г.):

второй столбец – символы элементов;

третий столбец – относительные атомные веса.



Поскольку во времена Ньютона в общественном мнении алхимия была отнесена к разряду колдовства и магии, как и астрология, то неудивительно, что Ньютон скрывал свои алхимические работы от окружающих и ничего не печатал о своих алхимических опытах. Все, касающееся этих исследований, оставалось в рукописях и письмах. В них С.И. Вавилов и находит формулировки основных идей ньютоновской теории трансмутации химических элементов. Он, например, приводит такую запись Ньютона: «Представим себе, что частицы тел расположены так, что промежутки или пустые пространства между ними равны им по величине, что частицы могут быть составлены из частиц более мелких, пустые пространства между коими равны по величине объему всех этих малых частиц, и что подобным же образом эти более мелкие частицы снова составлены из еще более мелких частиц, которые все вместе по величине равны всем порам или пустым пространствам между ними».

Далее Вавилов пишет, что, возвращаясь к высказанному Ньютоном соображению о трансмутации ртути в золото, эту мысль в переводе на современный язык можно сформулировать так: для разрушения атомов ртути и золота надо найти способ деления наиболее тесно сближенных частиц, из которых составлен атом. По современным представлениям, для разрушения любого атома химического элемента надо разрушить его ядро, т.е. то, что Ньютон называл «первым соединением». Он как бы угадывал существование атомных ядер, хотя, разумеется, об этом можно говорить только в принципиальном смысле.

Дальтон, будучи сторонником идеи неизменности атомов, расхотелся с Бойлем, который еще в 1661 году писал, что когда-нибудь найдется «смелый и тонкий агент», который разобьет атомы на более мелкие части и превратит одни химические элементы в другие, однако тогда ни один факт не подтверждал справедливость слов Бойля. В 1816 году нашелся ученый-химик Уильям Прут, который на основании факта целочисленности относительных атомных масс утверждал, что тяжелые атомы подобны молекулам и состоят из атомов водорода, которые невозможно разъединить при обычных химических реакциях.

К сожалению, Дальтон был плохим экспериментатором, и его «целочисленные» атомные массы оказались иллюзорными. Уточнения атомных масс ввел знаменитый шведс-



кий химик Иенс Берцелиус (1779–1848), который был убежденным сторонником дальтоновской атомистики, но одновременно и ярким критиком грубости его экспериментов. Он проанализировал свыше 2000 различных химических соединений и получил для значений атомных весов результаты (они отличаются от самых точных современных данных только на 1–2%), попутно открыв несколько новых химических элементов: селен, кремний, торий и тантал, а также уточнив число атомов в молекулах многих соединений (вода H_2O , аммиак NH_3 и др.). В 1826 году Берцелиус опубликовал таблицу из 46-ти химических элементов с новыми *дробными* атомными весами, очень близкими к современным, а также ввел современную символику для обозначения химических элементов – одной или двумя буквами, первыми в их латинских названиях.

Таким образом, ко второй половине XIX века укрепилось представление о том, что существует около 90 химических элементов, которые являются основными «кирпичиками» природы. В 1873 году основатель современного учения об электромагнетизме Д.К. Максвелл в одной из своих публикаций писал: «Даже когда Солнечная система распадется и на ее развалинах возникнут другие миры, атомы, из которых она состоит, останутся целыми и неизношенными».



1.4. Периодический закон химических элементов Менделеева

Началом современной химии считают конгресс, который собрался в Карлсруэ в Германии 3 сентября 1860 года. Перед химиками встала задача «навести порядок» среди химических элементов.

Первой ласточкой в этом направлении была работа англичанина Ньюлендса (1839–1898), который воспользовался атомными массами и построил три октавы первых химических элементов, самых легких (см. табл. 2). В них видна аналогия между элементами.

H,	Li,	Be,	B,	C,	N,	O,
F,	Na,	Mg,	Al,	Si,	P,	S,
Cl,	K,	Ca,	Cr,	Ti,	Mn,	Fe.

Табл. 2. Первые три «октавы» химических элементов по Ньюлендсу, опубликованные в 1863 году.

Например, щелочные металлы (литий, натрий и калий) легко вступают в химические соединения одного типа с элементами первого столбца – галогенами (LiCl , NaCl , KCl), а элементы третьего столбца – щелочноземельные металлы (бериллий, магний и кальций) – дают иные химические соединения (BeCl_2 , CaCl_2 , MnCl_2). Фтор похож на стоящий под ним хлор. Азот проявляет свойства, аналогичные фосфору, кислород – сере и т.д. Однако для следующих химических элементов с более тяжелыми атомами в октавах появилась большая путаница. Поэтому на съезде английских естествоиспытателей доклад Ньюлендса почти не слушали, а председатель задал иронический вопрос, не располагал ли Ньюлендс химические элементы в порядке алфавита и не получались ли при этом какие-либо закономерности? Так правильная, как оказалось позже, идея была подвергнута несправедливой критике.



Через несколько лет после этой неудачи два других химика, Лотар Майер из Бреслау в Германии и Дмитрий Иванович Менделеев, профессор из Петербурга, развили идею Ньюлендса дальше. Оба они, Майер (1830–1885) и Менделеев (1834–1907), предполагали, что существуют химические элементы, еще не открытые учеными, которые позволяют навести подобный порядок в группах химических элементов, следующих за тремя октавами Ньюлендса.

В *таблице 3* пришлось оставлять вначале пустые места. Поэтому таблица, опубликованная Менделеевым в 1869 году, имела следующий вид.

H																		
Li Be B C N O F																		
Na				Mg Al Si P S Cl														
K	Ca	<i>Er</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	Ti	V	Cr	Mn	Fe	<i>Ni</i>	Cu	Zn		As	Se	Br		
Rb	Sr	<i>Ce</i>	<i>La</i>	<i>Dy</i>	<i>Fk</i>	Zr	Nb	Mo	<i>Rh</i>	<i>Ru</i>	Pd	Ag	Cd	<i>U</i>	Sn	Sb	Te	J
Cs	Ba						Ta	W	Pt	<i>Ir</i>	<i>Os</i>	<i>Hg</i>	<i>Au</i>					
<i>Fl</i>	<i>Pk</i>																	

Табл. 3. Первоначальный вариант Периодической таблицы Д.И.Менделеева, опубликованный в 1869 году.

В ней уже было учтено, что для более тяжелых химических элементов строки могут быть длиннее, чем это было в трех октавах Ньюлендса. В *табл. 3* курсивом записаны те химические элементы, которые, вследствие незнания их атомных весов или по другим причинам, были Менделеевым размещены неправильно. По идее Менделеева, на пустых местах должны были быть еще неоткрытые элементы, многие из которых он предсказал, в частности, германий.



1.4. Периодический закон химических элементов...

Его позже открыл немецкий физик Винклер в Германии (отсюда и название), но описан он был правильно и заранее со всей точностью Д.И. Менделеевым.

После этих предсказаний и последующих открытий уже никто больше не сомневался в правильности Периодического закона химических элементов, одного из величайших достижений второй половины XIX века. Как выразился один химик: «Среди многочисленных зданий научных теорий, воздвигнутых в XIX веке, он был похож на обелиск, покрытый непонятными письменами. Расшифровать эти письмена – вот великая задача, которую XIX век оставил в наследство XX веку!» Действительно, только в XX веке квантовая механика позволила великому датскому физику Нильсу Бору до конца понять скрытый смысл Периодического закона химических элементов, угаданный так замечательно правильно Майером и Менделеевым. Далее приведена Периодическая система химических элементов в современном виде, которую принято называть таблицей Д.И.Менделеева.



1.5. Атомизм в новой физике

До сих пор мы говорили об атомизме в Новом времени главным образом в связи с работами химиков. Если наука об атоме была важна для химии, то для физики ее значение было не меньшим.

В изучении каких конкретных явлений атомизм проникал в физику Нового времени? Это началось с более глубокого изучения агрегатных состояний вещества. Атомизм особенно важен при объяснении процессов расширения газов при нагревании, в частности, в случае свободно подвижных стенок (поршней). В жидкостях и твердых телах атомы, в противоположность газам, плотно соприкасаются друг с другом. В жидкостях они еще сохраняют подвижность, как бы переползая «из точки в точку», а в твердых телах они закреплены межатомными силами взаимодействия и могут совершать лишь малые тепловые колебания около положений равновесия.

Что касается газов, то давление, оказываемое на стенки сосуда, где помещен газ, возникает от ударов о стенки двигающихся в газе молекул или атомов. Здесь атомная гипотеза дает очень простые и ясные представления и позволяет просто объяснить основное уравнение состояния газов, хорошо известное из средней школы и носит название формулы Клапейрона:

$$pV = RT,$$

где p , V и T соответственно давление, объем и температура, а R газовая постоянная.

При выводе этого уравнения, который мы здесь приведем, будет получено молекулярно-кинетическое определение одной из важнейших термодинамических величин – абсолютной температуры T .

Рассмотрим сосуд в виде кубика с ребром a (рис. 2).

Пусть в нем находится какой-то газ в равновесии при постоянной температуре T . Обозначим полное число молекул или атомов газа через n . В среднем при равновесии можно считать, что вдоль каждого из трех взаимно перпендикулярных ребер куба x , y , z , в силу хаотического характера теплового движения молекул, движется одна треть из них, т.е. $n/3$. Обозначим среднюю скорость частицы

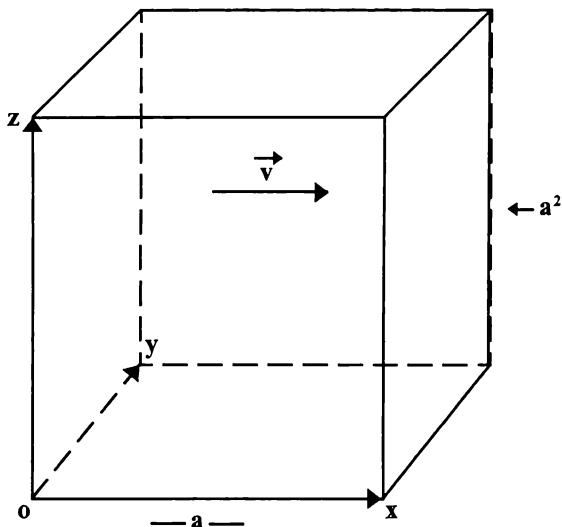


Рис. 2. К выводу уравнения Клапейрона на основе молекулярно-кинетической теории.

вдоль каждого ребра через v . Поскольку скоростью называется путь, проходимый за одну секунду, то в среднем за одну секунду молекула ударяется в стенку, перпендикулярную ребру, $\frac{v}{2a}$ раза. Удар будем считать абсолютно упругим, поэтому изменение импульса или количества движения за один удар будет равно:

$$mv - m(-v) = 2mv,$$

где m масса молекулы. Импульс, передаваемый стенке за одну секунду, можно найти как произведение числа ударов в секунду на изменение импульса при одном ударе, т.е.

$$2mv\left(\frac{v}{2a}\right) = \frac{mv^2}{a}.$$

Сила удара на всю поверхность кубика a^2 от одной трети полного числа молекул равна

$$F = \left(\frac{n}{3}\right)\left(\frac{mv^2}{a}\right).$$

Поскольку давление – это сила, действующая на единицу поверхности, величину F надо разделить на a^2 . Тогда



$$p = \frac{F}{a^2} = \frac{mv^2}{3a^2}$$

Так как $V = a^3$, получим:

$$pV = (1/3)nmv^2 \quad (5.1)$$

Учитывая правую часть уравнения Клапейрона, равную RT , имеем: $(1/3)nmv^2 = RT$. Умножая левую часть этого уравнения на $3/2$, находим, что величина средней кинетической энергии молекулы газа равна:

$$m \frac{v^2}{2} = (3/2)(R/n)T.$$

Отсюда следует, что абсолютная температура определяется средней кинетической энергией молекулы или атома газа при этой температуре. Если в кубике находится грамм-молекула или грамм-атом какого-либо газа, то число частиц равно числу Авогадро ($n = N_A$) и последняя формула примет вид:

$$m \frac{v^2}{2} = (3/2)(R/N_A)T = (3/2)k_B T, \quad (5.2)$$

где отношение $R/N_A = k_B$ равно постоянной Больцмана.

Мы видим, что атомистика хорошо объясняет уравнение состояния газов. Такую же ясную картину дает гипотеза существования атомов и для жидкостей, и для твердых тел.

Приведем еще в качестве второго примера использования атомистических представлений в области изучения газов формулировку и вывод *закона Авогадро*: в равных объемах двух газов, находящихся при одном и том же давлении и температуре, содержится одинаковое количество молекул или атомов. Для этого выразим из формулы (5.1) число молекул, скажем, первого газа $n_1 = p_1 V_1 / k_B T_1$ (заменив среднюю кинетическую энергию через величину $3/2 k_B T_1$) и для числа молекул второго газа $n_2 = p_2 V_2 / k_B T_2$. Если $p_1 = p_2$, $V_1 = V_2$ и $T_1 = T_2$, то

$$n_1 = n_2,$$

что и утверждается в законе Авогадро.

Например, в одном литре любого газа при комнатной температуре и атмосферном давлении оказывается столько же молекул или атомов, сколько молекул или атомов другого газа при тех же условиях. Поэтому отношение масс двух таких газов равно отношению их молекулярных весов. В



частности, отношение массы атома кислорода к массе атома водорода равно $16/1,008$, если условиться считать атомный вес кислорода 16. Тогда молекулярный вес кислорода O_2 равен 32, а водорода 2,016. Грамм-молекулой или молем называют количество данного вещества, численно равного молекулярному весу, выраженному в граммах. Следовательно, моль водорода H_2 имеет массу, равную 2,016 грамм, а моль воды H_2O – массу 18,016 грамм. Поскольку масса атома водорода равна $1,67 \times 10^{-24}$ г (см. ниже), то для числа Авогадро мы получим:

$$N_A = 1/1,67 \times 10^{-24} = 6,02 \times 10^{23}.$$

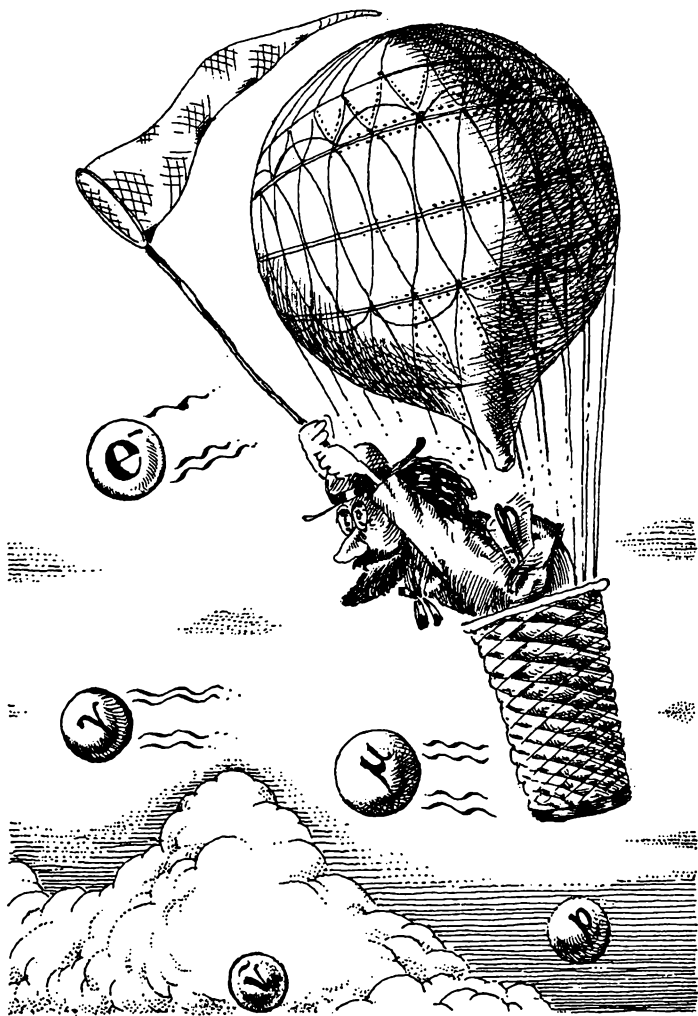
Согласно закону Авогадро, моль любого газа при атмосферном давлении p_0 и $t = 0^\circ C$ ($T = 273$ К) занимает один и тот же объем. Его легко вычислить из закона Клапейрона, т.е.

$$V_0 = N_A k_B T/p_0 = 22,4 \times 10^3 \text{ см}^3 = 22,4 \text{ литра},$$

(для атмосферного давления выбрана величина $p_0 = 1,01 \times 10$ дин/см²).

В античной науке еще от Платона шло представление о том, что тепло связано с особым веществом – *теплородом*, количество которого определяет количество тепла в телах. Но уже Ломоносов критиковал эту гипотезу и использовал молекулярно-кинетическую теорию теплоты. Последний удар по гипотезе теплорода в 1798 году нанес Бенджамин Томпсон, американский авантюрист, сражавшийся на стороне англичан во время войны за независимость США, а затем служивший у баварского короля, от которого он получил титул графа Румфорда.

В Мюнхене он наблюдал на военном заводе за сверлением болванок металла при производстве пушечных стволов. По гипотезе теплорода считалось, что нагревание, которое происходило при сверлении болванок, и есть выделение теплорода. Когда Румфорд погружал болванку в воду со сверлом, то при сверлении вода в конце концов закипала. Выделение тепла наблюдалось и в том случае, если острое сверло заменялось тупым и при этом не возникало стружки. Поэтому Румфорд и решил, что тепло – это не какое-то вещество, которое содержится в теле болванки и сверла, а результат движения атомов, из которых они построены. Нагреть тело – означает привести его атомы в более быст-



рое движение, а охладить – замедлить атомное движение. Так возникла атомно-кинетическая теория теплоты, а вместе с ней и основы специального раздела физики – *термодинамики*. Последняя окончательно оформилась уже после опытов Румфорда в трудах Клаузиуса, Больцмана и Гиббса. В физике это был такой же триумф атомистической гипотезы, как и работы Дальтона с атомами в химии.



Но атомы продолжали быть лишь умозрительной догадкой, одной из возможных гипотез объяснения природы тепла. Только из косвенных измерений определялись *относительные* атомные веса химических элементов, причем физики не могли сказать, скольким граммам они соответствовали. Не знали они также, сколько атомов водорода и кислорода содержится, например, в капле воды. Многие ученые считали, что вся атомистика – «добрая фантазия», а атомная гипотеза подвергалась жестокой критике. Например, известный немецкий философ Артур Шопенгауэр писал, что химики, сторонники атомизма, – просто «невежественные аптекари», которые с таким детским самомнением и с такой уверенностью, безо всякого на то основания, толкуют об атомах и прочих глупостях, как если бы они их видели собственными глазами и трогали собственными руками.

Заметим, что в физической науке к концу XIX века сформировалась целая школа физиков и философов, которая напрочь отвергала атомизм как глубоко неверное представление. Члены этой школы, следуя учению философа Беркли, признавали достойным изучения только результаты непосредственных чувственных ощущений предметов внешнего мира и отвергали все объяснения их свойств с помощью гипотетического представления об атомах, в частности, к ним относились Э. Мах, П. Дюгем, В. Оствальд и другие. Как писал Оствальд в своей лейпцигской лекции в 1901 году, «атомистической гипотезе» давно следовало истлеть в пыли библиотек!



1.6. Экспериментальное доказательство реальности атомизма – броуновское движение

Сторонники гипотезы атомизма и сами понимали, что если они признают принципиальную невозможность определить массу отдельного атома и найти их число в заданной массе тела, то грош цена всей их гипотезе. Необходимо было найти какие-то явления, которые помогли бы наглядно доказать существование атомов в природе.

Решение проблемы пришло на помощь физикам совсем с неожиданной стороны, причем честь открытия этого феномена принадлежала не физикам и химикам, а ботанику. В 1828 году шотландский ботаник Броун обнаружил в своих опытах любопытное явление. Друзья прислали ему новый, очень мощный по тому времени микроскоп, и он стал с ним экспериментировать, в частности, решил понаблюдать капельку жидкости, взятую из пыльцы растения, которая содержала большое количество мельчайших твердых частичек вещества. К большому удивлению, Броун обнаружил, что такие мельчайшие частицы находятся в непрерывном беспорядочном хаотическом движении, которое было подобно какому-то фантастическому танцу дикарей. Он описал свои наблюдения, и в науке в его честь этому явлению был дан термин – *броуновское движение*. Такой «танец» оказался универсальным свойством любых мелких по своей природе частиц. Было показано, что броуновское движение не связано с направленным потоком жидкости, подобно пыли на пути солнечного луча, когда дует легкий ветерок.

Сначала физики вообще не обратили внимание на это явление, но во второй половине XIX века французский физик Ф. Гюи детально изучил броуновское движение частиц, а в 1881 году польский физик Бодашевский показал, что подобное движение наблюдается и в газах (в табачном дыму). Истинную причину броуновского движения угадал бельгийский физик Карбонель. По его идее, оно является простым следствием неравномерности ударов на различные неправильные и неодинаковые по величине поверхности мельчайших частичек со стороны непрерывно двигающихся атомов или молекул той жидкости либо газа, где частицы находятся.



Броуновское движение оказалось мостом, соединяющим невидимый мир беспорядочного теплового движения атомов или молекул жидкости и газа с миром, который доступен непосредственному восприятию при помощи точных экспериментальных приборов. Именно малость броуновских частиц приводила к их движению в результате взаимодействия с тепловым движением атомного «коллектива» жидкости или газа. Чем частицы мельче и чем выше температура, т.е. интенсивность атомных движений в жидкости или газе, тем интенсивнее и броуновское движение. Ультрамикроскоп Зигмонди и метод моментальных снимков этого движения, произведенных Сведбергом (1884–1949), позволили физикам еще лучше понять это явление. А в классических экспериментах французского физика Жана Перрена (1870–1942), начатых в 1908 году, было окончательно проверено и установлено, что броуновское движение твердых мельчайших частичек в жидкости вызвано именно тепловым движением атомов жидкостей, ударяющихся о поверхность плавающих частичек.

В качестве объектов исследования Перрен брал частицы *гуммигута* – желтой краски резиновой смолы. Он растирал гуммигут как мыло, но при этом краска не растворялась, а оставалась в виде зернышек самых различных мелких размеров.

Изучая под микроскопом распределение зернышек гуммигута по высоте, он заметил, что оно напоминает зависимость плотности газов в Земной атмосфере от высоты над поверхностью Земли.

Исходя из этой аналогии, Перрен получил, что масса частиц гуммигута, равная в его опытах $M_p = 5 \times 10^{-15}$ г,



в 165 млн раз превышает массу молекулы O_2 . Следовательно, масса молекулы кислорода:

$$m_{O_2} = 165 \times 10^6 \times 10^{-15} \text{ г} = 1,65 \times 10^{-23} \text{ г}.$$

Поскольку масса молекулы кислорода O_2 в 32 раза больше массы атома водорода, то последняя равна:

$$m_H = 1,6 \times 10^{-24} \text{ г}.$$

Как уже отмечалось, в грамме водорода и любом грамм-атоме всех химических элементов содержится одинаковое число молекул, которое является числом Авогадро. Оно равно обратной величине m_H , т.е.

$$N_A = 6 \times 10^{23}.$$

Так, в результате опытов Перрена были найдены значения масс атомов в граммах и найдено число атомов в любом грамматоме вещества, т.е. определено число Авогадро. Позже Перрен получил то же самое значение для числа Авогадро и другим путем, что было еще более убедительным доказательством правильности его результатов.

Совершенно независимо от опытов Перрена А. Эйнштейн еще в 1905–1906 годах выполнил замечательные теоретические работы. В них он математически вывел формулу, определяющую среднее смещение броуновской частицы относительно ее первоначального положения в жидкости. Причем, в эту формулу Эйнштейна входит и число Авогадро, которое тогда было неизвестным. Сопоставляя ее с рисунками из своих опытов, определяющих перемещение частиц гуммигута за каждые 30 секунд, Перрен смог вычислить N_A и получил то же самое число 6×10^{23} . Перрен в своей книге «Атомы» приводит 16 (!) независимых способов определения числа Авогадро, и все они, в пределах обычных погрешностей измерений, приводят к одному и тому же значению.

Это был триумф атомной теории (теперь уже именно теории, а не гипотезы). Данный факт признал даже такой прежде ярый противник атомистики, каким был Оствальд. В предисловии к своему курсу химии он написал: «Теперь я убежден, что в последнее время мы получили опытное доказательство прерывистого или зернистого строения вещества, доказательство которого тщетно искала атомисти-



ческая гипотеза в продолжение сотен и тысяч лет. Совпадение броуновского движения с требованиями этой гипотезы дает право говорить самому осторожному ученому о наличии опытного доказательства атомистической теории вещества». Многовековой спор сторонников и противников реального существования атомов закончился блестящей победой сторонников атомизма.



1.7. Открытие субатомного мира: опыты Фарадея по электролизу

Еще раньше, до опытов Перрена, произошло проникновение физиков и химиков в *субатомный* мир: был открыт элементарный электрический заряд – *электрон* – участник сложного внутреннего строения атома. Обратимся к двум экспериментальным открытиям XIX века, которые привели нас в субатомный мир, оказавшийся по своей природе электрическим. *Одно* открытие – установление законов *электролиза*, сделанное известным английским учёным Майклом Фарадеем, и *второе* – открытие *катодных лучей*, которое мы рассмотрим в п.1.8.

Напомним, что электролиз – это разложение химических соединений при пропускании электрического тока через растворы различных веществ. Явление прохождения электрического тока через металлы уже было известно. Еще в середине XVIII века в США известный общественный деятель и ученый Бенджамин Франклин высказал идею, которая потом полностью оправдалась: в металлах спонтанно существует электрически отрицательно заряженная жидкость – «флюид», которая состоит из мельчайших частиц. Благодаря своей малости они могут достаточно свободно проникать в обыкновенную, даже самую плотную материю, не встречая при этом заметного сопротивления.

В данном высказывании Франклина, таким образом, имелось три утверждения:

- 1) существует особая отрицательно заряженная электрически жидкость;
- 2) она атомистична по своей природе;
- 3) отрицательно заряженные частички этой жидкости очень малы.

В нормальном состоянии заряд таких частичек полностью компенсируется положительным электрическим зарядом ионов металла. При зарядении металлов отрицательно этих частичек становится больше «нормы», а когда их становится меньше «нормы», металл заряжается положительно.

В 1833 году Фарадей начал изучать законы электролиза, явления, которое было известно еще с конца XVII века. Он обнаружил замечательный факт: для того, чтобы из любого



электролита (раствора щелочи, соли, кислоты и др.) выделить на положительно заряженном аноде грамм-атом водорода, необходимо пропустить через электролит 96 500 кулонов электрического заряда, т.е. один грамм-атом водорода всегда переносит с собой одно и то же количество электрического заряда. Точные измерения Фарадея показали, что то же самое количество заряда переносят с собой 23 грамма натрия, 35,45 грамм хлора, 39,1 калия и 107,87 серебра, а эти количества химических элементов численно равны их грамм-атомам. Отсюда следует, что, например, 107,87 грамм серебра должно содержать число атомов такое же, как и в один грамм-атом водорода (т.е. число Авогадро). Следовательно, каждый атом различных веществ переносит одинаковое количество электрического заряда, независимо от того, какому химическому элементу соответствует это вещество. Таким образом, электрический заряд, переносимый одним грамм-атомом любого вещества, можно представить как произведение числа Авогадро на некоторый наименьший (элементарный) электрический заряд e , т.е.

$$N_A \times e = 96\,500 \text{ кулон.}$$

В физике, наряду с практической единицей электрического заряда – кулоном, пользуются часто и другой единицей, называемой электростатической. Заметим, что эта система единиц обозначается латинскими буквами CGSE (С – см; G – г; S – сек; E – эл. стат.). Соответствующая единица электрического заряда в системе CGSE в 3×10^9 раз меньше кулона, и поэтому приведенное выше равенство в таких единицах будет иметь вид:

$$N_A \times e = 96\,500 \times 3 \times 10^9 = 2,895 \times 10^{14} \text{ CGSE.}$$

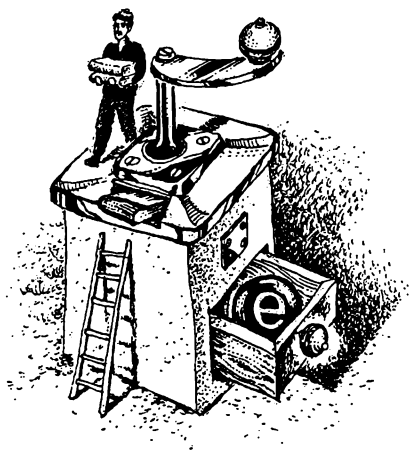
Фарадей производил свои опыты и с другими электролитами, где выделялись не только одновалентные химические элементы, но и двухвалентные и более сложные. Тогда выделяемый заряд при пересчете на один атом был равен полученному выше заряду e , умноженному на валентность, т.е. для двухвалентных веществ (кальция, магния, цинка и других) он был равен $2e$, для трехвалентных $3e$ и т.д.

Сам Фарадей ничего не говорил об «атомах» электрического заряда, когда описывал свои эксперименты. Это впервые сделал Стоней в 1874 году, через 40 лет после работ Фарадея. Еще более ясную формулировку результатам опы-



1.7. Открытие субатомного мира: опыты Фарадея...

гов Фарадея дал Герман Гельмгольц в 1881 году, читая лекцию в Королевском институте в Лондоне. В ней впервые прозвучал термин – *элементарный электрический заряд*. Таким образом, наряду с атомистической теорией массы вещества, возродилась старая гипотеза Франклина о существовании «атома электрического заряда». Для того чтобы выяснить, чему равен заряд e , в приведенных формулах, не хватало численного значения числа Авогадро. Надо было подождать опытов Перрена, сделанных через три десятилетия после высказываний Стонея и Гельмгольца, а потом появилась и возможность непосредственно на опыте измерить элементарный заряд e , равный заряду электрона.





1.8. Открытие катодных лучей – потоков электронов; их изучение и определение удельного заряда электрона

Чтобы окончательно убедиться, что электрон – не миф, а настоящая реальность, нужно было каким-то способом отделить электроны от положительно заряженной части атомов вещества, которые стали называть *ионами*. В 1859 году открытие этого природного явления – выделения электронов в свободном состоянии – было сделано случайно немецким физиком Ю.Плюккером, который первым наблюдал катодные лучи.

Если к вакуумной трубке (рис. 3) между электродами К и А (катодом и анодом) приложить разность потенциалов, пойдет электрический ток. При этом возникает какое-то излучение, приводящее к свечению анода и прилегающих к нему частей стенок трубки. Подробные исследования такого свечения были проведены немецкими учёными Гитторфом и Гольдштейном, которые и дали им название катодных лучей.

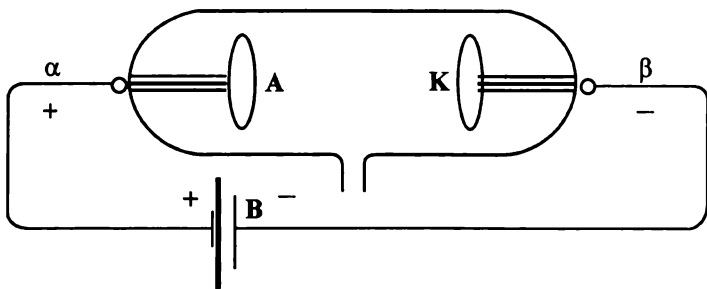


Рис. 3. Схема разрядной трубки: К – катод; А – анод; В – источник электрического напряжения.

В 1874 году известный английский физик В. Крукс прочел в Шеффилде доклад, в котором высказал замечательную идею, что катодные лучи – пучки отрицательно заряженных частиц, которые вырываются из катода электрическим полем, приложенным между электродами трубки, и дви-



1.8. Открытие катодных лучей...

жуются с огромной скоростью. Таким образом, он считал, что это осколки атомов вещества катода, и тем самым посягнул на основы всеми признанного учения Дальтона о неразрушимости атомов. Даже такой выдающийся учёный, как Герман Герц, критиковал Крукса, считая, что катодные лучи – волны. Изучение действия внешних электрических и магнитных полей на пучки этих лучей доказало экспериментально, что идея Крукса верна. Лучи в трубке несли с собой большую энергию и могли сильно разогревать анод, даже расплавлять его. Кроме того, на своем пути они могли производить работу и, например, вращать вертушку, которую помещали внутри трубки.

После выступления Стони и Гельмгольца естественно было считать, что катодные лучи и есть пучки мельчайших заряженных отрицательно частиц, предсказанных Франклином. Именно Стони и ввел для катодных частиц термин *электрон*. Наиболее детально исследовал катодные лучи английский учёный Дж. Дж. Томсон. Он тщательно измерял смещения, которые испытывали эти лучи во внешних электрических и магнитных полях (рис. 4).

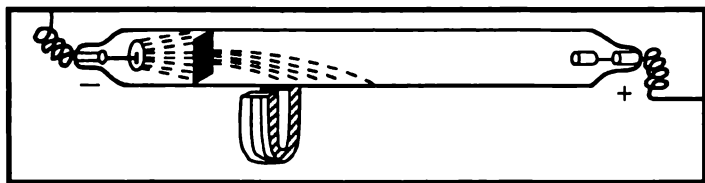


Рис. 4. Отклонение пучка катодных лучей в катодной трубке во внешнем магнитном поле по Дж. Дж. Томсону.

Электроны в электрическом поле напряженности E и в магнитном поле напряженности H испытывают ускорение, равное $a = eE/m_e$, причем в магнитном поле отклонение зависит еще от скорости электрона v . Дж. Дж. Томсон исследовал одновременно смещение пучка лучей при действии обоих внешних полей. При этом он получал два уравнения, в которые входили две независимые величины: первая – это отношение e/m_e , т.е. удельный заряд электрона, а вторая – его скорость v , входящая в другое уравнение. Скорость, как показали измерения, была различной в зависимости от напряженностей полей и разности потенциалов между электрода-



ми трубки, а удельный заряд e/m_e оказался во всех опытах одинаковой универсальной величиной, равной:

$$e/m_e = 5,3007 \times 10^{17} CGSE = 1,69 \times 10^8 \text{ кул/г}, \quad (8.1)$$

что было великолепным подтверждением «безумной» догадки Крукса. Из соотношения (8.1) Дж.Дж. Томсон вывел еще одно поразительное следствие. Из законов электролиза число Фарадея равно:

$$N_A e = 2,895 \times 10^{14} CGSE = 96500 \text{ кулон}, \quad (8.2)$$

где N_A – число Авогадро. Если обозначить массу атома водорода через m_H то она будет обратно пропорциональна числу Авогадро, т.е. $m_H = 1/N_A$, и поэтому для удельного заряда атома водорода мы получим:

$$e/m_H = 2,895 \times 10^{14} CGSE/g = 96500 \text{ кул/г}. \quad (8.3)$$

Таким образом, отношение заряда электрона к массе атома водорода меньше, чем удельный заряд электрона, во столько раз, во сколько отношение (8.3) меньше отношения (8.1). Как легко подсчитать, оно равно 1836, почти 2000, что означает: электрон легче атома водорода почти в 2000 раз! Этим подтвердилась вторая гипотеза Франклина, по которой частицы, переносящие электрический заряд при пропускании тока в металле, очень маленькие.

В результате всего изложенного можно сказать, что атом – сложная система электрических зарядов, в которую входят составными частями электроны и положительно заряженные ионы. У атома можно оторвать один, два и т.д. электрона, тогда вместо нейтрального атома возникнет положительно заряженный ион, а само явление вырывания электронов из нейтрального атома принято называть *ионизацией*. По-гречески слово «ион» означает *передвигающийся* (во внешних полях). Если к нейтральному атому добавить один электрон или несколько, то он превратится в *отрицательно* заряженный ион.

Итак, вопреки утверждению Дальтона о неразрушимости атома, которого придерживались почти все последующие учёные, атомы оказались делимыми, но пока от них умели отрывать только очень легкие частички – электроны. Вопрос о дальнейшем делении атомов более тяжелых химических

элементов, о котором думали Р. Бойль и У. Прют, был решен, как мы увидим, несколько позже.

Открытие электрона и его присутствия в атоме позволило понять то, о чем еще в первой половине XIX века писал французский физик А. Ампер. Изучая магнитные свойства тел, он, в частности, высказал идею о «молекулярных токах», которые, по его мнению, существуют в сильных магнитных телах, так называемых *ферромагнетиках*. Ориентируясь параллельно друг к другу, они в результате создают большой суммарный магнитный момент. Само существование таких молекулярных токов в принципе стало понятным, если только предположить, что электроны внутри атома двигаются по замкнутым орбитам, как планеты вокруг Солнца, и тем создают магнитный момент, аналогичный моменту кругового тока. Подобным образом стала ясна причина излучения атомами света, т.е. излучения электромагнитных колебаний по Максвеллу. Согласно его теории, оно получается вследствие того, что в атомах электроны могут совершать неравномерные движения с ускорением, а при этом они должны излучать свет.



1.9. Основы электронной теории металлов. Опыты Стюарта и Толмена

Открытие электрона позволило физикам понять, что в металлах, когда в них протекает электрический ток, происходит ускорение свободных электронов, которые самопроизвольно существуют в металлических телах, в отличие от диэлектриков-непроводников, где свободных электронов нет.

Исторически В. Рикке в 1898–1909 годах в своих многолетних опытах первый показал, что носители электрического тока в металлах не связаны с положительно заряженными ионами, как это имеет место в электролитах. В его экспериментах электрический ток непрерывно в течение десяти лет (!) пропускался через три плотно сжатых и хорошо шлифованных в местах стыка металлических цилиндра — медный-алюминиевый-медный. При этом Рикке не нашел никаких следов электролиза. Так было доказано, что электрический ток в металлах никак не связан с переносом в них положительно заряженных ионов, и это являлось неким указанием на то, что возможными носителями электрического тока в металлах были электроны, но опыты Рикке можно рассматривать только как негативное утверждение, что в металлах нет электролиза. Лишь в 1916 году Т. Стюарт и Р. Толмен в своих красивых и остроумных опытах доказали, что именно *электроны* – носители электрического тока в металлах. Приняв, что металлы – это электронные проводники электрического тока, необходимо найти точный количественный критерий именно металлического состояния вещества, который бы отличал металлы от других электронных проводников, например, полупроводников.

Металлы исторически, еще со времен Ломоносова, определяли как вещества, способные к ковкости и обладающие типичным оптическим блеском. Однако более четким признаком металлического состояния вещества, пожалуй, будут его электрические и тепловые свойства – высокая электропроводность и теплопроводность. Поэтому, на первый взгляд, в качестве критерия металлического состояния можно просто выбрать величину, скажем, удельной электропроводности σ , но здесь возникает некоторая неоднозначность.



Например, если взять значения σ для серебра, золота или меди, а потом обратиться к металлам кадмию и висмуту, то величина σ у них окажется на много порядков меньше, кроме того, она еще зависит от температуры. Позже оказалось, что среди электронных проводников могут быть вещества (полупроводники), у которых при некоторых температурах удельная электропроводность больше, чем у «плохих» металлов. Поэтому выбор в качестве критерия металлического состояния абсолютной величины σ ничего хорошего не даст.

Как показал опыт, четкий эмпирический критерий металлического состояния вещества могут дать не значения удельной электропроводности σ , а общий вид температурной зависимости $\sigma(T)$ или ее обратной величины, т.е. удельного электросопротивления $\rho(T) = 1/\sigma(T)$. Если измерить эту зависимость для любого металла и любого полупроводника в широкой области температур от 0 К до температуры плавления, то, как показывает график (рис. 5), мы увидим две совершенно различные кривые. Для металла в области комнатных температур и выше, вплоть до температуры плавления, функция $\rho(T)$ оказывается линейной, а в точке плавления испытывает скачок и дальше продолжает расти. Напротив, при низких температурах (по сравнению с комнатными и особенно при приближении к абсолютному нулю) функция $\rho(T)$ падает с понижением температуры по степенному закону, близкому к T^5 . Чем чище металл и чем меньше в нем нарушений идеальности его кристаллической решетки, тем к меньшему значению приводит экстраполяция кривой $\rho(T)$ к так называемому остаточному удельному электросопротивлению ρ_0 при $T = 0$ К.

В случае же полупроводника, как видно из рис. 5, при $T \rightarrow 0$ К удельное электросопротивление стремится к бесконечности по показательному закону, полупроводник превращается при $T \rightarrow 0$ К в идеальный изолятор. При комнатных температурах у него $\rho(T)$ достигает минимума, а потом снова несколько растет с ростом T . Итак, проведенный анализ кривых $\rho(T)$ на рис. 5 позволяет выбрать в качестве эмпирического физического критерия металлического состояния вещества температурный ход удельного электросопротивления при низких температурах. Для металлов $\rho(T)$ при $T \rightarrow 0$ резко уменьшается и стремится к минимальному значению ρ_0 , а для полупроводников $\rho(T) \rightarrow \infty$.

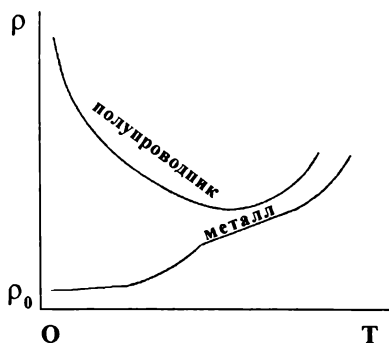


Рис. 5. Температурная зависимость удельного электросопротивления типичного металла и полупроводника.

мов металла (в основном это внешние электроны, которые мы можем называть валентными), освободившись от связи с отдельными положительно заряженными ионами кристаллической решётки металла, беспорядочно двигаются, участвуя в тепловом хаотическом движении и не образуя в отсутствие внешнего электрического поля направленного электрического тока. Хаотическое тепловое движение электронов, в силу их малости, происходит достаточно свободно между положительно заряженными массивными ионами металла, которые совершают лишь малые тепловые колебания около положений равновесия.

Таким образом, в первом приближении можно считать, что свободные электроны как бы образуют своеобразный газ отрицательно заряженных частиц. Если теперь приложить, например, к концам металлической проволоки или металлического стержня извне электрическую разность потенциалов, то на свободные электроны этого газа будет действовать ускоряющий эффект внешнего поля с напряженностью E . Благодаря отрицательному электрическому заряду все свободные электроны металла при этом получают добавочную скорость v_E .

Остановимся здесь на рассмотрении действия постоянного внешнего электрического поля напряженности $E_{\text{внеш}}$ на совершенно свободный электрон в вакууме и электрон,

Друде и Лоренц, немецкий и голландский физики, разработали первую элементарную теорию электропроводности металлов. Приведем их вывод эмпирических законов Ома и Джоуля-Ленца, которые не имели до сих пор своего теоретического объяснения.

Согласно их представлениям, свободные электроны в металлах, оторвавшись от нейтральных ато-



сильно связанный в атоме. Эти два асимптотических случая можно считать предельными вариантами для поведения электрона в металлическом кристалле. В случае свободного электрона в вакууме внешнее электрическое поле будет неограниченно ускорять электрон, все время увеличивая его импульс в направлении, противоположном ориентации $E_{\text{внеш}}$ (напомним, что заряд электрона равен $-e$). Сильно связанный электрон в атоме будет по-разному вести себя в зависимости от соотношения величин напряженности внешнего поля $E_{\text{внеш}}$ и внутриатомного поля $E_{\text{ат}}$. Если $E_{\text{внеш}} > E_{\text{ат}}$, то электрон будет вырван из атома и станет свободным. Если же $E_{\text{внеш}} < E_{\text{ат}}$, то электрон останется в атоме, только его «орбита» несколько деформируется.

Электрон в кристалле металла будет находиться в промежуточном состоянии между двумя указанными возможностями. В отличие от случая совершенно свободного электрона в вакууме, ток не будет непрерывно возрастать, а остается постоянным, как и поле. Это означает, что добавочный импульс вдоль (или точнее против) поля ограничен и не растет беспредельно, как в случае электрона в вакууме. Иными словами, для ускорения электрона в металле во внешнем электрическом поле имеется конечное среднее время свободного пробега τ , за которое он и получает добавочную скорость. Время τ оказывается гораздо больше, чем время «удара» $\tau_{\text{уд}}$, в течение которого и происходит взаимодействие свободного электрона в металле с препятствиями для свободного движения, оно и определяет появление сопротивления электрическому току в металле. Следовательно, большую часть времени между последовательными столкновениями электрон проводимости в металле ведет себя как свободный, т.е. $\tau \gg \tau_{\text{уд}}$.

На каждый свободный электрон со стороны внешнего электрического поля действует сила $f = eE$. Она создаёт по второму закону динамики Ньютона ускорение $a = eE/m$, где m — масса электрона.

За время τ между двумя последовательными столкновениями его с ионами металла электрон, по предположению авторов теории, отдает всю накопившуюся при ускорении в электрическом поле энергию ионам металла, причем между двумя столкновениями добавочная скорость электрона меняется от нуля до своего максимального значения, которое равно:



$$v_{E \max} = a\tau = \left(\frac{eE}{m} \right) \tau,$$

а его средняя скорость равна половине этой величины.

Если через n обозначить число свободных электронов в единице объема металла, то плотность тока j (т.е. заряд, переносимый через единичное поперечное сечение проводника за единицу времени) равна:

$$j = nev_{Ecp}.$$

Подставляя в это равенство v_{Ecp} , имеем:

$$j = (ne^2/2m)\tau E = \sigma E,$$

где σ – удельная электропроводность металла. Итак, мы вывели теоретически закон Ома и получили выражение удельной электропроводности σ через атомные величины

$$\sigma = ne^2\tau/2m. \quad (9.1)$$

Постараемся теперь, зная величину σ при разных температурах для какого-нибудь конкретного одновалентного металла, например, золота, и принимая для плотности электронов проводимости n значение, равное числу узлов в кристаллической решетке в единице объёма в 1 см^3 , которая для золота равна $5,95 \times 10^{22}$, определить из формулы (9.1), соответствующие величины времён свободного пробега τ . В *таблице 5* в первой строке указаны выбранные пять различных значений температур от комнатной (273 К) до температуры жидкого гелия ($T = 4,2 \text{ К}$). Во второй строке приведены рассчитанные по формуле (9.1) значения времени τ в секундах. Зная, что время одного оборота электрона по «орбите» борковского атома τ_{am} порядка 10^{-15} с , мы видим из таблицы 5, что времена τ при комнатной температуре почти на два порядка больше τ_{am} , а при низких температурах на много порядков больше.

$T, \text{ К}$	273	90	20,4	14,2	4,2
$\tau_{cp}, \text{ сек.}$	$5,9 \times 10^{-14}$	$2,2 \times 10^{-11}$	$9,8 \times 10^{-12}$	$1,4 \times 10^{-12}$	6×10^{-9}
$l_{cp}, \text{ см}$	$5,9 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-12}$	6×10^{-1}

Табл. 5. Средние времена (τ) и длины (l) свободного пробега электрона при разных температурах (T) в металле (золоте).



Полученные цифры подтверждают наши прежние утверждения, что электроны проводимости в металле большую часть времени ведут себя как свободные. Еще нагляднее это можно увидеть, если оценить величины средних значений *длины свободного пробега* электронов проводимости l . Их можно оценить как произведение времени свободного пробега τ на среднюю тепловую скорость электронов проводимости v . По квантовой теории металлов, как мы увидим во второй части курса, такая скорость практически не зависит от температуры и равна по величине $v = 10^8$ см/сек. Тогда из третьей строки таблицы 5 при низких температурах для l мы получаем макроскопические величины – миллиметры (!), а при комнатной температуре – расстояния в сотни раз большие по сравнению с межплоскостными расстояниями в кристаллических решетках металлов. Отсюда следует, что металл весьма «прозрачен» для электронов проводимости.

В тех же приближениях можно вывести и закон Джоуля-Ленца для количества тепла Q , выделяемого каждую секунду в проводнике объемом в 1 см^3 электрическим током за счет передачи тепла при столкновениях электронов с ионами металла. Этот закон, как и закон Ома, был известен из опыта и имел вид:

$$Q = \sigma E^2,$$

По теории Друде-Лоренца при столкновениях электронов с ионами электрон отдает иону всю накопленную в электрическом поле энергию, величина которой равна:

$$m v_{E_{max}}^2 / 2 = m (a\tau)^2 / 2 = (m/2)(e^2 E^2 / m^2) \tau^2 = (e^2 E^2 / 2m) \tau^2.$$

За одну секунду каждый электрон испытывает в среднем z столкновений, где $z = 1/\tau$. Тогда за это время он передаст ионам решетки металла энергию, равную

$$(e^2 E^2 / 2m) \tau^2 (1/\tau) = [(e^2 E^2) / 2m] \tau.$$

Так как в каждом кубическом сантиметре металла находится n электронов, то за одну секунду ионы при прохождении электрического тока получают энергию

$$[n(e^2 E^2) / 2m] \tau,$$

которая и выделится в виде тепла. Следовательно,

$$Q = [(ne^2 \tau) / 2m] E^2 = \sigma E^2,$$



т.е. выведен закон Джоуля-Ленца, и самое главное – с тем же самым выражением σ через атомные константы, что и в законе Ома. Таким образом, классическая ньютоновская электронная теория Друде-Лоренца получила два независимых подтверждения.

Однако, в целом, с классической электронной теорией металлов не все было благополучно.

Во-первых, классическая теория не могла объяснить вид температурной зависимости удельной электропроводности $\sigma(T)$ и, следовательно, удельного электросопротивления $\rho(T)$.

Во-вторых, оставался открытым вопрос об объяснении «прозрачности» металла для электронов проводимости. Было непонятно, почему, несмотря на «тесноту» в кристаллических решетках металлов, где расстояния между соседними плоскостями атомов всего лишь 10^{-8} см, длины свободного пробега электронов проводимости даже при комнатных температурах в сотни раз больше этой величины, а при низких температурах вообще имеют макроскопические значения.

Но следующая, **третья**, «неувязка» уже была не загадкой, а **катастрофой**. Речь идет о **теплоемкости**. Напомним, что в классической статистической механике был выведен общий закон равномерного распределения тепловой энергии по степеням свободы. В обычном газе или жидкости и в неметаллических твердых телах для движения нейтральных атомов имеется три степени свободы и две энергии – кинетическая и потенциальная. На каждую степень свободы приходится энергия $kT/2$, всего же на атом приходится $3kT$. Если рассматривать грамм-атом вещества, то это значение надо умножить на число Авогадро, и для полной энергии E мы получим $E = 3kN_A T = 3RT$. Теплоемкость равна производной энергии по температуре $\partial E/\partial T$ и поэтому $C = 3R$. Поскольку $R = 2$ ккал/моль град, то $C = 6$ ккал/моль град, что соответствует знаменитому опытному закону Дюлонга и Пти.

В металле, наряду с ионной решеткой, у которой теплоемкость по закону Дюлонга и Пти равна $3R$, электроны проводимости образуют свой газ с добавочным числом степеней свободы, и поэтому добавляют еще свою теплоемкость $(3/2)R$. Следовательно, теплоемкость для металла должна равняться



$C_{\text{мет}} = C_{\text{ион}} + C_{\text{эл}} = 3R + 3R/2 = 9$ ккал/моль град, т.е. на 50% больше, чем дает закон Дюлонга и Пти. При этом точность измерений гарантирует максимальную ошибку не более 1%. Опыт для металлов *не* давал такого резкого увеличения теплоёмкости.

Исторически катастрофа с теплоемкостью была тяжёлым испытанием для всей классической электронной теории металлов. Существенно, что она была связана не с частными модельными упрощениями, а вытекала из принципиальных положений классической статистической механики. Лоренц и другие физики пытались «починить» модель Друде путем более точного статистического вывода приведенных формул, что не помогло решить проблему. Нужно было радикальное изменение самих основ теории. Поэтому классическая друдевская теория металлов, несмотря на ее успехи, до 1928 года считалась лишь «красивой картинкой», не имеющей отношения к действительности. Только квантовая механика смогла вывести теорию металлов из этого, казалось бы, непроходимого тупика.

Вопрос о том, что же нового в теорию металлов и всех других типов твердых тел (диэлектриков, полупроводников) внесла квантовая механика, мы рассмотрим во второй части нашего курса.

Самым непосредственным опытным подтверждением изложенных идей Друде и Лоренца явились произведенные в 1916 году в США эффектные опыты Т. Стюарта и Р. Толмена, которые непосредственно доказали, что электрический ток в металлах – действительно поток свободных электронов.

В основу опытов была положена простая, но остроумная идея. Авторы брали для эксперимента катушку из металлического проводника, приводили ее в очень быстрое вращение вокруг оси, а затем резко тормозили до полной остановки. Если в металле есть свободные электроны, то они после резкой остановки вращения катушки по инерции должны продолжать двигаться по проволоке в направлении ее прежнего вращения, давая при этом всплеск электрического тока, направление которого должно соответствовать отрицательному электрическому заряду электронов, что и наблюдалось.

В результате такого красивого и ясного эксперимента (нечто подобное мы все испытывали в трамвае или автобусе при неаккуратном торможении водителя) удалось также измерить величину удельного заряда e/m , который ока-



зался таким же, как и у катодных лучей в опытах Дж. Дж. Томсона. Было еще раз убедительно доказано, что в металлах существуют свободные электроны.

И до этих опытов наблюдались явления, в которых свободные электроны проявляли свое существование в металлах. Так, Герман Герц открыл явление фотоэффекта, которое заключалось в том, что при облучении металлов, например, ультрафиолетовым светом металл оказывался заряженным положительным электрическим зарядом, а из металла вырывались какие-то частицы. Детальное изучение фотоэффекта русским физиком А.Г. Столетовым и другими учеными показало, что при фотоэффекте действительно вырываются именно электроны, в результате чего металл заряжается положительно. Дж. Дж. Томсон в своих опытах с фотоэлектронами во внешних электрических и магнитных полях определил, что для них получился тот же самый удельный заряд, что для катодных лучей.

Другое, не менее эффективное доказательство существования свободных электронов в металлах заключалось в открытии «термоэлектронной эмиссии», которую в США наблюдал знаменитый американский изобретатель Т. Эдисон, а в Англии весьма детально изучил О. Ричардсон. Это явление заключается в том, что из нагретого металла вы-





1.9. Основы электронной теории металлов

летают отрицательно заряженные частицы, причем для удельного заряда частиц получается то же значение, что и для электронов катодных лучей. Одновременно в этих опытах было обнаружено, что в металлах существует энергетический потенциальный барьер, который не позволяет свободным электронам вылетать из холодного металла в окружающее его пространство. Итак, все нас убеждает в справедливости гениальной догадки Крукса, что катодные лучи представляют собой пучки электронов, вырванных внешним электрическим полем из металла катода, а также в справедливости гипотезы Франклина, что в металлах существуют свободные электроны.



1.10. Рентгеновские лучи, их получение и исследование. Опыты по определению электрического заряда электрона

Исследование катодных лучей позволило доказать не только существование электронов, но и проникнуть в атомный мир, а также сделать еще одно очень важное открытие – открытие *X-лучей*, которое было сделано немецким физиком Рентгеном, и поэтому их теперь называют *рентгеновскими* лучами.

Произошло это так. 3 ноября 1895 года, изучая катодные лучи, Рентген обратил внимание, что то место на стенке катодной трубки, куда попадали катодные частицы, само становилось источником какого-то сильно проникающего излучения. Его он совершенно случайно обнаружил по свечению экрана с флюоресцирующим веществом, когда подносил экран снаружи к этому месту трубки. Вначале он предположил, что это катодные лучи, прошедшие через стенку катодной трубки, но потом сообразил, что стенка сильно поглощает катодные лучи и они не выходят наружу. Напротив, обнаруженное им излучение обладало колоссальной проникающей способностью. Например, оно свободно проходило через две колоды игральных карт, через еловую доску, через руку человека и т.д. Сам Рентген назвал наблюдаемое излучение X-лучами. Они возникали не только от стеклянной стенки катодной трубки, но и от любых других тел, стоящих на пути катодных лучей, где те тормозились, т.е. катодные электроны теряли свою кинетическую энергию, и по закону сохранения энергии их энергия переходила в энергию проникающего излучения.

Как показал опыт, X-лучи не отклонялись во внешних электрических и магнитных полях. Отсюда следовало, что они не несут с собой электрического заряда и напоминают электромагнитное излучение, но с гораздо большей проникающей способностью, чем световые лучи. Они также производили на своем пути существенную ионизацию, отрывая электроны от нейтральных атомов. После долгих споров физики пришли к единому мнению, что X-лучи – это электромагнитные волны, но с очень малой длиной волны.



Высказанная догадка была окончательно подтверждена в 1912 году, в Мюнхене, где ученики Рентгена часто собирались и обсуждали все физические новости. Однажды один из этих физиков – Макс фон Лауэ – высказал такую мысль: «Все известно, что обыкновенные лучи света обладают тем свойством, что, отражаясь от дифракционной решетки, они испытывают *интерференцию*. Свет, отражаясь от такой решетки, будет не во всех направлениях одинаково ярким. В одних направлениях световые волны будут усиливать друг друга, а в других направлениях – ослабляться. Если X-лучи похожи на свет, но только имеют гораздо меньшую длину волны, то для них следовало бы изготовить дифракционную решетку, которая смогла бы произвести этот эффект. Однако такая решетка должна быть покрыта царапинами гораздо более густо, чем обыкновенная дифракционная решетка для лучей видимого света: во столько раз, во сколько длины волн X-лучей меньше, чем видимых. Боюсь, что никакой мастер не возьмется приготовить такую решетку. Но, к счастью, такие решетки существуют в природе сами по себе, и их можно найти в готовом виде. Я имею в виду кристаллы. Их блестящая и гладкая поверхность, их правильное геометрическое очертание – все это наводит на мысль, что в них атомы расположены правильными слоями, как штрихи в дифракционной решетке, с маленькими расстояниями друг от друга».

Для понимания идеи Лауэ вспомним некоторые понятия из курса физики средней школы, связанные с колебаниями. Например, колебания в среде – звуковые или электромагнитные – распространяются с некоторой скоростью c , образуя волны. За время t , равное периоду T , они распространяются на расстояние, равное длине волны λ . Поэтому $c = \lambda T = \lambda \nu$, где ν – частота колебаний.

При рассмотрении распространения колебаний в среде, например звуковых, оказывается, что они огибают препятствия, встречающиеся на пути их распространения (для звука каждый из нас наблюдал это многократно). Явление такого огибания называется *дифракцией*. Для световых, т.е. для электромагнитных колебаний явление дифракции было обнаружено с трудом, т.к. длина волны у видимого света очень мала (порядка 10^{-5} см).

В XVII–XVIII веках в физике конкурировали две теории световых явлений. Одна из них – *корпускулярная*, согласно



которой свет – поток особых световых частиц, которые летят с большой скоростью от источника света. Ньютон был приверженцем этой теории и смог объяснить практически все известные в те времена световые явления. Другой физик, Гюйгенс, предположил, что свет – колебания особой среды – светоносного *эфира*. Поэтому для света, как и для звука, мы должны наблюдать дифракцию. В первой четверти XIX века французский физик Френель (1788–1827) доказал существование *интерференции* для света. Напомним, что интерференция – это результат сложения двух волн одинаковой частоты со строго постоянной *разностью фаз*, но с произвольным соотношением амплитуд. При интерференции волн с нулевой разностью фаз или с разностью, равной четному π , две волны дают результирующую волну той же частоты, но с суммарной амплитудой (если амплитуды равны, то с удвоенной), что для двух волн с равными амплитудами показано на *рис. 6а*. Две же волны равной частоты и равных амплитуд, но имеющие разность фаз, равную π или нечетному числу π , гасят друг друга при сложении полностью, как это видно на *рис. 6б*. Если амплитуды не равны, то амплитуда результирующего колебания Z равна их разности.

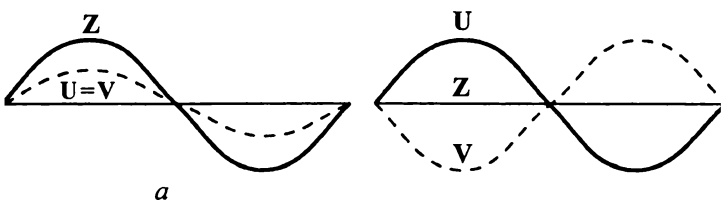


Рис. 6. а) Интерференция двух когерентных волн U и V одинаковой длины волны и равных амплитуд при сдвиге фаз, равным нулю; б) интерференция двух когерентных волн U и V , но при сдвиге фаз, равным π , колебания полностью погашаются, т.е. $Z = 0$.

Заметим, что для наблюдения устойчивой картины интерференции света от двух источников необходимо, чтобы они были когерентными, т.е. разность фаз колебаний постоянна во времени.

В обычных условиях волны, излучаемые двумя различными источниками света, практически всегда не когерентны. В 1822 году Френель предложил очень удачный искус-



ственный способ разложения света от одного источника на два его зеркальных изображения, которые дают строго когерентные излучения.

Зеркала Френеля – это два плоских зеркала, образующих между собой угол, лишь на несколько угловых минут отличающийся от 180° . Источник света, отражаясь в этих зеркалах, дает два близко расположенных отражения S_1 и S_2 . Лучи света, выходящие из них, дают на достаточно удаленном экране ряд темных и светлых полос. При этом темные полосы получаются, когда разность хода равно нечетному числу полуволен $(2n - 1)\lambda/2$, где n – целые числа. Полосы с усилением света получаются для разности хода в целое число длин волн, равное $n\lambda$. По расстоянию между соседними темными и светлыми полосами можно из интерференционной картины определить длину волны света.

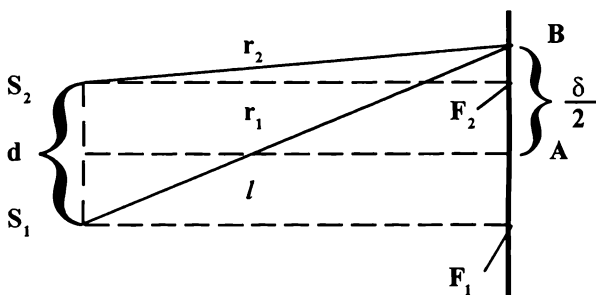


Рис. 7. Опыт Френеля с двумя зеркальными изображениями S_1 и S_2

Из рис. 7 видно, что квадраты расстояний r_1^2 и r_2^2 соответственно от источников S_1 и S_2 до экрана, который удален от зеркал на расстояние l , равны:

$$r_1^2 = l^2 + (\delta/2 + d/2)^2,$$

$$r_2^2 = l^2 + (\delta/2 - d/2)^2.$$

Источники расположены выше и ниже центральной светлой полосы A , δ – расстояние между двумя первыми темными полосами, d – расстояние между изображениями S_1 и S_2 . Для разности этих квадратов расстояний получаем:



$$r_1^2 - r_2^2 = (r_1 - r_2)(r_1 + r_2) = \delta d,$$

поскольку приближенно можно считать, что $r_1 + r_2 = 2l$. Следовательно, для разности хода для темной полосы имеем:

$$r_1 - r_2 = \delta d / 2l = (\lambda / 2),$$

т.е. окончательно

$$\lambda = \delta d / l.$$

Если источник монохроматический, то полосы получаются соответствующего цвета. Если используется белый свет, то светлые полосы окрашены в спектральные цвета.

Приведем здесь длины волн света в видимой части спектра, выраженные в 10^{-9} м или 10^{-7} см, т.е. в нанометрах.

лэпюф	йнннэ	йодүлот	йнанэлэ	йятпэж	жнвфс	йнанэвфж	
72Э	1ЭА	88А	75Э	98Э	828	18Г	(мэ 10 ⁹ а) ^λ

Табл. 6. Таблица средних волн в семи различных участках видимого света.

Аналогично можно получить объяснение явления *дифракции* света. Рассмотрим дифракционную решетку, которая представляет собой стеклянную пластинку, на которой нанесены параллельные царапины. На *рис. 8* она представлена в виде прямой линии, на которой жирными штрихами показаны царапины шириной a и между ними пропуски шириной b , где находятся неповрежденные прозрачные участки стекла. На решетку сверху падает параллельный пучок света. Зачерненные участки непрозрачны, а через незацарапанные участки свет проходит вертикально вниз. Для него из всех прошедших через разные щели вниз лучей разность фаз равна нулю. Линза, которая лежит на пути прошедших лучей (см. ее изображение пунктиром на *рис. 8*), собирает такие лучи в центральный максимум 0, который изображен посередине линзы под ней.

На каждой прозрачной щели по ее краям происходит огибание света под разными углами к вертикали. При некотором угле φ , который дает разность хода для лучей от одной из прозрачных щелей и соседних, равную λ , линза соберет

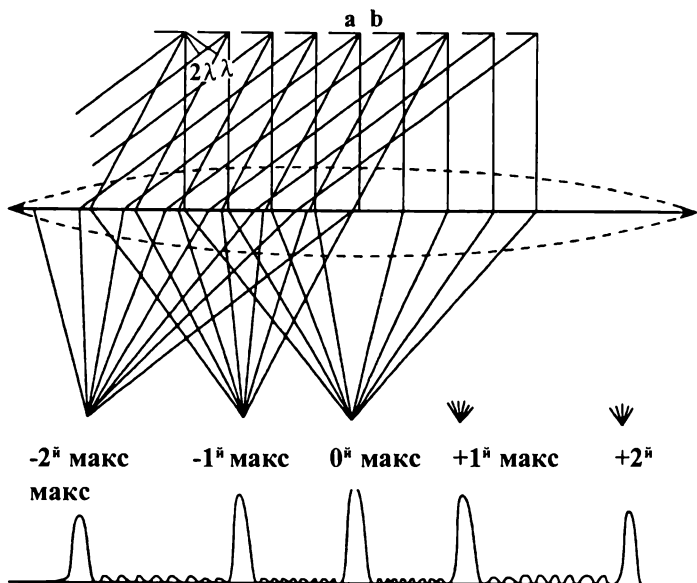


Рис. 8. Положение главных максимумов света, прошедшего дифракционную решетку.

эти дифрагированные лучи в первый максимум, лежащий слева и справа от центрального (они изображены внизу под линзой на рис. 8). Для большего угла φ разность хода будет уже равна удвоенной длине волны 2λ , и линза соберет отклоненные лучи во вторые максимумы, лежащие дальше от центрального.

Для светлых полос на экране, соответствующих максимумам, имеем $(a+b)\sin\varphi = n\lambda$, где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ При $n > 0$ интенсивности полос будут меньшими, чем у предыдущих.

Вот о таких дифракционных решетках и говорил Лауэ. В случае кристалла, по его идее, должна происходить интерференция лучей, отраженных от различных параллельных слоев атомов кристалла, которые в правильном порядке усеяны атомами.

Идея Лауэ была использована молодым экспериментатором Книппингом. Хотя его первая попытка была неудачной, затем она была повторена вместе с ним его товарищем



по работе Фридрихом. Схема их установки показана на *рис. 9а*, а результат их первого удачного опыта, выполненного на монокристалле цинковой обманки (ZnS), – на *рис. 9б*.

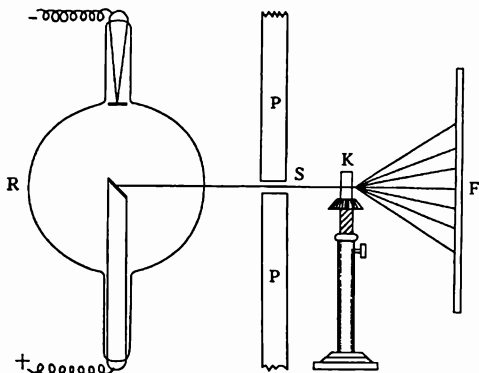


Рис. 9а. Схема опытной установки Фридриха и Книптинга: R – рентгеновская трубка; PP – стенка свинцового ящика; S – отверстие для пучка лучей, идущих из трубки; K – кристалл ZnS , F – экран с фото.

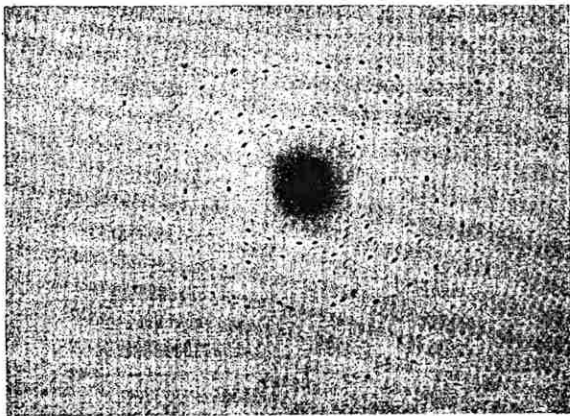


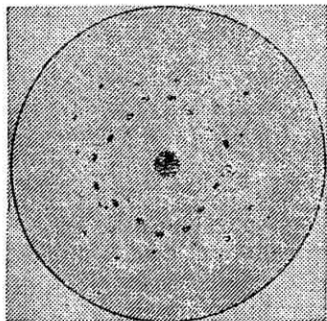
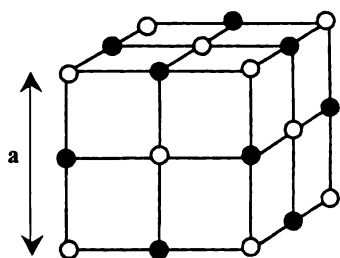
Рис. 9б. Рентгенограмма, полученная для монокристалла ZnS .

Вокруг центрального пятна, которое оставили лучи, прошедшие кристалл без рассеяния, расположились в правильном порядке черные пятнышки. Это были следы лучей, отра-



жившихся от внутренних граней кристалла, т.е. от параллельных плоскостей, упорядоченно усеянных атомами в пространстве, в виде атомной решетки, изображенной на *рис. 10*.

Итак, опыт Фридриха и Книппинга доказал идею Лауэ о правильном расположении атомов во всех кристаллах и дал возможность определить длины волн X-лучей. Здесь физики убили двух зайцев одним выстрелом. Во-первых, они доказали волновую природу рентгеновских лучей, которые представляют собой такие же электромагнитные колебания, как и свет, только со значительно более короткой длиной волны. Во-вторых, наглядно показали, что кристалл имеет правильное геометрическое расположение атомов (*рис. 10а*), где в качестве примера приведена структура решетки кристалла каменной соли NaCl.



a

Рис. 10 а) Положения атомов хлора (белые кружки) и натрия (черные кружки) в простой кубической решетке монокристалла поваренной соли, полученной из дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей по методу Лауэ (*a* – расстояние между ближайшими однородными атомами), *б)* рентгенограмма, полученная Фридрихом и Книппингом по методу Лауэ на этом же монокристалле NaCl.

Темные и светлые кружки изображают соответственно атомы натрия и хлора, образующие пространственную простую кубическую решетку. Решетки атомов натрия и хлора как бы вдвинуты одна в другую, причем расстояние $a = 2,814 \times 10^{-8}$ см. На *рис. 10б* показана типичная рентгенограмма кристалла NaCl, полученная по методу Лауэ.



Таким же образом определялись и параметры других кристаллов. После этих опытов многие тела, которые ранее считались аморфными, стали именовать мелкозернистыми поликристаллами. Длина волны X-лучей оказалась лежащей в интервале от 1 до 15 нанометров (или от 0,1 до 0,15 Å, где Å – ангстрем, равный 10^{-8} см), она в тысячи раз меньше, чем длина волн видимого света.

В рентгенографии используются *три* различных метода измерений.

Первый метод – это только что рассмотренный метод Лауэ. В нем неподвижный монокристалл просвечивается не монохроматическим, а «белым» рентгеновским светом, с длиной волны в достаточно широком интервале частот. Заметим, что каждая система параллельных плоскостей в неподвижном кристалле, усеянная атомами, как бы выбирает себе из «белого» света луч с длиной волны, которая удовлетворяет интерференционным условиям максимума и дает под определенным углом отражение. Оно и оставляет соответствующее пятно на фотопластнке экрана.

Второй метод, получивший название метода Вульфа-Брегга, использует монохроматический пучок X-лучей с определенной длиной волны, который отражается от хорошо подготовленной плоской поверхности исследуемого монокристалла. Рассматривая атомы как центры новых когерентных элементарных волн, мы получаем для каждой из плоскостей отражение нулевого порядка под углом отражения, равным углу падения. При этом отражение от одной единственной плоскости будет происходить одинаково для любой длины волны, так как длины путей для всех лучей равны, следовательно, и разности хода всегда равны нулю. Но отражение происходит не от одной внешней плоскости, а от системы равноотстоящих плоскостей, и картина усложняется из-за интерференции когерентных лучей, отраженных от *различных* плоскостей. Далее, отражение на самом деле получится не для любой длины волны, а только для некоторых, вполне определенных. Действительно, лучи (*рис. 11*), отражаясь от плоскостей I и II, имеют разность хода, равную $2d\sin\theta$, где θ – угол скольжения, который дополнителен до 90° к углу падения φ :

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$$



Поэтому отражение будет иметь место только для тех длин волн, для которых эта разность хода равна целому числу длин волн λ . Таким образом, для интерференционного отражения рентгеновских лучей должно быть соблюдено условие:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, 4, \dots).$$

Это и есть знаменитая *формула Брегга-Вульфа*, лежащая в основе всей спектроскопии рентгеновских лучей.

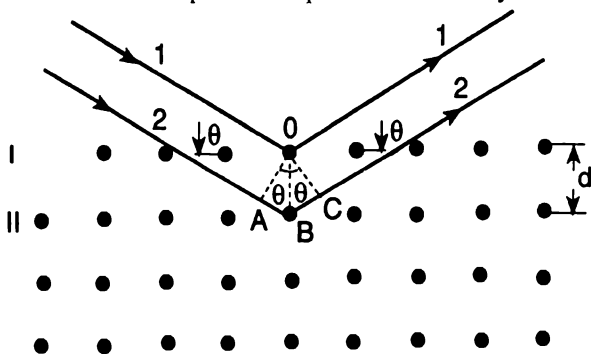


Рис. 11. К выводу формулы Брегга-Вульфа. d – расстояние между ближайшими соседними атомными плоскостями в монокристалле.

Третий метод в рентгенографии – это метод с поликристаллическими образцами, или с образцами из спрессованных порошков, разработанный Дебаем и Шерером. В нем образец мелкозернистого поликристаллического материала или образец из спрессованного порошка просвечивается в неподвижном состоянии в монохроматическом пучке рентгеновских лучей. Используемая длина волны монохроматического света как бы «находит» себе в поликристалле или порошке кристаллики с нужной ориентацией, удовлетворяющей условию Брегга-Вульфа, и под соответствующим углом на фотопластинке получается след отражения. Такие следы образуют ряд концентрических колец – так называемые *дебаеграммы* (рис. 12а, б).

В 1914 году английский физик Мозли исследовал характеристические рентгеновские спектральные линии от химических элементов с порядковым номером Z из таблицы



Менделеева. Согласно Мозли, корень квадратный из частоты соответствующей спектральной линии является линейной функцией порядкового номера Z по формуле:

$$\sqrt{\nu} = a(Z - 1).$$

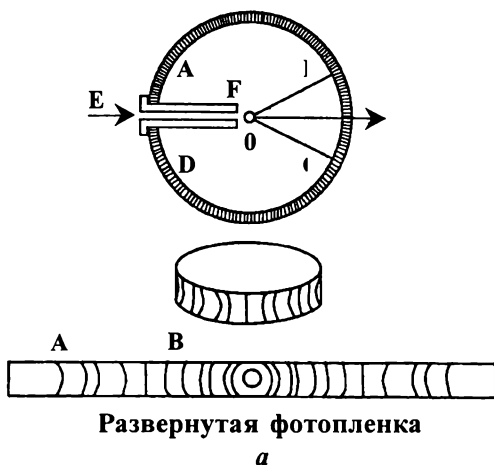
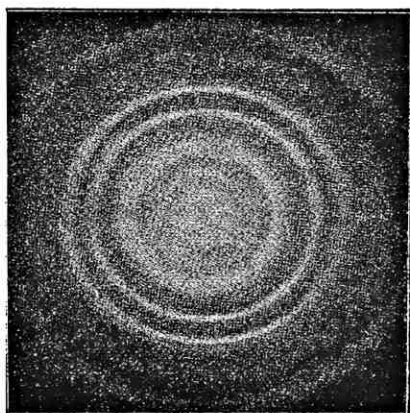


Рис. 12 а) Схема установки для получения рентгенограмм по методу Дебая-Шерера на порошкообразных образцах.

б) Рентгенограмма, полученная по этому методу, в виде концентрических колец на фотопленке.



б

Именно благодаря закону Мозли были открыты новые химические элементы.

Рассказ об открытии электрона и рентгеновских лучей был бы неполным, если не остановиться на описании экспе-



риментов американского физика Р. Милликена, произведенных в 1911 году в США, и русского физика А.Ф. Иоффе – в 1912 году в России, которые, используя ионизационную способность рентгеновских лучей, сумели непосредственно измерить электрический заряд электрона, а не его удельный заряд.

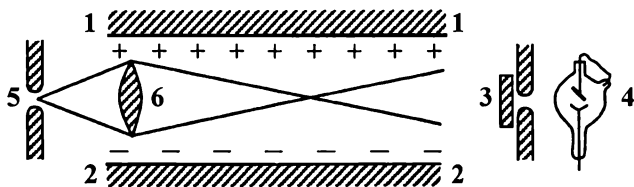


Рис. 13. Схема опытной установки Р. Милликена для определения величины электрического заряда электрона. 1 и 2 – пластины плоского конденсатора; 4 – рентгеновская трубка; 3 – экран и отверстие для лучей; 6 – линза для фокусировки; 5 – вольтова дуга для освещения.

Способ измерений, используемых в этих экспериментах, заключался в следующем: в пространство между плоскими пластинами электрического конденсатора 1-1 и 2-2 (рис. 13) вбрызгивались мельчайшие капельки масла. Действуя заслонкой 3, можно было на короткое время подвергнуть воздух в конденсаторе действию рентгеновских лучей от трубки 4. Воздух между пластинами конденсатора ионизовался, и если одна из масляных капелек соединялась с каким-нибудь ионом, то заряжалась электрически. Если на капельку будет действовать только сила тяжести, то она будет медленно падать вертикально вниз. Освещая пространство внутри конденсатора вольтовой дугой 5, экспериментатор мог следить в микроскоп за падением капельки. При заряде конденсатора в движении капельки происходило изменение: если, например, нижняя пластина конденсатора была заряжена отрицательно, а верхняя пластина положительно, то капелька начинала притягиваться к верхней пластине конденсатора, поэтому падение капельки замедлялось и даже переходило в движение вертикально вверх. Массу капельки, конечно, нельзя было определить обычным взвешиванием, но ее можно было вычислить, измерив скорость



падения капельки в отсутствие электрического поля и скорость ее движения в известном электрическом поле. Оказалось, что в разных случаях заряды капелек были различные, но всегда кратные одной и той же наименьшей величине, которая была равна

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ кулон} = 4,807 \times 10^{-10} \text{ CGSE.}$$

Иными словами, заряд был равен e , $2e$, $3e$, и т.д., где величина e и есть заряд электрона. В опытах Иоффе вместо масляных капелек использовались мельчайшие частички цинка, которые освещались ультрафиолетовым светом. Под действием света на цинковых пылинках происходил фотоэффект и пылинка теряла электроны. Наблюдая изменение движения частичек цинка, Иоффе смог определить величину теряемого пылинкой отрицательного электрического заряда, причем последний оказался кратен величине электронного заряда $-e$. Точность опытов Милликена-Иоффе была такой, что ошибка не превышала тысячной доли от измеряемой величины. Поскольку еще до опытов Милликена было известно из законов электролиза, что

$$N_A e = \frac{e}{m_H} = 96500 \text{ кулон/г},$$

(напомним здесь, что N_A – это число Авогадро, m_H – масса атома водорода), а удельный заряд электрона,

$$e/m_e = 5,307 \times 10^{17} \text{ CGSE/г} = 1,69 \times 10^8 \text{ кулон/г},$$

то теперь, когда e известно непосредственно из опыта, можно из всех этих уравнений вычислить независимо значения

$$m_H = 1,602 \times 10^{-24} \text{ г}, m_e = 9,109 \times 10^{-28} \text{ г} \text{ и } N_A = 6,02 \times 10^{23}.$$

О том, как мала масса электрона, можно судить из следующего сопоставления: отношение массы электрона к одному грамму массы почти в два раза меньше, чем отношение одного грамма к массе земного шара. И в этом случае физики оказались искусными детективами: они смогли взвесить самый малый объект на Земле. Самое поразительное заключается в том, что заряд и масса электрона были определены не на основе расплывчатых гипотез, а с помощью строгого эксперимента и в совершенно не связанных между собой опытах Перрена, опытах с катодными лучами и опытах Милликена-Иоффе.



макровеществ. С теоретическим выводом-предсказанием о дробности эффективного электрического заряда физики встретились при рассмотрении квантового эффекта Холла в металлах, что сейчас подтверждено экспериментально.

Отметим еще один момент в связи с проблемой электрического заряда. Например, когда мы расчесываем сухие волосы расческой из диэлектрика, то она заряжается. Но этот заряд – слабый: на каждый приобретенный из-за трения электрон в расческе приходится миллион миллионов нейтральных атомов. К счастью для нас, предметы окружающего нас мира почти всегда электрически нейтральны. Если бы расческа наэлектризовалась до такой степени, что на каждый ее атом приходился лишний электрон, то последствия для нас были бы ужасными: между человеком и расческой произошел бы мощный смертельный разряд молнии и она превратилась в сверхопасное оружие.

Известно, что в масштабах *микромира* электрические силы превосходят гравитационные. Но в масштабах *макромира* все происходит наоборот: гравитационные силы складываются и поэтому господствуют по величине во взаимодействиях между макротелами, особенно в Космосе. Следовательно, из-за почти точного баланса положительных и отрицательных электрических зарядов электромагнитные силы в макромасштабах за малым исключением (например, появление гроз в атмосфере или в электромагнитных машинах и приборах) почти не наблюдаются.



1.11. Открытие и изучение явления радиоактивности

Остановимся еще на одной детективной истории, вначале казавшейся очень странной загадкой, но потом разгаданной физиками. Это загадка *радиоактивности химических элементов*. Французский физик Анри Беккерель, присутствуя в Академии наук на чтении письма Рентгена об открытии X-лучей, принял активное участие в обсуждении письма. Его особенно заинтересовало светящееся пятнышко в катодной трубке, от которого расходились X-лучи: свечение напоминало ему явление флюоресценции, изучением которого он занимался много лет. Флюоресцирующими называются тела, которые начинают сами светиться после их освещения внешним светом. Такое явление обнаружено впервые на минерале флюорите, отсюда и пошло его название.

Беккерель посчитал, что свечение трубки в опытах Рентгена и явление флюоресценции – родственные явления, и решил поставить специальный опыт, который показал бы, что флюоресцирующие вещества испускают X-лучи. Он взял фотопластинку, завернул ее в черную бумагу, чтобы защитить от обычного света, и положил на нее флюоресцирующие вещества после их облучения солнечным светом.

Среди своей огромной коллекции флюоресцирующих веществ Беккерель почему-то выбрал двойную сернокислую соль калия и урана. После облучения этой соли на завернутой фотопластинке появилось изображение препарата. По мнению Беккереля, исследуемая соль не только светилась обычным светом, но и испускала X-лучи. Беккерель не торопился с опубликованием результатов своих экспериментов и решил повторить свои наблюдения. Когда он делал опыты, погода в Париже испортилась, наступили пасмурные дни и пришлось прекратить исследования.

1 марта 1896 года все же он решил проявить одну из пластинок, отложенную ранее в ящик с лежащим на ней куском упомянутой соли. Между солью и фотопластинкой он положил медный крестик, чтобы посмотреть, пройдут ли через него X-лучи. К большому его удивлению, безо всякой флюоресценции на пластинке появилось почернение и резкое



изображение крестика. Следовательно, соль излучала и в темноте – двойная серноокислая соль калия и урана обладала каким-то загадочным свойством.

В связи с полученным неожиданным результатом Беккерель начал новую серию опытов и убедился, что этот непонятный эффект получается от всех веществ, которые содержат уран. Оставалось проверить, что и чистый уран, который не флюоресцирует, тоже обладает указанной особенностью, и произведенная проверка показала, что он дает такое же излучение. Далее, Беккерель обнаружил, что найденное излучение урана обладает и ионизирующей способностью. Выход из печати статьи, в которой Беккерель подробно описал результаты своих опытов, стал такой же сенсацией, как и открытие X-лучей Рентгеном.

Изучением этого эффекта стали заниматься и другие физики, в частности супруги М. и П. Кюри. Мария Кюри назвала уран и торий, испускающие подобные лучи, *радиоактивными* химическими элементами.

Более того, в результате исследования отходов урановой руды супруги Кюри выделили два новых вещества. 18 июля 1898 года они назвали первый химический элемент *полонием* в честь родины М. Кюри – Польши, причем он во много раз был активнее урана. А через несколько месяцев, 26 декабря 1898 года, ими был выделен второй химический элемент, который они назвали *радием*. Отметим, что и этот элемент почти в тысячу раз был активнее урана. Далее целью жизни супругов Кюри стало получение и изучение новых химических элементов – полония и радия, которые вошли в Таблицу Менделеева. В 1902 году они получили несколько дециграммов чистого хлористого радия, причем каждый его грамм содержал 0,76 грамм чистого радия и 0,24 грамм хлора. В 1910 году М. Кюри с помощью электролиза получила впервые чистый радий, но Пьер Кюри не дожил до этого времени – он трагически погиб под колесами телеги на улице Парижа 16 апреля 1906 года. Радиоактивность исследовали и другие ученые, в частности, Фредерик Содди и Эрнест Резерфорд.

В результате опытов выяснилось, что каждый грамм радия выделял в час 140 калорий тепла. Эта загадка огромных запасов энергии у радиоактивных химических элементов мучила ученых. Необходимо было ответить на вопрос, в чем причина «неутомимости» радиоактивности, а также в чем причина ее полной независимости от внешних влияний.



В 1900 году Содди и Резерфорд сделали еще одно удивительное открытие: воздух около радиоактивного элемента тоже становился радиоактивным. Была высказана идея, что из радия все время выделяется газ, но не простой, а радиоактивный, который был назван «эманацией радия». Для доказательства справедливости своего открытия Содди и Резерфорд провели опыты с конденсацией эманации радия, что было очень трудно сделать из-за малого количества элемента. Далее они стали выяснять, как долго излучает эманация радия, и обнаружили, что к концу месяца излучение пропало. Итак, Содди и Резерфорд обнаружили два важных факта: (1) из радия непрерывно выделяется радиоактивный газ – эманация радия и (2) радиоактивность эманации радия заметно уменьшается со временем. Последнее позволило считать, что и другие радиоактивные элементы уменьшают свое излучение со временем.

Для выяснения природы обнаруженных лучей в 1899 году супруги Кюри воздействовали на них магнитным полем. Результат был совсем неожиданный: в магнитном поле лучи разделились на две части – одни отклонялись, как и катодные лучи, а другие не отклонялись. Кауфман нашел для отклоненных лучей значение удельного заряда: оно оказалось таким же, как у катодных лучей, т.е. это были электроны с очень большой скоростью, близкой к скорости света c . В 1903 году Резерфорд показал, что в более сильных магнитных полях излучение в свою очередь состоит из *двух* частей. Одна из них отклонялась как и следовало отрицательно заряженным электронам, а другая – как *положительно* заряженным частицам. Позже изученные три радиоактивных излучения стали называть первыми буквами греческого алфавита: *альфа*, *бета*, *гамма* лучами. Альфа-лучи – это положительно заряженные частицы, бета-лучи – электроны, и гамма-лучи – та часть радиоактивного излучения, которая не отклонялась во внешних электрических и магнитных полях, являясь, как и X-лучи Рентгена, электромагнитным излучением с очень большой проникающей способностью.

Из трех типов радиоактивных излучений сильнее всего поглощаются в окружающей среде альфа-частицы. Большой проникающей способностью обладают бета-лучи и особенно сильной проникающей способностью – гамма-лучи. Сразу же возник вопрос: что такое альфа-лучи? Резерфорд нашел



для них удельный электрический заряд, который оказался равным

$$e/M = 1,444 \times 10^{14} \text{ CGSE}/z,$$

т.е. величину примерно *вдвое* меньшую, чем для удельного заряда e/M_H атома водорода. Отсюда следует, что альфа-частица – это либо ион водорода с удвоенной массой, либо дважды заряженный ($2e$) ион атома гелия, представляющий собой массивные осколки атомов радиоактивных химических элементов (вспомним тут опять с благодарностью гипотезу далекого в прошлом Бойля!) и вместе с тем мощные «снаряды» природной атомной артиллерии. К двум открытиям Содди и Резерфорда добавилось еще одно – триединство радиоактивного излучения: α , β и γ .

В 1903 году радиоактивность была объяснена как явление самопроизвольного взрыва атомов химических элементов. Так была опытным путем отклонена идея Дальтона и его предшественников и последователей о строгой неделимости атомов. Теперь можно записать следующую химическую реакцию распада атомов радия: атом радия \rightarrow атом эманации радия + альфа-частица (гелий), при этом возникают своеобразные «брызги» в виде бета- и гамма-лучей. Поскольку атомный вес радия в целых числах равен 226, альфа частицы – 4, у эманации радия атомный вес равен 222. Позже физики доказали, что эманация радия – это химический элемент, похожий по своим свойствам на инертные газы: гелий, аргон и другие, в связи с чем ему по «созвучию» дали название *радон*. Возникла новая отрасль химической науки – химия радиоактивных элементов, где наряду с обычными химическими реакциями, в основе которых лежали соединения неизменных атомов и молекул, стали рассматриваться реакции типа распада химических элементов:



В ходе своих исследований Резерфорду захотелось «подсмотреть» отдельно заряженную альфа-частицу, т.е. осуществить «голубую» мечту физиков и действительно увидеть собственными глазами «невидимое».

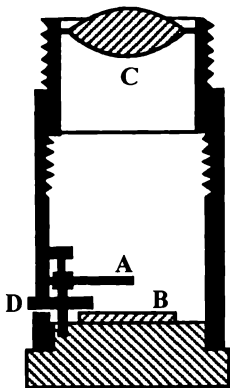
Первый, кому удалось это сделать, был физик Крукс, для чего он изобрел простой прибор, так называемый «*стинтарископ*». Он состоит из маленькой трубки (рис. 14), один конец которой закрыт экраном, покрытым с внутренней сто-



роны флюоресцирующим сернистым цинком. С другого конца в трубку вставлено увеличительное стекло, с помощью которого можно рассматривать экран. Внутри трубки укреплена стальная тонкая иголочка, на конце которой имеется ничтожное количество радия.

Экспериментатор уходит в темную комнату и ждет некоторое время, пока глаза не привыкнут к темноте, после чего он увидит, что экран, покрытый сернистым цинком, подвергается непрерывной бомбардировке альфа-частицами. Экран как бы покрыт «звездочками» вспышек, которые непрерывно меняют свое местоположение на экране – это и есть следы падающих на экран альфа-частиц.

Встала задача подсчета альфа-частиц, достигающих экрана, что в 1908 году и проделал немецкий физик Регенер. Но его метод подсчета оказался не очень надежным, так как он сильно зависел от состояния глаз экспериментатора: глаза быстро утомлялись и поэтому подсчет числа вспышек на экране требовал много предосторожностей. Тогда физики поставили перед собой задачу – заменить метод вспышек



а



б

Рис. 14. «Спитарископ» Крукса.

а) Схема прибора: А – иголочка со следами излучающих альфа-частиц радиоактивными атомными ядрами, В – флюоресцирующий экран, С – линза для наблюдения.

б) Общий вид прибора.



другим, более объективным методом, не зависящим от наших органов чувств. Таких методов было вначале придумано три, их мы и рассмотрим более подробно.

Наиболее простым методом оказался метод *фотографирования*. Альфа-частицы или другие микрочастицы оказывают заметное действие, когда они попадают не только на флюоресцирующий экран, покрытый сернистым цинком, но и на эмульсию фотопластинки. В 1910 году японский физик Киносита, изучая действие отдельной альфа-частицы на эмульсию фотопластинки, нашел, что каждая частица вызывает почернение того зернышка эмульсии, в которое она попадает. После проявления пластинки можно сосчитать число всех частиц, упавших на пластинку, а также получить треки (следы) от пролета частиц в плоскости чувствительного слоя пластинки, когда они пронизывают на своем пути одно за другим зерна светочувствительного покрытия пластинки. Однако фотографический метод оказался не очень удобен на практике и потому не получил широкого распространения.

Гораздо удобнее оказался другой метод – *электрический*, авторами которого стали в 1908 году Резерфорд и его сотрудник Х. Гейгер. Принцип такого метода заключается в следующем: частица, обладающая электрическим зарядом, влетая в сосуд с газом, производит в нем ионизацию. Каждый удачный акт столкновения рождает пару ионов разного знака. Число ионов, образуемых, например, альфа-частицей, составляет до двухсот тысяч пар ионов на каждом сантиметре ее пути, но этого оказывается слишком мало для их обнаружения.

Поэтому Резерфорд и Гейгер не стремились определить ионизацию, создаваемую отдельной частицей. Они сообразили, что можно резко увеличить ионизирующее действие альфа-частицы, если в сосуде с газом, через который она пролетает, будет сильное электрическое поле. Тогда будет создаваться лавинообразная ионизация, которую можно заметить даже не очень чувствительным прибором. Вот такой счетчик и был сконструирован Резерфордом и Гейгером. По оси латунного цилиндра (*рис. 15*), длиной в 25 см и диаметром в 1,77 см проходит металлическая нить, которая изолирована от цилиндра в местах входа и выхода ее из него.

Между проволокой и стенкой цилиндра создается очень сильное электрическое поле, а проволока включается в электрическую цепь с высокочувствительным прибором,

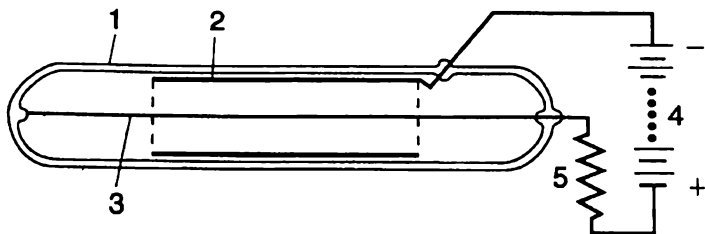


Рис. 15. Схема счетчика Гейгера-Мюллера: 1 – стеклянная трубка, 2 – катод в виде металлического цилиндра, 3 – анод в виде тонкой металлической проволоки, 4 – высоковольтная электрическая батарея, 5 – высокоомное сопротивление.

измеряющим электрический ток от ионизации. В одном из эбонитовых изоляторов сделано маленькое отверстие для впуска альфа-частиц внутрь объема цилиндра. Как только альфа-частицы попадают в цилиндр и начинают производить в нем ионизацию воздуха, каждый из образованных ионов разгоняется сильным электрическим полем, в результате чего получается лавина ионизации. Это позволило отмечать прохождение отдельной заряженной частицы через прибор даже в том случае, когда число частиц достигало тысячи в минуту. Затем Гейгер и его сотрудник Мюллер усовершенствовали такой счетчик, сделав его одним из наиболее замечательных и чувствительных приборов современной экспериментальной физики для подсчета любых атомных частиц, производящих ионизацию.

Рассмотрим теперь *третий*, наиболее известный способ, придуманный английским физиком Вильсоном, который позволил увидеть и изучать пути движения атомных частиц. Основная идея этого метода заключается в том, что если в камере находятся, кроме воздуха, пары воды или какой-нибудь другой жидкости, то они сразу же превращаются в жидкость, если их охладить достаточно резко, например, быстро увеличив объем сосуда, где находится газ, что можно, в частности, осуществить движением поршня. Тогда водяной пар превращается в мельчайшие водяные капельки, рассеянные в виде тумана. Изучая образование возникшего тумана, Вильсон нашел, что капельки образуются там, где есть много микропылинок в камере, и пришел к заключению, что каждая пылинка является центром конденсации. Кроме



пылинок, этими центрами могут служить электроны, а также положительно и отрицательно заряженные ионы. На них тоже может оседать водяной пар, что и позволило Вильсону в 1911 году сконструировать прибор, позволяющий видеть траектории движения отдельных атомных частиц.

Пусть альфа-частица или какая-нибудь другая микро-частица, заряженная электрически, влетает в камеру прибора, в которой находится воздух с водяным паром, тогда на ее пути образуется большое количество ионов. Если в это время быстро с помощью поршня увеличить объем камеры, то водяной пар охладится и капли воды осядут на ионах, густо усеивающих путь прошедшей частицы, – вокруг каждого иона образуется крошечная капелька воды. Но так как ионов очень много, то капельки сольются в целое ожерелье капелек, в длинную струйку воды, ее можно увидеть или сфотографировать. Мы «увидим» туманный «след», который точно воспроизводит путь, по которому только что прошла заряженная микро-частица, т.е. путь отдельного электрона или альфа-частицы. Поистине, камеру Вильсона (рис. 16) можно назвать одним из самых чудесных приборов XX века.

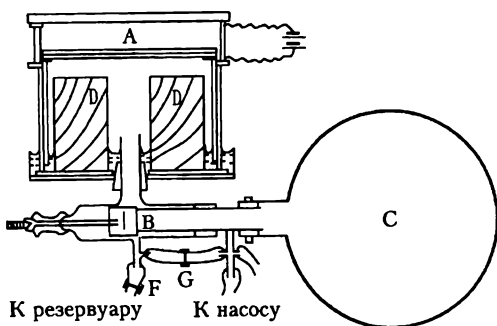


Рис. 16. Схема простейшего варианта камеры Вильсона. А – цилиндрическая камера для наблюдения, В – вентиль для расширения газа, С – камера с откачиваемым воздухом.

Она состоит из закрытой толстым стеклом цилиндрической камеры А, которая создает пространство, где двигаются частицы. Расширение камеры производится вентилем В, соединяющим пространство под «полом» камеры А с сосу-



дом С, из которого предварительно был удален воздух. При открывании вентиля В, «пол» камеры А внезапно опускается до упора, причем камера наполнена насыщенным паром воды. Между «потолком» и «полом» камеры может быть включено электрическое поле для очистки камеры от ионов перед следующим опытом.

В 1952 году Глезер разработал «пузырьковую камеру», в которой роль насыщенного водяного пара играет прозрачная перегретая жидкость. На пути пролетающей заряженной ионизирующей частицы при расширении камеры образуется цепочка капелек пара, фиксирующих след пролетевшей атомной частицы. Этот способ оказался еще более совершенным, чем камера Вильсона.

Наконец, в 1957 году была изобретена еще одна модификация камеры для наблюдения атомных частиц, так называемая «искровая камера», в которой были использованы счетчики атомных частиц (о них речь шла выше). Укажем, что современные пузырьковые и искровые камеры – это большие и сложные устройства, оснащенные всей современной техникой автоматизации.

Итак, мы ознакомились с рядом экспериментальных установок, позволяющих «увидеть невидимое», о чем так мечтали ученые: наблюдать воочию на опыте эффект действия отдельных альфа-частиц и любых заряженных микрочастиц. Они позволили сосчитать число альфа-частиц, испускаемых каждым граммом радия за одну секунду, равное $3,7 \times 10^{10}$ частиц. Поскольку масса атома водорода равна

$$M_H = 1,662 \times 10^{-24} \text{ г},$$

а атомный вес радия в целых числах равен 226, то масса атома радия

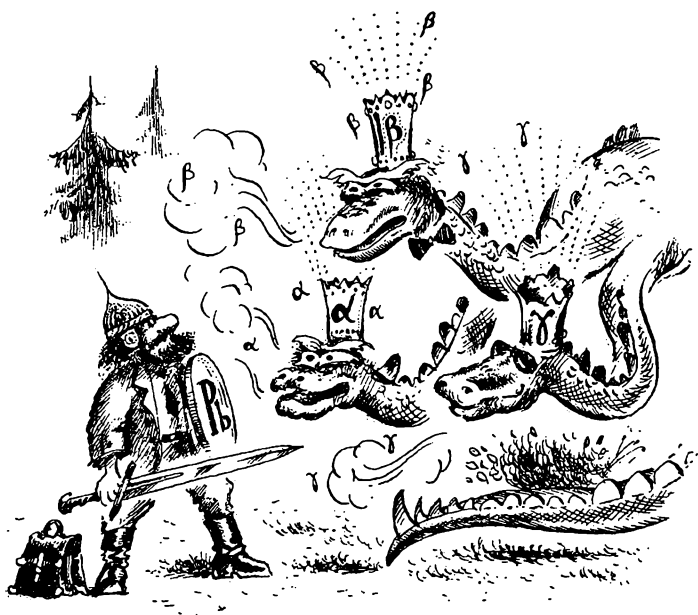
$$M_{Ra} = 1,662 \times 10^{-24} \times 226 = 3,76 \times 10^{-22} \text{ г}.$$

Следовательно, в грамме радия содержится $2,66 \times 10^{21}$ атомов. Из них распадается в секунду $3,7 \times 10^{10}$ атомов, т.е. их доля в грамме Ra составляет $3,7 \times 10^{10} / 2,66 \times 10^{21} = 1,4 \times 10^{-11}$. Чтобы количество радия уменьшилось вдвое, надо ждать 1600 лет! Это время называется *периодом полураспада* атома радия и является одной из главных характеристик любого радиоактивного элемента. По величине периоды полураспада могут быть самые различные в огромном



Гл. 1. Современные физические представления...

интервале величин: у радона, например, он равен всего 3,85 дням. Значения периодов полураспада, как мы увидим дальше, оказались очень важным и для определения возраста разных геологических объектов.





1.12. Теория излучения света.

Гипотеза Макса Планка о квантах света.

Квантовая теория фотоэффекта по Эйнштейну

На время простимся с явлением радиоактивности и обратимся к рассмотрению других вопросов физики микромира, связанных с *излучением* нагретых макротел. В конце XIX века одной из важных проблем физики было опытное и теоретическое изучение так называемого излучения *абсолютно черного тела*, которое только поглощает свет, но не испускает его. Примером такого тела может служить, например, ящик с непроницаемыми для света нагретыми стенками. Его излучение можно получить и исследовать, если проделать в стенке ящика маленькое отверстие.

Немецкий физик Кирхгоф в 1859 году установил закон, согласно которому при тепловом равновесии отношение *излучающей* способности тела, т.е. количества энергии излучения за одну секунду с единичной поверхности в 1 см^2 , к его *поглощающей* способности, т.е. энергии, поглощаемой за секунду одним квадратным сантиметром поверхности, является универсальной величиной – функцией частоты ν электромагнитного излучения и абсолютной температуры T . Излучательную способность обычно обозначают через $E(\nu, T)$, а поглощающую способность через $A(\nu, T)$. Поглощаемая энергия превращается в тепло и тем самым нагревает тело, которым она поглощается. Попытки найти функцию Кирхгофа

$$F(\nu, T) = E(\nu, T)/A(\nu, T)$$

продолжались до конца XIX века. Было только показано, что она связана со спектральной объемной плотностью излучения (т.е. величиной энергии излучения в среде, где распространяется электромагнитное излучение, заключенной в 1 см^3) $\rho(\nu, T)$ формулой:

$$F(\nu, T) = (c/8\pi)\rho(\nu, T).$$

Опыт давал для функции $\rho(\nu, T)$ семейство кривых для спектра излучения абсолютно черного тела, одна из них при некоторой температуре T изображена на графике (*рис. 17а*).

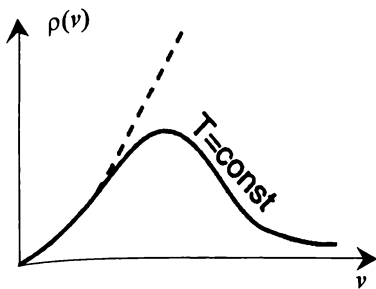


Рис. 17а. Опытная кривая зависимости интенсивности излучения черного тела от частоты света при постоянной температуре T (сплошная кривая), теоретическая кривая (пунктирная), полученная Релеем и Джинсом («ультрафиолетовая катастрофа»).

а



Рис. 17б. Опытные кривые зависимости интенсивности излучения черного тела от длины волны света при различных значениях температуры. Штриховкой обозначена видимая часть спектра излучения.

Каждая кривая снимается при $T = \text{const}$ и сначала растет с частотой, а потом, после достижения максимума, падает до нуля. С ростом T максимумы растут и смещаются в область более высоких частот. На рис. 17б показана та же зависимость от длины волны света λ при различных значениях температуры T .

Физики, опираясь на статистическую механику, которая в середине XIX века уже была создана, не смогли объяснить ход полученных опытных кривых.



Напомним, что согласно общим законам статистической механики был установлен общий закон равномерного распределения энергии по степеням свободы движения в любой физической системе. При тепловом равновесии на каждую степень свободы приходится энергия величиной $kT/2$, где k – постоянная Больцмана. В случае, когда физической системой является излучение, число степеней свободы для излучения абсолютно черного тела в ящике равно числу стоячих волн, которые возможно «уложить» в его полости (под стоячей волной мы понимаем волну, как бы «застывшую» во времени). На каждую степень свободы, т.е. на каждую стоячую волну приходится $kT/2$ за счет кинетической энергии волны и $kT/2$ за счет потенциальной энергии, всего kT . Число стоячих волн растет с ростом частоты (уменьшением длины волны), и поэтому энергия излучения должна расти с ростом частоты или убыванием длины волны, что и давала теория при расчете испускательной способности или плотности излучения $\rho(\nu, T)$ (см. пунктирную линию на *рис. 17а*).

Таким образом, наблюдалось полное расхождение между опытом и теорией. Его назвали «катастрофой Релея-Джинса», по имени ученых – авторов этого теоретического вывода, или «ультрафиолетовой» катастрофой, поскольку расхождение между экспериментом и теорией наиболее ярко проявляется в области высоких частот, которые в спектре видимого света соответствуют фиолетовому свету. Отметим, что теоретический результат был получен не как итог какого-то *приближенного* расчета, а как следствие *самых общих законов* статистической механики.

Ученым пришлось искать выход из очередного парадокса, и его нашел немецкий физик Макс Планк. Случилось это так: 7 октября 1900 года у него в гостях были знакомые физики братья Рубенсы, которые рассказали Планку, что их измерения показали, что при малых величинах ν/T плотность излучения $\rho(\nu, T)$ пропорциональна T . После ухода гостей Планк внимательно подумал об их сообщении и пришел к замечательному выводу. Он понял, как надо видоизменить теоретическую формулу для описания кривых (*рис. 17а*) и придал ей, пока без всяких глубоких оснований, вид:

$$\rho(\nu, T) = (8\pi\nu^3 h/c^3)[\exp(h\nu/kT) - 1]^{-1},$$

из которого при малых значениях $h\nu/kT$, действительно, получается для ρ пропорциональность T , как и говорили братья Рубенсы. Кроме того, при малых отношениях $h\nu/kT$



формула согласовалась с началом кривой Релея-Джинса, а при больших отношениях $h\nu/kT$ его формула переходила в известный закон Вина, полученный им в 1896 году:

$$\rho(\nu, T) = A_1 \nu^3 \exp(-A_2 \nu/kT),$$

где A_1 и A_2 – постоянные. Ранее Планк установил следующую связь средней энергии осциллятора излучения с плотностью излучения $\rho(\nu, T)$

$$\varepsilon(\nu, T) = c^3 \rho(\nu, T) / 4\nu^2.$$

Из двух последних формул вытекает, что

$$\varepsilon(\nu, T) = h\nu [\exp(h\nu/kT) - 1]^{-1}.$$

Легко видеть, что при малых отношениях $h\nu/kT$ можно разложить экспоненту в этой формуле в ряд по степеням показателя, известную из математического анализа: $\exp x = 1 + x + \dots$. Ограничиваясь двумя первыми членами разложения, получим $\varepsilon = kT$, т.е. классический закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. При больших отношениях $h\nu/kT$, пренебрегая в знаменателе формулы единицей по сравнению с экспонентой, получаем:

$$\varepsilon = h\nu \exp(-h\nu/kT),$$

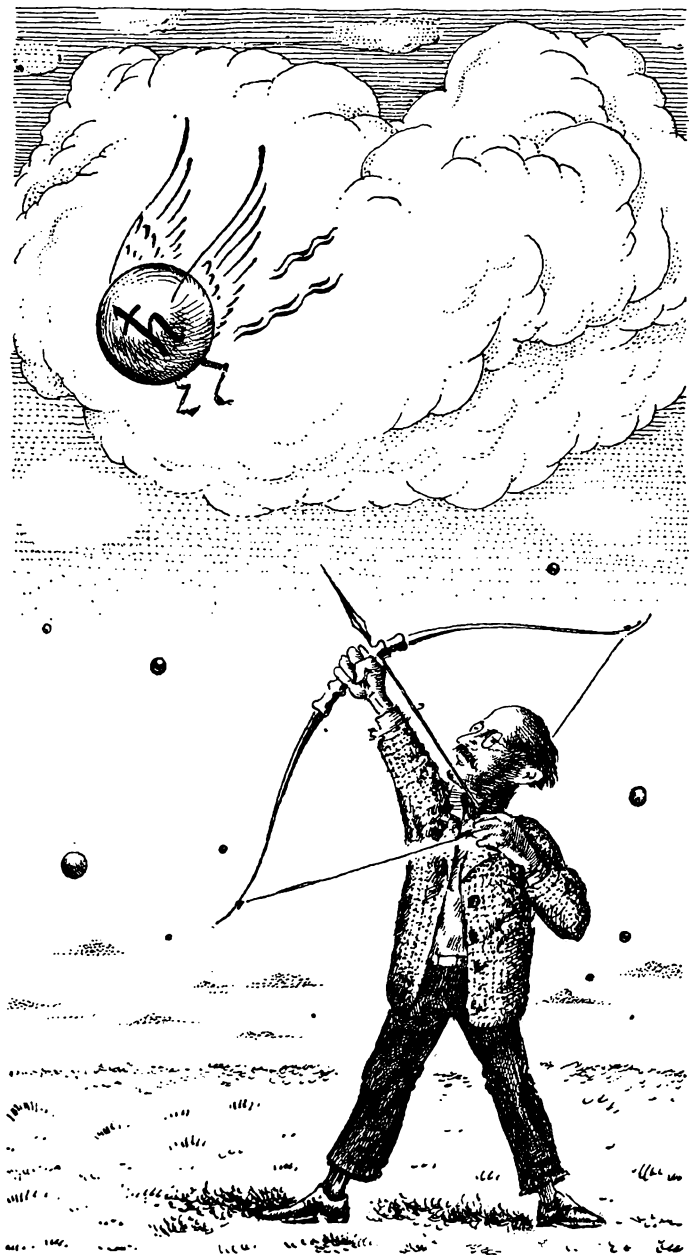
в согласии с законом Вина.

Итак, в формулу Макса Планка вошла новая универсальная постоянная h и новое универсальное произведение $h\nu$. По идее М. Планка, излучатель испускает электромагнитные волны не непрерывно, а порциями, причем энергия каждой порции равна $E = h\nu$.

Чем больше частота, тем больше эти порции, и энергии kT недостаточно, чтобы их возбудить. Следовательно, при тепловом равновесии возбуждается все меньшая доля таких порций (см. спад кривых *рис. 17а* с ростом ν после достижения на них максимума). Из сравнения с опытом Планк определил величину этой постоянной h , которую стали называть *постоянной Планка*. Она имеет размерность *действия*, т.е. произведения энергии на время, а ее измерения дают:

$$h = 6,6262 \times 10^{-27} \text{ эрг сек.}$$

Часто вводят другое выражение, равное постоянной Планка, деленной на 2π , и обозначают его той же латинской буквой, но только перечеркнутой





$$\hbar = h/2\pi = 1,0545 \times 10^{-27} \text{ эрг сек.}$$

Отсюда понятно, почему дискретный (порционный) характер излучения не замечали раньше в экспериментах – порции энергии излучения слишком малы, и поэтому кажется, что свет излучается непрерывно.

Идею световых квантов подкрепила замечательная теоретическая работа Эйнштейна по теории *фотоэффекта*, открытого в 1887 г. Герцем. При изучении этого эффекта Герц обнаружил, что свет выбивает из металлического экрана электроны. В 1888 году профессор МГУ А.Г. Столетов показал, что сила фототока пропорциональна интенсивности излучения, вызывающего эффект. Позже были открыты еще два закона фотоэффекта:

1. Фототок появляется только после освещения вещества светом, начиная с определенной минимальной частоты и выше. Эту минимальную частоту стали называть *красной границей* (поскольку в спектре видимого света красная слабая соответствует наименьшим частотам) фотоэффекта.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $mv_{\max}^2/2$ определяется частотой света и не зависит от его интенсивности, причем она пропорциональна частоте падающего света.

Эйнштейн объяснил опытные законы фотоэффекта на основе квантовых представлений Планка о природе света. Он предположил, что у металла на его поверхности существует энергетический потенциальный барьер, величина которого равна A и который не дает электронам вылетать из металла без внешних воздействий. Поэтому энергия падающего на металл света идет на преодоление этого барьера, а остаток энергии переходит в кинетическую энергию выбитого из металла фотоэлектрона.

На основании закона сохранения энергии:

$$mv_{\max}^2/2 = h\nu - A.$$

Отсюда следует, что функция $mv_{\max}^2/2(\nu)$ изображается прямой линией с наклоном, равным постоянной Планка, что блестяще подтвердил эксперимент. Из формулы Эйнштейна также следует, что минимальная частота, после увеличения которой наблюдается фотоэффект, находится из условия, что



$$mv_{\max}^2/2 = 0, \text{ т.е. } v_{\min} = A/h,$$

Тем самым была определена красная граница фотоэффекта v_{\min} и было показано, что квантовая теория света справедлива не только для разрешения ультрафиолетовой катастрофы, но и в объяснении законов фотоэффекта.

Однако к тому времени оставалась еще проблема – как сочетать квантовые представления о свете с объяснением типично волновых процессов, таких, например, как дифракция или интерференция. В учении о световых явлениях в начале XX века возникла дилемма – так называемая загадка *корпускулярно-волнового дуализма*. С одной стороны, имелась детально разработанная волновая теория света, очень хорошо объяснившая множество свойств света. Она получила прекрасное подтверждение после создания волновой теории электромагнетизма Максвелла, из которой следовало, что световые явления – это частный случай электромагнитных волн. С другой стороны, катастрофа Релея-Джинса заставила Планка ввести в оптику понятие световых квантов, что, после блестящего объяснения законов фотоэффекта Эйнштейном, как будто бы восстановило ньютоновскую корпускулярную теорию света, основанную на представлении о частицах света.

Напомним, что волна характеризуется частотой ν и длиной волны λ , а частица – энергией E и импульсом p . Загадка корпускулярно-волнового дуализма разрешается, если принять, что энергия и импульс частиц света (позже названных фотонами) связаны с характеристиками волны следующим образом:

$$E = h\nu, p = h\nu/c = h/\lambda.$$

Несмотря на блестящие успехи в объяснении фотоэффекта с помощью представлений о квантах света, многие физики относились к гипотезе существования световых квантов с большим недоверием. Например, это сказалось на формулировке Нобелевской премии, присужденной Эйнштейну за теорию фотоэффекта и врученной ему в 1922 году: «За вклад в теоретическую физику и особенно за объяснение законов фотоэффекта», причем о световых квантах там не было сказано ни слова.



1.13. Ядерная модель атома, опыты Резерфорда. Полуклассическая теория атома Бора

Теперь мы вернемся к атому и рассмотрим другое направление в развитии физики микроявлений, связанное с разработкой *модели атома*. Успехи, обусловленные открытием электрона, убеждение, что он является составной частью атома, и одновременно наличие очевидных экспериментальных фактов о нейтральности атома позволили Дж. Дж. Томсону предложить в 1903 г. модель строения атома. В ней предполагалось, что кроме электронов, составной частью атома является какая-то положительно электрически заряженная часть. Её Томсон представлял в виде сферы с размерами атома, т.е. диаметром порядка 10^{-8} см (эта величина была взята, исходя из рентгеновских опытов и величин расстояний между плотно расположенными соседними атомными плоскостями в кристаллах), в которую вкраплены электроны в таком количестве, чтобы их суммарный электрический заряд был бы точно равен по абсолютной величине положительному заряду сферы, а масса сферы должна была равняться почти всей массе атома.

Открытие явления радиоактивности дало физикам в руки мощный инструмент для внешнего воздействия на атомы, чем и воспользовался Резерфорд со своими сотрудниками Мардсенем и Гейгером. Они начали систематические исследования по рассеянию пучков альфа-частиц при их прохождении через тонкие пленки различных металлов и почти сразу обнаружили поразительный факт: иногда наблюдалось отражение очень быстрых альфа-частиц прямо назад от пленки просвечиваемого металла.

Такое явление явно не могло быть объяснено в рамках томсоновской модели атома. Альфа-частицы с энергией в несколько миллионов электронвольт (энергия в один электронвольт – это энергия, которую приобретает электрон, ускоряясь при прохождении разности потенциалов в один вольт), с которыми работали физики, должны были пронизывать томсоновский атом – сферу, как нож пронизывает масло, почти не рассеиваясь и тем более не отражаясь прямо назад. Для объяснения этого факта, авторам опытов пришлось



предположить, что в центре атома есть очень малая область, образующая такое сильное электрическое поле, которое способно отбросить падающую на него быструю альфа-частицу прямо назад. Поэтому Резерфорд предположил, что положительный электрический заряд атома не *размазан* по сфере с радиусом 10^{-8} см, как предполагал Томсон, а сосредоточен в гораздо меньшем объеме в центре атома в виде своеобразного «ядра» с положительным электрическим зарядом, по величине равным суммарному заряду всех электронов, чтобы соответствовать нейтральности атома. Более того, Резерфорд дал точный расчет, как должны рассеиваться альфа-частицы таким заряженным положительно ядром атома, и его теоретический расчет был блестяще подтвержден в экспериментах многих авторов.

В 1911 году Резерфордом была предложена *ядерная модель атома* и началась новая эра в микрофизике – *эра ядерной физики*. Одновременно с объяснением опытов по рассеянию альфа-частиц на ядрах атомов возникло новое серьезное затруднение. В ядерной модели атома электронам отводилась вполне определенная роль: они должны были вращаться вокруг положительно заряженного ядра, как планеты вокруг Солнца. Но по теории Максвелла всякий ускоренно движущийся электрический заряд, в том числе и электрон, при своем движении вокруг атомного ядра из-за центростремительного ускорения должен был непрерывно излучать энергию, приближаться к ядру и, в конце концов, упасть на него, т.е. атом Резерфорда, согласно теории Максвелла, должен быть абсолютно неустойчивой системой.

Физикам нужно было найти ответ на новый «заковыристый» вопрос: почему все-таки атомы существуют как устойчивые физические системы. Значение возникшего парадокса для того времени хорошо охарактеризовал Нильс Бор, который сказал: «Решающим моментом в ядерной модели Резерфорда было то, что она с самого начала со всей ясностью показала: устойчивость атомов нельзя объяснить на основе классической физики, и квантовый постулат – это единственно возможный выход из создавшейся здесь дилеммы. Именно острота несоответствия заставила меня поверить в правильность квантового постулата».

Бор приехал в Манчестер весной 1912 года, когда вся лаборатория Резерфорда была охвачена стремлением выяснить преимущества и недостатки ядерной модели атома, и



Бор стал ее сторонником. Уезжая домой в конце 1912 года, он оставил Резерфорду записку, где указал намеком на свою будущую теорию и ее постулаты.

В начале 1913 года Бор встретился со своим университетским товарищем Хансенем, и, когда Бор рассказал ему идею своей теории, тот его спросил, знает ли Бор спектральные формулы? Бор, оказывается, до сих пор не был знаком с этими опытными результатами и их математическим оформлением. Хансен показал ему формулу Бальмера, описывающую расположение спектральных линий в одной из спектральных серий спектра водорода, и Бору сразу стало ясно, что он на правильном пути. Почти сразу же после встречи с Хансенем Бор написал первую часть своей знаменитой статьи, которая называлась «О строении атомов и молекул».

Что же это за «волшебная» формула Бальмера? Она имеет вид:

$$\nu' = R[(1/2)^2 - (1/n)^2], n = 3, 4, \dots,$$

причем для каждого значения целого числа n мы имеем одну линию серии. Константа R носит название постоянной Ридберга и равна

$$R = 19067,8 \text{ см}^{-1}$$

Величина, стоящая в левой части формулы Бальмера ν' , называется *волновым числом* и имеет смысл обратной величины длине волны $\nu' = 1/\lambda$. Кроме волнового числа, используется также *частота* ν , где $\nu = c/\lambda$.

Используя формулу Бальмера, Бор сразу понял, что в ее правой части стоят разности энергий стационарных состояний атома, и ему оставалось только сообразить, как надо сформулировать основные положения своей теории. Он исходил из трех основных положений или постулатов:

- 1) ядерной модели атома Резерфорда;
- 2) квантового постулата о существовании устойчивых орбит, двигаясь по которым электроны, вопреки классическим законам электродинамики Максвелла, не излучают энергии;
- 3) правил квантования, которые позволяют выбрать дискретный набор устойчивых орбит из непрерывного набора возможных классических орбит.



Дискретный ряд устойчивых орбит можно охарактеризовать значениями их энергий, которые вычисляются чисто классически

$$E_1, E_2, E_3, E_4, \dots$$

Кванты энергии света, излучаемого при переходе электронов с более высоких по энергии орбит на нижние, равны

$$h\nu_{12} = E_2 - E_1; h\nu_{23} = E_3 - E_2; h\nu_{43} = E_4 - E_3; \dots$$

Энергии орбит мы, следуя Бору, определяем классически, но из непрерывной классической совокупности орбит выбираем только такие, которые удовлетворяют правилам квантования, сформулированным Бором. Классическое определение орбит, т.е. вычисление их радиусов r , скорости движения электрона, как линейной v , так и угловой $\omega = v/r$, получаем из второго закона динамики Ньютона. Сила, действующая на электрон при его вращении по орбите, а именно, сила кулоновского взаимодействия с положительным зарядом атомного ядра $+Ze$ (Z – порядковый номер химического элемента в Таблице Менделеева) равна по абсолютной величине

$$Ze^2/r^2.$$

Она вызывает центростремительное ускорение, возникающее при вращении электрона по орбите вокруг атомного ядра,

$$v^2/r = \omega^2 r,$$

Тогда

$$Ze^2/r^2 = mrv^2 \text{ или } mr^3\omega^2 = Ze^2. \quad (13.1)$$

Согласно квантовому условию, угаданному Бором, момент количества движения электрона на орбите

$$mvr = m\omega r^2$$

на устойчивых орбитах равен произведению целых чисел $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ на постоянную Планка \hbar (вот здесь вся «изюминка» теории Бора), т.е.

$$mvr = m\omega r^2 = n\hbar = nh/2\pi \quad (13.2)$$

Деля уравнение (13.1) на уравнение (13.2), получаем для скорости v_n на орбите номера n :



$$v_n = \omega_n r = Ze^2/n\hbar \quad (13.3)$$

Подставляя (13.3) в (13.2), имеем для боровских радиусов квантованных орбит r_{nB} значения:

$$r_{nB} = n^2\hbar^2/Ze^2m,$$

а для угловой скорости ω_n на орбите номера n :

$$\omega_n = 8\pi^2mZ^2e^4/n^3h^3.$$

Для *первой* боровской устойчивой орбиты атома водорода (при $n = 1$ и $Z = 1$) получаем:

$$r_{1B} = \hbar^2/me^2.$$

Это и есть атомная длина, которая зависит только от мировых атомных констант h, e, m .

Энергия электрона, двигающегося по n -ой орбите, равна сумме кинетической энергии

$$E_{кин}^{(n)} = mv^2/2 = mr^2\omega^2/2 = 2\pi^2mZ^2e^4/n^2h^2$$

и потенциальной энергии

$$E_{пот}^{(n)} = -Ze^2/r = -4\pi^2mZ^2e^4/n^2h^2.$$

Для полной энергии получаем:

$$E_n = E_{кин}^{(n)} + E_{пот}^{(n)} = -2\pi^2mZ^2e^4/n^2h^2.$$

Таким образом, для формулы Бальмера из теории Бора, следует

$$\nu' = E_n/h - E_2/h = 2\pi^2me^4h^3(1/2^2 - 1/n^2),$$

где $n = 3, 4, 5, \dots$ Постоянная Ридберга теперь имеет не только экспериментальное значение, но ей дано и теоретическое обоснование:

$$R = 2\pi^2me^4/ch^3.$$

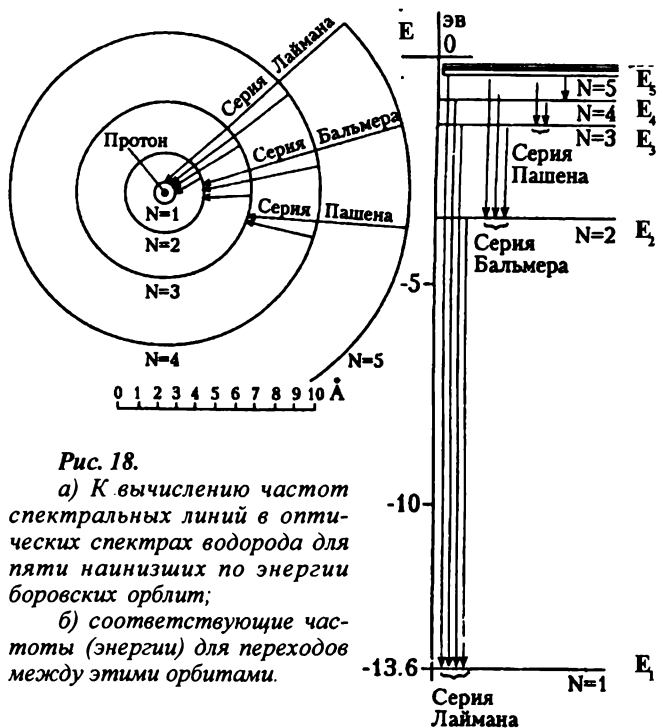
Если в правую часть этого выражения подставить известные значения для m, e, c и h , то получим теоретическую численную величину для постоянной Ридберга, равную $1,097 \times 10^5 \text{ см}^{-1}$, что прекрасно согласуется с ее опытным значением и является очень важным подтверждением правильности теории Бора. Постоянную Ридберга стали использовать, чтобы со спектроскопической точностью определять ряд констант теории.



Еще до теории Бора были установлены эмпирические формулы для других спектральных серий в спектре водорода. Серия Лаймана соответствует переходам с верхних состояний на первую устойчивую орбиту, серия Пашена – переходам с верхних орбит на третью боровскую орбиту и серия Бреккета – переходам на четвертую орбиту. Они полностью согласовывались с теорией Бора.

Переходы для этих серий и серии Бальмера показаны на рис. 18а,б. Далее, были получены формулы для спектральных серий в спектрах водородоподобных ионов, т.е. ионов с одним электроном, но с зарядом атомного ядра, равным $+Ze$ (с $Z > 1$).

Кроме спектроскопических опытов для проверки теории Бора, были проделаны эксперименты с неупругими столкновениями электронов с атомами, которые позволили опре-





делить разности энергий между различными устойчивыми состояниями атомов, а также их ионизационный потенциал, т.е. энергию, необходимую для полного отрыва электрона из атома.

Такие опыты впервые произвели немецкие физики Ф. Франк и Г. Герц. Они показали, что при скоростях электрона, меньших разности энергий первого возбужденного состояния атома и его нормальной энергии, столкновения всегда были упругими. Когда же кинетическая энергия падающего на атом электрона была больше этой разности, столкновения становились неупругими и часть кинетической энергии падающего электрона переходила в энергию возбуждения атома, что тоже подтвердило правильность теории Бора.

Выше было получено выражение для радиуса боровских орбит, в которое входит комбинация произведения мировых атомных констант: h, e, m : $r_{1B} = h^2/me^2$. Подстановка численных констант в абсолютных единицах CGSE дает величину, равную $0,528 \times 10^{-8}$ см, что совпадает с порядком величины атомных расстояний, полученную при определении межплоскостных расстояний в кристаллах твердых тел с помощью дифракции рентгеновских лучей.

Итак, теория Бора удачно описывала много свойств атомов, в первую очередь, водорода. Однако основной ее постулат – о неизлучающих электронных орбитах – и правила квантования, которые Бор ввел для их определения, оставались загадкой для физики.



1.14. Идеи де Бройля.

Элементы квантовой механики

В 1924–1925 годах произошло еще одно событие, которое было связано с появлением работ французского физика-теоретика Луи де Бройля и имело отношение к загадке Бора. Луи де Бройль предположил, что электроны, как и фотоны, не просто частицы, а частицы и волны одновременно. В соответствии с его гипотезой электрон с импульсом p есть и волна с длиной $\lambda = h/p$ и энергией, как у световых квантов Планка и Эйнштейна, $\varepsilon = h\nu$. В известном смысле его работа была аналогична работам Планка и Эйнштейна по квантовой теории света. Только здесь все было «наоборот» – электрон, как полагали вначале, был только частицей, а потом стал и частицей, и волной.

Однако высказанная де Бройлем гипотеза оказалась замечательным предвидением, когда через четыре года американские экспериментаторы Девисон и Джермер доказали на опыте, что электроны, так же как и свет, вызывают явление дифракции при пропускании электронных пучков через кристаллы твердых тел. Опыты американцев повторили с тем же успехом англичанин Дж. П. Томсон (сын Дж. Дж. Томсона) и советский физик П. С. Тартаковский. Все эти опыты по дифракции электронов полностью подтвердили и теоретические формулы де Бройля, которые были приведены выше. Так было доказано, что электроны действительно обладают волновыми свойствами.

Мы видим, что в истории физики произошло повторное введение новых представлений: сначала для света, а через четверть века для частиц – электронов. При этом все возникшие выше идеи, вопросы и сомнения, связанные с проблемой корпускулярно-волнового дуализма, полностью относятся ко всем микрочастицам атомного мира – электронам, протонам, фотонам и т. д.

Итак, в микрофизике в начале XX века скопилось много принципиально новых и необыкновенных загадок и экспериментальных открытий: дискретность в мире атомов, появление новой мировой константы постоянной Планка h , дуализм волна-частица, боровские квантовые постулаты. Возникла необходимость построения новой качественной иной теории. Такой теорией и явилась квантовая механика.



Де Бройль рассматривал простейший случай движения свободного электрона, когда на него не действуют внешние поля. В 1926 году венский физик-теоретик Эрвин Шредингер обобщил работу де Бройля и рассмотрел случай не свободного электрона, а электрона, движущегося в электрическом поле атомного ядра.

Он установил так называемое волновое уравнение, которое стало называться его именем – *уравнением Шредингера*, решение которого, при стремлении силы взаимодействия к нулю, переходит в решение де Бройля для свободного электрона в виде плоской волны. Последняя для распространения вдоль оси x в комплексной форме имеет вид:

$$\psi(x, t) = A \exp[-i(\omega t - 2\pi x/\lambda)]. \quad (14.1)$$

После замены волновых характеристик ω и λ по де Бройлю на корпускулярные энергию $E = \hbar \omega/2\pi$ и импульс $p = 2\pi\hbar/\lambda$ имеем

$$\psi(x, t) = A \exp[-(2\pi i/\hbar)(Et - px)] \quad (14.1a)$$

или, если отделить временной множитель,

$$\psi(x, t) = \exp[-(i/\hbar)Et] A \exp(ipx/\hbar) \quad (14.1b)$$

За несколько месяцев до выхода в свет работы Шредингера немецкие физики В. Гейзенберг, М. Борн и П. Иордан выступили со своим вариантом так называемой *матричной механики*, где они делали упор на вероятности переходов между боровскими стационарными состояниями атомной системы, о которых шла речь в теории Бора. Соответствующие этим переходам частоты электромагнитного излучения и наблюдаются на опыте.

Уравнение Шредингера для определения стационарных состояний электрона в квантовой системе с потенциальной энергией внешних взаимодействий $U(x, y, z)$ имеет вид:

$$\hbar^2/2m(\partial^2\psi/\partial x^2 + \partial^2\psi/\partial y^2 + \partial^2\psi/\partial z^2) + U(x, y, z)\psi = E \quad (14.2)$$

Здесь $\psi(x, y, z)$ – *волновая функция* электрона массы m , а E – искомые значения энергии стационарных состояний электрона в поле, описываемом потенциальной энергией $U(x, y, z)$. В случае движения электрона около атомного ядра с зарядом $+Ze$ эта энергия будет равна

$$U(r) = -Ze^2/r \quad (14.3)$$



Когда энергия (14.3) равна нулю, т.е. для свободного электрона, волновая функция имеет вид плоской волны, которая в комплексной форме и без временного фактора, как это следует из (14.1б), может быть записана в виде

$$\psi(x, y, z) = \exp[-(i/\hbar)(p_x x + p_y y + p_z z)],$$

а энергия свободного электрона имеет вид

$$E(p_x, p_y, p_z) = (1/2m)(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2).$$

Из-за математических трудностей не будем приводить вывода решения волнового уравнения (14.2) с потенциальной энергией (14.3), а только отметим, что его решение полностью подтвердило правильность основных выводов теории Бора, которые мы подробно приводили выше в полуклассическом варианте. В частности, боровский постулат квантования стационарных состояний получается *автоматически* из самого решения, а не с помощью постулирования. Для энергий стационарных состояний в случае атома водорода (с $Z=1$) уравнение Шредингера дает уже знакомые нам значения:

$$E_n = -4\pi m e^4 / 2h^2 n^2,$$

где n – целые числа, которые теперь, следуя Шредингеру, назовем главными квантовыми числами, принимающими значения $n = 1, 2, 3, 4, \dots$.

В решениях уравнений Шредингера появляются и добавочные квантовые числа, прежде всего так называемые азимутальные – l . При каждом значении главного квантового числа n число l принимает значения от нуля 0 до $(n - 1)$, всего n значений:

$$l = 1, 2, 3, \dots, (n - 1).$$

Их появление связано с тем, что при решении уравнения Шредингера (14.2) орбиты получаются не круговые, а эллиптические, и при каждом значении главного квантового числа, т.е. при каждой данной величине энергии электрона может быть n орбит с разными фокусными расстояниями. Таким образом, задача атома водорода оказалась, как принято говорить в математике, *вырожденной*: каждому значению главного квантового числа соответствует n волновых функций, которые зависят от координат и двух параметров – квантовых чисел n и l : $\psi_{nl}(x, y, z)$.



Кроме того, при решении уравнения Шредингера обнаружилось, что каждая из найденных орбит испытывает так называемое *пространственное квантование*, т.е. принимает дискретный ряд возможных ориентаций в пространстве относительно какой-то оси квантования, например, направления вектора индукции внешнего магнитного поля. Число этих возможных ориентаций равно $2l + 1$, поскольку соответствующее «магнитное» квантовое число m принимает следующие $2l + 1$ целочисленные значения:

$$m = -l, -(l-1), -(l-2), \dots, -1, 0, +1, +2, \dots, (l-1), l.$$

Теперь можно сосчитать полное число вырожденных состояний, т.е. состояний с данным главным квантовым числом n . Легко сообразить, что это число равно сумме по l от величин $(2l + 1)$, причем l меняется от 0 до $(n - 1)$. Таким образом, оно равно $2n^2$.

Остановимся на выяснении смысла волновой функции Шредингера ψ , отметив, что решение уравнения (14.2) имеет вид волнового процесса. Изначально в функции $\psi_{n,l,m}(x, y, z)$ как бы заложено представление о том, что электрон обладает волновыми свойствами и способен, например, испытывать явление дифракции. Можно показать, что дифракционные полосы, которые получаются, например, при рассеянии пучка электронов на кристалле, связаны с волновой функцией: интенсивность соответствующих полос или пятен дифракции прямо пропорциональна квадрату модуля волновой функции (заметим здесь, что волновая функция имеет вид комплексного числа, а квадрат модуля всегда положительное действительное число).

Кроме того, картина дифракции получается не от одного опыта с одним электроном, а от многих опытов с пучком электронов. Опираясь на эмпирические факты с волновыми свойствами электронных пучков, немецкий физик-теоретик Макс Борн предложил считать, что квадрат модуля волновой функции как функции координат дает вероятность обнаружить электрон в соответствующей точке пространства, а сама волновая функция является амплитудой этой вероятности. Таким образом, через борновскую идею физики ввели в квантовую механику элемент статистической вероятностной трактовки, которая пролила свет на природу корпускулярно-волнового дуализма.



Проиллюстрируем вероятностную интерпретацию волновых функций на примере результатов решения уравнения Шредингера для задачи об атоме водорода. В общем случае оно является функцией трех координат x , y , z и зависит от трех параметров – квантовых чисел: главного квантового числа n , азимутального l , а также магнитного m . Когда используется полярная система координат, то вместо координат имеется зависимость от радиуса-вектора r и двух полярных углов: широты ϑ и долготы φ . Для первой «орбиты», т.е. энергетически наинизшего состояния с главным квантовым числом $n = 1$, с азимутальным и магнитным квантовыми числами, равными нулю ($l = m = 0$), волновая функция обладает сферической симметрией и в полярных координатах равна:

$$\psi_{100}(r) = (Z^3/a_0^3)^{1/2} \exp(-Zr/a_0), \quad (14.4)$$

где a_0 – радиус первой боровской орбиты.

Эта функция представляет собой амплитуду вероятности найти электрон в любой точке сферы радиуса r с атомным ядром, расположенным в ее центре. Сама же вероятность равна квадрату модуля функции (14.4), которая имеет вид:

$$W_{100}(r) = |\psi_{100}(r)|^2 = (Z^3/\pi a_0^3) \exp(-2Zr/a_0). \quad (14.5)$$

Введем величину вероятности нахождения электрона в сферическом слое между двумя бесконечно близкими сферами с радиусами r и $r + dr$. Она равна поверхности первой сферы $4\pi r^2$, умноженной на величину (14.5) и на dr , т.е.

$$D_{100} dr = 4\pi r^2 W_{100}(r) dr \quad (14.6)$$

На *рис. 19* приведены графики функций типа (14.6) для двенадцати стационарных состояний атома водорода (по оси абсцисс отложено расстояние от центра атомного ядра r). Из графиков видно, что на всех кривых имеется один или несколько максимумов. Такие максимумы наблюдаются при определенных значениях радиуса-вектора, а сам радиус близок к соответствующему радиусу боровской орбиты. Таким образом, под «орбитой» мы понимаем теперь сферический слой, в котором с максимальной вероятностью находятся электроны, когда реализуется то или иное стационарное состояние, нормальное (*рис. 20a*) или возбужденное (*рис. 20б*).

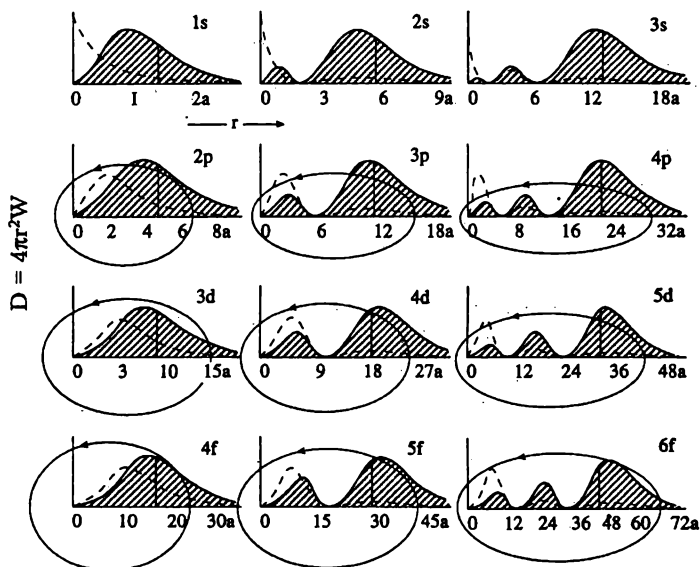


Рис. 19. Радиальные составляющие плотности вероятности для различных стационарных состояний атома водорода в зависимости от расстояния от центра атомного ядра в единицах первого боровского радиуса a_0 .

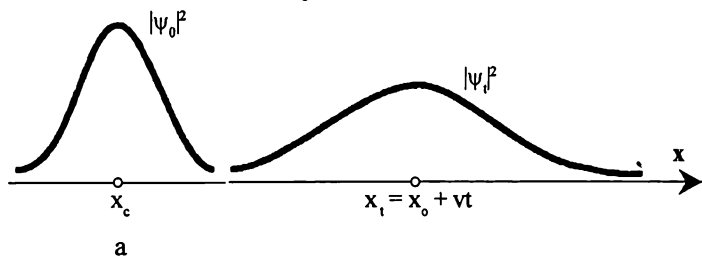


Рис. 20а,б. Картина расплывания волнового пакета квантовой микрочастицы со временем t .

Полученная картина распределения плотности вероятности местонахождения электрона в атомной оболочке хорошо подтверждается в квантово-химических расчетах и наблюдениях при рассмотрении в квантовой химии механизма



образования молекул из соединения атомов. Борновская идея о вероятностной интерпретации квадрата модуля волновой функции Шредингера подтверждается и в опытах по рассеянию микрочастиц и, в частности, по наблюдениям дифракции и интерференции при рассеивании пучков электронов на кристаллах.

До признания борновской идеи о вероятностном характере волновой функции физики думали, что волновая функция описывает некое *физическое материальное поле*. Тогда один электрон в единичном эксперименте давал бы всю дифракционную картину при рассеивании или всю плотность около атомного ядра. Однако во всех таких опытах отдельный эксперимент с одним электроном дает только одну точку его места обнаружения. Вся дифракционная картина получается лишь при проведении опытов со многими электронами, например, с их пучками в опытах по дифракции. Именно поэтому волновая функция – это не амплитуда некоего физического материального поля, она представляет собой амплитуду «*волны информации*», отражая вероятность результатов того или иного возможного статистического опыта с многими электронами.

Таким образом, согласно современной квантовой механике, волновая функция Шредингера заменяет нам классическое описание состояния микрочастиц, при котором нужно было задать точно и одновременно начальные во времени значения положения и импульса (скорости) частицы.



1.15. Квантово-механическое объяснение периодического закона химических элементов Менделеева

Мы уже подготовлены к тому, чтобы дать квантово-механическую интерпретацию Периодической системе химических элементов Менделеева. Предварительно сделаем некоторые замечания:

(1). Каждое квантовое число, с которым мы познакомились при рассмотрении проблемы атома водорода по Шредингеру, «определяет» какую-то конкретную физическую величину, описывающую свойства состояния электрона в атоме. Главное квантовое число n определяет энергию стационарных состояний электрона в атоме, а два другие квантовых числа – азимутальное l и магнитное m (что мы дадим без вывода) определяют: *первое* – величину момента количества движения электрона M в состоянии с данным l ,

$$M = \hbar[l(l+1)]^{1/2},$$

а *второе* – проекцию этого момента на ось квантования z

$$M_z = m\hbar. \quad (15.1)$$

(2). Оказывается, у электрона, кроме момента количества движения при его вращении вокруг атомного ядра, имеется и свой *собственный* момент количества движения, который не связан с движением электрона в атоме. Весьма грубо можно представить его как вращение электрона вокруг собственной оси. Строгое определение этого момента было дано только в «релятивистском» обобщении теории Шредингера, которое позже дал английский ученый П. Дирак. Отметим, что под термином «релятивистский» мы понимаем согласование с требованиями теории относительности Эйнштейна. Поскольку электрон – электрически заряженная микрочастица, то любой его механический момент вызывает появление *магнитного* момента.

Установим связь механического и магнитного момента электрона при его движении в атоме, пользуясь полуклассической теорией Бора. Электрон можно рассматривать как электрический заряд, обладающий магнитным моментом $\mu = JS$, где J – сила тока, а S – площадь контура. Сила тока



равна заряду электрона e , умноженному на частоту вращения по орбите, равную угловой скорости электрона ω , деленной на 2π , т.е.

$$J = e\omega/2\pi,$$

а площадь контура равна площади орбиты, и в случае круговой орбиты имеем:

$$S = \pi r^2.$$

Тогда получаем для магнитного момента μ величину (здесь мы заменяем угловую скорость ω на линейную по формуле $v = \omega r$)

$$\mu = JS = evr/2.$$

Величина момента количества движения $M = m_e vr$, где m_e — масса электрона, и поэтому

$$\mu = eM/2m_e$$

или для проекции магнитного момента на ось z

$$\mu_z = (e/2m_e)M_z.$$

Наименьшее значение M_z соответствует, согласно (15.1) $|m| = 1$, т.е. величине, равной \hbar . Поэтому для минимальной величины μ , которую принято называть электронным *магнетоном Бора* и обозначать как μ_B , получаем (после того, как для перевода в обычные атомные единицы измерения умножим знаменатель на скорость света c)

$$\mu_B = e\hbar/2m_e c \quad (15.2)$$

Проекция магнитного момента на ось квантования z при $|m| > 1$ будет в магнетонах Бора выражаться так:

$$\mu_z = - (e/2m_e c)M_z = - (eh/4\pi m_e c)m = - m\mu_B,$$

где m — магнитное квантовое число.

Немецкие физики Штерн и Герлах проверили на опыте в 1921 году данный вывод. Хотя их опыт и подтвердил в принципе явление пространственного квантования, но при этом наблюдались существенные отклонения от ожидаемых результатов. Они были связаны с упомянутым выше явлением существования собственного механического момента электрона, о котором тогда еще не знали. Позже собственный момент назвали *спином* (от английского слова *spin* — вращение).



Спин впервые был обнаружен при более тщательном изучении спектральных линий при влиянии на них внешнего магнитного поля, так называемом *явлении Зеемана*. Дело в том, что при измерении спектральных линий в магнитном поле наблюдается более сложная картина, чем это предсказывала теория Бора-Шредингера. Более точные измерения показали, что линии в сериях спектра водорода и других элементов являются фактически *дублетными*, т.е. состоят из двух очень близко расположенных по частоте линий — наблюдается своего рода *тонкая структура* спектральных линий. Расстояния между двумя линиями дублета в спектрах водорода равнялись 0,0005 эВ. В спектрах одновалентных щелочных металлов (натрия, калия и других) с увеличением порядкового номера химического элемента Z ширина дублета увеличивалась, например, у калия она равнялась уже 0,007 эВ. Энергия, соответствующая размерам дублета тонкой структуры, определяется *спин-орбитальным магнитным взаимодействием*.

Итак, прямые опыты показали, что число энергетических уровней водородоподобных атомов вдвое больше, чем то, которое дает теория Бора-Шредингера. Для объяснения эффекта удвоения энергетических уровней Г. Юленбек и Г. Гаудсмит в 1925 году высказали гипотезу о существовании у электрона собственного вращения и связанного с ним магнитного момента, т.е. уже упомянутого выше спина электрона. В соответствии с правилами пространственного квантования проекции спина на ось z могут иметь только два значения, а именно $+\hbar/2$ и $-\hbar/2$. Спин элементарной частицы (а позднее было установлено, что протон, нейтрон и другие микрочастицы тоже имеют спин) представляет собой некое внутреннее свойство микрочастицы и всегда имеет одно и то же определенное значение $\hbar/2$. Магнитный же спиновый момент оказывается разным, поскольку в его выражение входит масса микрочастицы.

Именно взаимодействие спиновых и орбитальных магнитных моментов позволило объяснить тонкую структуру спектральных линий. Отметим, что идея о тонкой структуре спектральных линий еще до Г. Юленбека и Г. Гаудсмита была высказана советским академиком Д.С. Рождественским, а классическую теорию спина дали советские физики-теоретики Я.И. Френкель и И.Е. Тамм. Строгая теория спина, как мы уже говорили, была получена английским физиком



П. Дираком в его релятивистском обобщении квантовой теории.

Теперь мы видим, что стационарное состояние электрона в атоме можно определить заданием *четырёх* квантовых чисел: главного n , азимутального l , магнитного m и спинового σ . Первые три принимают уже известные нам значения, а четвертое квантовое число σ , имеет только два значения:

$$\sigma = +1/2 \text{ и } \sigma = -1/2.$$

Кроме учета значений квантовых чисел, необходимо еще учитывать, что их набор подчиняется определенной строгой закономерности, которую установил швейцарский физик-теоретик Паули. Этот закон имеет характер строгого «жилищного» правила или запрета на присутствие в системе определенного числа микрочастиц с определенным набором всех четырех квантовых чисел. Согласно *принципу запрета*, или, как его стали называть по имени его открывателя, *принципу Паули*, в каждой данной атомной системе микрочастиц, например, электронов, данный набор четырех квантовых чисел может встречаться только один раз. Любой другой электрон должен иметь хотя бы одно отличное значение какого-нибудь из четырех квантовых чисел. Так как спиновое квантовое число принимает только два значения, то в атоме в состоянии с одной и той же тройкой квантовых чисел n, l, m может находиться не более двух электронов с различными спиновыми квантовыми числами $\sigma_1 \neq \sigma_2$, т.е., иными словами, сидеть на *одной «орбите»* могут только два электрона и обязательно с антипараллельными спинами. Заметим, что не все микрочастицы подчиняются принципу Паули, но те частицы, для которых этот закон выполняется, называются *фермионами*. К ним относятся электроны, протоны, нейтроны и другие.

Теперь приступим к изложению квантово-механической трактовки Периодического закона Менделеева для химических элементов. В основу такого объяснения положено следующее допущение: можно с известным приближением рассматривать поведение каждого отдельного электрона в атомной оболочке не только водородного или водородно-подобного атома, но и в многоэлектронных атомах с теми же четырьмя квантовыми числами. Иными словами, мы считаем, что в многоэлектронных атомах в первом приближении сохраняется индивидуальное поведение электрона,



несмотря на сильное взаимодействие между электронами атома.

Распределение электронов в атоме по этим приближенным одноэлектронным состояниям определяется двумя требованиями:

1) каждый электрон будет стремиться занять состояние с минимальной энергией;

2) должен строго выполняться принцип Паули.

Согласно указанным требованиям, в нормальном состоянии атома химического элемента с порядковым номером Z оказываются занятыми первые, наиболее «глубокие» энергетические состояния.

Начнем с легчайшего атома водорода. В нормальном состоянии электрон заполняет состояние с квантовыми числами $n = 1, l = m = 0$, а спиновое квантовое число определяется во внешнем магнитном поле. При переходе ко второму химическому элементу в таблице – гелию (He) – порядковый номер $Z = 2$, и электроны надо рассаживать по принципу Паули. Напоминаем, что Z определяет заряд атомного ядра в единицах $+e$ и число электронов в атомной оболочке. В чисто кулоновском поле атомного ядра в одноэлектронном атоме энергия определяется только главным квантовым числом n . Отклонения от кулоновского характера взаимодействия, вызванное наличием других электронов, приводит к зависимости энергии электрона от азимутального квантового числа l . И полная энергия $E + \Delta E$ растет с ростом азимутального квантового числа. В атомах с малым числом электронов отклонение от чисто кулоновского характера поля менее заметно, и зависимость энергии от азимутального квантового числа имеет характер небольшой поправки. С ростом порядкового номера химического элемента Z эти поправки тоже растут, что сказывается на порядке заполнения одноэлектронных состояний. Например, уже в случае атома натрия с $Z = 11$ разность энергий уровней с $n = 3, l = 0$ и $n = 3, l = 1$ составляет 2,1 эВ и оказывается больше половины разности энергии в состояниях с $n = 3, l = 0$ и $n = 4, l = 0$, равной 3,1 эВ. Следовательно, здесь может начаться изменение порядка заселения одноэлектронных состояний.

Основное состояние атома водорода обозначаем как $1s$, что указывает на то, что $n = 1, l = 0$, поскольку азимутальные квантовые числа принято обозначать латинскими



буквами: при $l = 0$ буквой s , при $l = 1$ буквой p , при $l = 2 - d$, $l = 3 - f$, $l = 4 - g$ и т.д.

У гелия He с $Z = 2$ первый электрон находится в состоянии $1s$. Второй электрон будет находиться в том же состоянии, но отличаться от первого иным значением спинового квантового числа σ . Основное состояние атома He будет $1s^2$, где цифра 2 вверху справа означает, что в состоянии $1s$ имеется два электрона. Поскольку при $l = 0$ магнитное квантовое число тоже равно нулю ($m = 0$), то занятыми двумя состояниями исчерпываются все состояния, возможные при $n = 1$. Эти два электрона в основном состоянии атома гелия образуют первый слой атомной электронной оболочки, называемый *K-слоем*.

При добавлении третьего электрона в атоме лития приписывается ему следующее главное квантовое число $n = 2$, а азимутальные квантовые числа имеют два возможных значения $l = 0$ и $l = 1$. Но состояние с $n = 2$, $l = 0$ имеет меньшую энергию, и поэтому третий электрон оболочки атома лития попадает в состояние, которое обозначается как $1s^2 2s^1$.

Разница в энергиях уровней $1s$ и $2s$ очень большая, и, следовательно, третий, валентный, электрон в оболочке атома лития, находящийся в $2s$ состоянии, связан значительно слабее с атомным ядром, чем первые два электрона в состоянии $1s^2$ K-слоя, и больше подвержен внешним воздействиям. Именно третьим электроном в основном и определяются оптические и химические свойства, весьма активные у атома лития, в то время как замкнутость K-слоя в атоме гелия объясняет его химическую инертность. В состоянии $2s$ можно поместить еще один электрон, поэтому состояние следующего, четвертого, электрона в атоме бериллия Be будет также $2s$, а все четыре его электрона будут размещены в состояниях $1s^2 2s^2$.

Добавление пятого электрона при переходе от бериллия (${}^4\text{Be}$) к бору (${}^5\text{B}$) начинает заполнение подслоя $2p$. Здесь магнитное квантовое число принимает три значения $m = +1, 0, -1$, а с учетом спина получаем всего шесть различных состояний, которые последовательно заполняются у химических элементов: бора (${}^5\text{B}$), углерода (${}^6\text{C}$), азота (${}^7\text{N}$), кислорода (${}^8\text{O}$) и фтора (${}^9\text{F}$). Наконец, этот подслой заканчивается у инертного газа неона (${}^{10}\text{Ne}$), имеющего такую электронную конфигурацию: $1s^2 2s^2 2p^6$ (всего в оболочке неона 10 электронов).



Неон, как и гелий, – инертный газ и на нем завершается заполнение второго слоя электронной оболочки – *L*-слоя.

При добавлении одиннадцатого электрона у атома натрия начинается застройка *M*-слоя с главным квантовым числом $n = 3$. У натрия, как и у лития, последний электрон слабо связан с остальными и легко вступает в химические реакции – натрий, как и литий, входит в семейство щелочных металлов. От натрия до аргона идет заполнение восьми состояний: двух $3s$ и шести $3p$. Но заполнением их не заканчивается застройка *M*-слоя, ибо остаются незастроенными состояния с азимутальным квантовым числом $l = 2$, т.е. состояния $3d$, где имеется всего 10 мест. Таким образом, в *M*-слое полное число мест равно сумме: $2 + 6 + 10 = 18$, т.е. $2n^2 = 2 \times 3^2 = 18$. Однако заполнение подслоя с состояниями $3d$ происходит с запозданием из-за того, что состояния $4s$ для калия и $4s^2$ для кальция, оказывается, имеют гораздо более низкую энергию, чем состояния $3d$ и $3d^2$.

Теоретические расчеты дают, что застройка десяти $3d$ состояний должна начаться только со скандия. Химические элементы, у которых застройка одноэлектронных состояний идет с «запозданием», принято называть *переходными химическими элементами*, в отличие от *нормальных*, где этого запаздывания нет. Начиная со скандия, таких переходных элементов восемь вплоть до никеля включительно: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni. У меди уже весь подслей $3d$ застроен, и она принадлежит к числу нормальных элементов. Таким образом, зависимость энергии электронов в атомной оболочке от азимутального квантового числа становится весьма заметной, что и нарушает правильный ход застройки и приводит к появлению переходных химических элементов.

В Периодической таблице Менделеева встречаются и другие группы переходных элементов. Например, при запоздалой застройке $4d$ подслоя, которая начинается от 39-го химического элемента иттрия (Y) и заканчивается на 46-ом элементе палладии (Pd), после чего идет нормальный элемент серебро (Ag), одновалентный металл. Только на 54-ом химическом элементе ксеноне (Xe) заканчивается нормальная застройка $5p$ подслоя, опять остаются пустыми $4f$ состояния. Химические элементы цезий и барий с $Z = 55, 56$ пропускают три слоя: $4f, 5d, 5f$, и для них начинается застройка подслоя $6s$, в лантане с $Z = 57$ появляются электроны в $5d$ состояниях.



Далее идет разгадка появления редкоземельных химических элементов (РЗМ) – *лантаноидов*. В цери с большим запозданием начинается застройка подслоя $4f$. Здесь азимутальное квантовое число $l = 3$, поэтому магнитное квантовое число имеет семь возможных значений $m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ и из-за спина еще по два состояния, итого 14 мест, что и было *загадкой Таблицы Менделеева*, существование 14-ти РЗМ без места. Эта достройка переходных РЗМ заканчивается на 71-ом химическом элементе лютеции, который является металлом. После него идет запоздалая застройка $5d$ переходных металлов, которая заканчивается на золоте Au с $Z = 79$. Оно, как медь и серебро, благородный одновалентный металл. У химических элементов ртути и таллия с $Z = 80, 81$ достраивается $6s$ -слой и, кроме того, у таллия начинается нормальная застройка $6p$ подслоя, заканчивающаяся на инертном газе радоне Rn с $Z = 86$ и с пропущенным подслоем $5f$. У химических элементов франция и радия Fr, Ra с $Z = 87, 88$ застраивается слой $7s$, у актиния Ac с $Z = 89$ появляется один электрон в состоянии $6d$ подслоя.

Затем идут химические элементы переходного ряда актинидов, где с запозданием начинается застройка пропущенного $5f$ подслоя. В эту группу химических элементов после урана (U) с $Z = 92$ входят искусственно полученные химические элементы *трансурановой* группы: нептуний (Np) с $Z = 93$, плутоний (Pu) с $Z = 94$, америций (Am) с $Z = 95$, кюрий (Cm) с $Z = 96$ и берклий (Bk) с $Z = 97$, в которых заполнение 14 местного $5f$ подслоя доходит до восьми мест, занятых электронами. Для последующих трансурановых химических элементов пока нет достаточно определенных данных.

Таким образом, квантовая механика позволила объяснить физический смысл загадочной Таблицы Менделеева с помощью слоистого строения электронной атомной оболочки атомов различных химических элементов. Это наглядно видно из сравнения *табл. 7* и *табл. 8*. для элементов с $19 \leq Z \leq 36$.



Заполнение одноэлектронных энергетических уровней при чисто кулоновском взаимодействии электронов с положительным электрическим зарядом атомного ядра в атомах.

n	Конфигурация с данными n и l							Полное число электронов в слое	Символ слоя
	s (l=0)	p (l=1)	d (l=2)	f (l=3)	g (l=4)	h (l=5)	k (l=6)		
1	1s ²							2	K
2	2s ²	2p ⁶						8	L
3	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰					18	M
4	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹⁴				32	N
5	5s ²	5p ⁶	5d ¹⁰	5f ¹⁴	5g ¹⁸			50	O
6	6s ²	6p ⁶	6d ¹⁰	6f ¹⁴	6g ¹⁸	6h ²²		72	P
7	7s ²	7p ⁶	7d ¹⁰	7f ¹⁴	7g ¹⁸	7h ²²	7k ²⁶	98	Q

Фактнческое заполнение одноэлектронных энергетических уровней
в электронных оболочках атомов химических элементов с $19 \leq Z \leq 36$

Z	Элемент	К		L		M		N		O		P		Q		Ионизационный потенциал (в eV)	
		1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s									
19	K	2	6	2 6	1											4,32	
20	Ca	2	6	2 6	2											6,09	
21	Sc	2	6	2 6 1	2											6,57	
22	Ti	2	6	2 6 2	2											6,80	
23	V	2	6	2 6 3	2											6,76	
24	Cr	2	6	2 6 5	1											6,74	
25	Mn	2	6	2 6 5	2											7,40	
26	Fe	2	6	2 6 6	2											7,83	
27	Co	2	6	2 6 7	2											7,81	
28	Ni	2	6	2 6 8	2											7,606	
29	Cu	2	6	2 6 10	1											7,69	
30	Zn	2	6	2 6 10	2											9,35	
31	Ga	2	6	2 6 10	2	1										5,97	
32	Ge	2	6	2 6 10	2	2										7,85	
33	As	2	6	2 6 10	2	3										9,4	
34	Se	2	6	2 6 10	2	4											
35	Br	2	6	2 6 10	2	5											
36	Kr	2	6	2 6 10	2	6											11,80 13,940



1.16. Соотношение неопределенностей Гейзенберга и принцип дополнительности Бора

В связи со всем вышесказанным, естественно, возникает вопрос: как можно теперь трактовать классические понятия координаты, скорости или импульса электрона? Можно ли вообще применять эти классические понятия к сложному, вероятностному поведению систем квантовых микрочастиц? Подчеркнем, что одним из наиболее важных утверждений квантовой механики является то, что законы в области микромира являются вероятностно статистическими. Например, из теории Бора известно, что если мы возбудим атом, перебросив электрон на более высокую по энергии «орбиту», то спустя некоторое время он может потерять избыток энергии и возвратиться на более низшую орбиту, испустив при этом излишек энергии в виде фотона. Однако промежуток времени, в течение которого атом находился в возбужденном состоянии, является совершенно неопределенным и его нельзя точно предсказать заранее. Можно только вычислить *вероятность* испускания фотона, т.е. определить некое среднее время жизни в возбужденном состоянии.

Квантовая механика позволяет это сделать. Уже говорилось, что один опыт по определению времени жизни возбужденного состояния ничего не скажет о такой вероятности. Для получения определенного ответа надо произвести достаточно большое количество опытов и вывести таким образом величину вероятности испускания возбужденным атомом фотона из поведения статистического коллектива. Затем нужно сравнить результат опыта с тем, что предсказывает решение уравнения Шредингера для соответствующей задачи.

Можно привести и другие примеры, например, задачу по определению времени распада какой-нибудь неустойчивой микрочастицы, скажем, полученного в ускорителе пиона. По снимкам траекторий пионов в камере Вильсона или пузырьковой камере было установлено, что они распадаются на две другие микрочастицы – мюон и нейтрино. При этом некоторые пионы успевают до распада пройти очень неболь-



шое расстояние, другие – несколько больший путь, а третьи – еще больший. Повторяя данный опыт многократно, мы увидим, что среднее время жизни пионов всегда одно и то же (конечно, при определенных постоянных условиях, например, определенном значении их кинетической энергии). Это время и служит мерой вероятности распада пиона, которую можно измерить с большой точностью. Тем не менее, каждый пион в отдельности может распасться раньше или позже всех, так что продолжительность жизни отдельного пиона остается неопределенной.

Очень интересен вопрос о так называемом *туннельном эффекте* в микрофизике и определении его вероятности, т.е. вероятности проникновения микрочастицы сквозь энергетический потенциальный барьер, когда ее энергия ниже высоты этого барьера. Такое явление наблюдается, например, при альфа-распаде атомных ядер. Как показал Г. Гамов, альфа-частицы имеют некоторую вероятность вылететь из атомного ядра, несмотря на высокий энергетический барьер на границе атомного ядра. В отличие от микрочастиц, человек может простоять миллион лет у стены своей комнаты, но не выйдет через нее в соседнюю комнату, просочившись через бетонную или кирпичную кладку.

Однако в квантовой механике не для всех случаев характерна неопределенность и вероятностная интерпретация – многие свойства микрочастиц определяются совершенно точно. Так обстоит дело с определением их массы, заряда, спина, энергий стационарных состояний и т.д. Даже там, где господствуют законы вероятности, последняя может быть либо близка к нулю, либо к единице, что говорит о том, что осуществление этих явлений или их неосуществление почти достоверно. Например, вероятность распада протона с его продолжительностью жизни в 10^{30} лет практически равна нулю, т.е. протон практически стабильная частица, как и электрон. В *макром мире* вероятности различных явлений из-за большого числа микрочастиц, образующих макротела и участвующих в тех или иных процессах, оказываются всегда близкими к нулю или единице, т.е. являются практически достоверными.

Еще раз вернемся к высказанной впервые де Бройлем идее о волнах материи, а также их связи с борновской вероятностной интерпретацией микроявлений. В микромире волны и частицы – не два *разных* объекта, а два различных



аспекта одной и той же реальности, что по существу и подчеркнул Эйнштейн в своей знаменитой работе по квантовому объяснению законов фотоэффекта. Понятие микрочастицы с чисто классической точки зрения очень просто. Ее можно представить себе как детский мячик, размеры которого уменьшены до величин порядка 10^{-8} см или даже меньше, т.е. микрочастица – это мельчайший сгусток вещества шарообразной формы. Труднее представить себе микрочастицу, двигающуюся со скоростью света и не имеющую массы покоя.

Понятие волны в классической физике более трудное и гуманное, нежели понятие частицы. Мы видим, например, волны на поверхности воды, слышим звуковые волны. Еще в детстве мы играли с веревочкой, дергая ее за один конец и таким способом пуская по ней волны. На первый взгляд кажется, что волны совершенно ничего не имеют общего с понятием частица. Частицы находятся во вполне определенной ограниченной области пространства, а волны – какие-то размытые образования, они, казалось бы, лишены массы и определенных размеров. Но несмотря на кажущиеся вполне очевидные различия, квантовая механика соединила с успехом представления о волне и частице.

По мнению физиков, волны обладают *корпускулярными свойствами*, а частицы *волновыми*. Сближение этих понятий требует уступок с обеих сторон. Так, квантовая механика внесла некоторые необходимые изменения в наши представления о частицах: она лишила их (как мы увидим сейчас) определенной локализации, частица оказывается тоже размытой в пространстве, как и волна. Чем больше частица, тем эта нелокальность относительно меньше, но в микромире она всегда очень важна. То, что размеры атома (10^{-8} см) и размеры атомного ядра почти в сто тысяч раз меньше этой величины (10^{-13} см), почти целиком определяет нелокальность маленького электрона, которая не позволяет ему находиться внутри атомного ядра.

Гейзенберг высказал утверждение, что частицы не локализируются именно потому, что они обладают волновыми свойствами. В формуле де Бройля $\lambda_B = h/p$ корпускулярная характеристика микрообъекта – импульс – однозначно определяет его волновую характеристику – длину волны. Если применить эту формулу к такому макрообъекту, как человек,двигающийся со скоростью 5 км/час, то его дебройлевская



длина волны при массе в 70 кг будет исключительно малой и составит всего лишь 10^{-33} см, и квантовые эффекты нелокальности для человека оказываются совершенно несущественными. Отметим, что малость дебройлевской длины волны даже для малых масс микрочастиц определяется исключительной малостью постоянной Планка h .

Формула де Бройля была подтверждена в опытах по дифракции электронных пучков на кристаллах. Но окончательным ключом к пониманию дуализма волна-частица явилась вероятностная интерпретация шредингеровской волновой функции, которая связана с вероятностью найти электрон в данном месте пространства. Там, где квадрат модуля волновой функции велик, велика и вероятность обнаружить электрон при эксперименте, а если он равен нулю, нет и электрона.

Гейзенберг, обсуждая подобные вопросы, рассмотрел различные мысленные опыты, где была поставлена задача об *одновременном* измерении координаты и импульса (или скорости) электрона, и пришел к фундаментальному выводу, что *невозможно одновременно точно определить измерением координату и импульс электрона*. Оказалось, что чем точнее измеряется координата, тем менее точно мы можем одновременно говорить об импульсе того же электрона в результате этого измерения.

В частности, он предположил, что для измерения координаты электрона нужно посмотреть на него, например, в оптический микроскоп, осветив его светом. Но тогда электрон взаимодействует со светом и увеличивает свой импульс. Точность измерения координаты электрона определяется величиной длины волны используемого света в микроскопе λ . Взаимодействуя со светом, электрон получит, таким образом, отдачу от соответствующего фотона света, и его импульс изменится на величину импульса фотона, равного $p = h/\lambda$. Чем меньше длина волны используемого света λ , тем точнее мы знаем координату электрона, но тем неопределеннее известен его импульс, который будет расти. В данном случае неопределенность координаты Δx будет равна длине волны света, т.е. $\Delta x = \lambda$, а неопределенность импульса определяется величиной импульса фотона, т.е. $\Delta p = 2\pi\hbar/\lambda$. Мы видим, что произведение этих неопределенностей будет не меньше, чем $2\pi\hbar$:

$$\Delta x \Delta p \geq 2\pi\hbar,$$



что представляет собой знаменитое *соотношение неопределенностей Гейзенберга*.

Можно придумать и поставить множество опытов, которые всегда приводят к полученному соотношению. Здесь наблюдается аналогия с невозможностью построить вечный двигатель первого рода из-за нарушения в нем закона сохранения энергии. Сами по себе координата или импульс вполне определены, но если пытаться измерить их точно и *одновременно*, то они становятся взаимно неопределенными. И происходит так не потому, что мы что-то не можем познать в микромире, а это есть одно из основных его свойств, которое ограничивает применения классических понятий координаты и импульса к микрочастице, уже не являющейся классической частицей. Соотношение Гейзенберга, таким образом, утверждает, что к микроскопическим квантовым объектам нельзя применять классический способ измерения из-за их корпускулярно-волновой природы.

Нильс Бор, анализируя принцип неопределенности Гейзенберга, пришел к выводу еще более общего принципа квантовой механики — *принципа дополнительности*, который он сформулировал тоже в 1927 году. По принципу Гейзенберга в квантовой теории точно измеряется либо пространственно-временная, либо энергетическая сторона явления, но не обе одновременно. Человек изучает микромир с помощью приборов — макроскопических аппаратов. Одни из них дают возможность узнавать пространственно-временные характеристики микрочастиц, а другие пригодны для определения энергетических свойств микрочастиц, и эти два класса приборов в известном смысле «враждебны» друг другу. Взаимодействие их с объектом микромира таково, что применение одного типа приборов исключает применение одновременно другого, что, согласно положениям квантовой механики, заложено в самой *природе* микрочастиц и не зависит от конструкции прибора, а только от его класса.

«Субъективный момент» при этом связан только со свободой выбора класса прибора экспериментатором. В классической теории прибор определяет только состояние измеряемого объекта, а в квантовой теории прибор часто *активно участвует в создании самого состояния микрочастицы*, придавая ему либо пространственно-временной, либо энергетический смысл. Прибор как бы *приготавливает сос-*



тояние измеряемой системы (данный «поварской» термин вошел прочно в обиходное выражение квантовой механики).

В классической физике основные фундаментальные понятия – координата и импульс, энергия и время. С нашими макроприборами мы идем в микромир с такими макроскопическими представлениями и видим, что микромир не дает замены этих понятий новыми фундаментальными понятиями. Новое в микромире состоит только во взаимоисключающих способах применения классических понятий к объектам микромира. Самое удивительное, что многое в квантовой механике достигается ограничением применения старых понятий.

Здесь полезно будет сказать, как с помощью волновых функций Шредингера можно до некоторой степени определенно локализовать в небольшой области пространства квантовую микрочастицу. Для этого надо создать из волновых функций так называемый *волновой пакет*. Поскольку в квантовой механике каждому состоянию свободной микрочастицы с определенным значением импульса ($\Delta p=0$) соответствует монохроматическая плоская волна де Бройля, (формулы (14.1) и (14.1a)), занимающая все пространство ($\Delta x=\infty$), это согласуется с соотношениями неопределенностей Гейзенберга. Если микрочастица локализована в некой конечной области пространства (может быть, и очень малой), то ее импульс уже не будет являться точно определенным ($\Delta p \neq 0$) – имеется некоторый разброс его возможных значений. Квантово-механическое состояние локализованной частицы представляется суммой (или лучше сказать, интегралом, поскольку значения импульса свободной частицы изменяются непрерывно) монохроматических плоских волн (14.1) с частотами, соответствующими интервалу возможных значений импульса. Наложение (суперпозиция) группы таких волн, обладающих почти одинаковым направлением распространения (из-за близких значений векторов импульса в указанном интервале), но слегка отличающихся по частотам (энергиям), и образует волновой пакет. В квантовой механике это означает, что вероятность местонахождения микрочастицы в области пространства, занятой волновым пакетом, отлична от нуля, а вне области практически равна нулю. Скорость движения центра волнового пакета равна скорости движения микрочастицы.



С течением времени волновой пакет свободной частицы становится шире, он как бы «расплывается» вследствие того, что составляющие волновой пакет монохроматические волны с разными частотами распространяются даже в вакууме с различными скоростями. «Расплывание» волнового пакета соответствует постепенной потере локализации частицы. Если микрочастица не свободна, а находится в каком-то внешнем силовом поле, например, электрон в электрическом поле атомного ядра, то такому связанному электрону в стационарном состоянии будет соответствовать не расплывающийся со временем волновой пакет.

Сказанное выше не означает, конечно, что в микромире нет ничего нового и своеобразного, но оно не отображается всегда новыми понятиями, а часто строится на «обломках» старых понятий классической механики. При изучении микромира мы связаны тесно с макроусловиями, так как человек, познающий объекты микромира, сам является макроприбором, и его чувства подвластны только макронаблюдениям. Человек через свои совершенные макроприборы познает микромир, получая своеобразную *проекцию* микромира на макропоказания своих макроприборов.

Знакомство с особенностями квантовой механики, которые излагались в предыдущих разделах, может привести к мысли, не приведет ли вероятностная интерпретация и соотношение неопределенностей к *неприятностям* при попытке согласовать их с *принципом причинности*? Это очень важный вопрос и с физической, и с философской точки зрения. Огромные успехи классической небесной механики в XVII–XVIII веках внушили людям глубокую веру, в первую очередь у физиков и астрономов, в механистический детерминизм, т.е. в возможность однозначных предсказаний событий в природе. Гордясь могуществом своей науки, французский физик, математик и астроном Пьер Лаплас восклицал: «Дайте мне значения координат и скоростей всех частиц природы в начальный момент, и я предскажу вам всю будущность Вселенной!»

Но в микротеории бессмысленно одновременно точно определять координаты и скорости микрочастиц. Однако механические законы в классике были строго однозначными, а главное открытие квантовой механики – это истинно вероятностный характер законов микромира. Если же на некоторые вопросы нельзя однозначно ответить, то, по представле-



ниям классической физики, нарушен закон причинности, и мы не можем предсказывать эволюцию всех изменений в природе.

Хотя нельзя из-за соотношений неопределенностей одновременно точно задать значения координат и импульсов микрочастиц, но все же мы имеем уравнение Шредингера, с помощью которого можно, задав начальное значение его решения, однозначно найти волновую функцию в любой более поздний момент времени и, так же как и Лаплас, с гордостью воскликнуть: «Дайте нам значение волновой функции всех частиц в начальный момент времени, и мы сможем предсказать все будущее в вероятностном смысле!»

Таким образом, принцип причинности в более сложном варианте *сохранен* и в квантовой механике: из полностью определенного (в вероятностном смысле) начального состояния однозначно по уравнению Шредингера следует единственно возможное конечное состояние.



1.17. Математический аппарат квантовой механики

При рассмотрении применений макроприборов очень важна роль математического аппарата, используемого в квантовой механике. Мы не можем во всей полноте рассмотреть эту проблему, и при первом чтении данный раздел курса можно пропустить.

Надо сразу же отметить, что математический аппарат в квантовой механике держит любого исследователя в рамках строгой и правильной ориентации в самых запутанных лабиринтах микромира. Вспомним, как рождалась квантовая механика и ее математический аппарат. Для этого надо представить себе взаимоотношение квантовой и классической механики. Первая есть более общая теория, которая должна содержать в себе вторую как предельный частный случай. Что же нам может дать такой предельный переход, как его нащупать? Мы уже видели, что переход к квантовым представлениям и в области световых явлений, и в проблемах, где функционируют микрочастицы, связан с появлением новой мировой квантовой постоянной – постоянной Планка h . Именно в тех случаях, когда этой постоянной, несмотря на ее малость, нельзя пренебречь, явления приобретают квантовый аспект. В тех же случаях, когда ее можно приравнять к нулю, мы приходим к частному случаю менее общей классической теории.

Исторически математический аппарат квантовой механики строился на обобщении принципов классической механики. В очень краткой и элементарной форме попытаемся показать этот путь обобщения.

В основе классической механики лежит фундаментальная величина, которая называется функцией Гамильтона H , равная в простейшем случае сумме кинетической и потенциальной энергии механической системы, т.е.

$$H_{\text{клас}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}.$$

В общем случае H является функцией трех координат x, y, z и трех составляющих импульса p_x, p_y, p_z всех частиц системы и времени t . Если не рассматривать случай, когда есть зависимость от времени, т.е. ограничиться рассмотре-



нием только стационарных состояний, то в простейшем случае одной частицы функция Гамильтона имеет вид:

$$H_{\text{клас}} = (1/2m)(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) + U(x, y, z). \quad (17.1)$$

В квантовой механике в задаче одной микрочастицы рассматривается эта же функция Гамильтона, но только теперь ее вид будет различен для задач, имеющих дело с экспериментами, в которых используются макроприборы, пригодные для пространственно-временных измерений или для задач, где мы интересуемся энергетическими измерениями, т.е. с приборами другого класса по принципу дополнительности Бора. Вот здесь в виде квантовой функции Гамильтона и происходит качественное изменение по сравнению с ее классической формой – она становится не просто функцией координат и импульсов, а *дифференциальным оператором*.

Такое превращение в дифференциальный оператор происходит по-разному в зависимости от того, в каком из квантовых представлений мы хотим работать. Если в пространственно-временном, то тогда в классической функции Гамильтона (17.1) координаты остаются на том же месте, а слагающие импульса заменяются на дифференциальные операторы по формулам:

$$p_x \Rightarrow (\hbar/i)\partial/\partial x, p_y \Rightarrow (\hbar/i)\partial/\partial y, p_z \Rightarrow (\hbar/i)\partial/\partial z$$

и оператор Гамильтона квантовой задачи приобретает вид:

$$H_{\text{квт}} = - (\hbar^2/2m)(\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2) + U(x, y, z).$$

Уравнение Шредингера в общем виде до выбора того или иного так называемого квантово-механического представления, т.е. выбора определенного типа постановки опыта, обычно пишут как:

$$i\hbar \partial\Psi/\partial t = \hat{H}\Psi,$$

где верхний индекс в виде уголка над символом гамильтониана означает, что мы имеем дело не с классической функцией Гамильтона, а с квантово-механическим дифференциальным оператором. Его конкретный вид будет определяться выбором того или иного квантового представления. Поскольку квантовые величины, описывающие состояния микрочастиц, являются дифференциальными операторами, то для них «алгебра» оказывается особой, в частности, для



произведения двух операторов может не выполняться закон коммутативности, т.е. появляется зависимость от порядка сомножителей в произведении. Например, если мы работаем в координатном представлении, то коммутатор (т.е. разность произведений двух переставленных сомножителей для координаты x и соответствующей слагающей вектора импульса p приобретает вид:

$$x(\partial/\partial x) - (\partial/\partial x)x \neq 0.$$

Неравенство нулю возникает здесь потому, что действуя на какую-то функцию $f(x)$ этим коммутатором, мы получим совершенно разные результаты от действия первого произведения $x(\partial/\partial x)$ и от второго произведения $(\partial/\partial x)x$.

Квантовая механика существенно отличается от классической теории при описании свойств систем одинаковых – *тождественных* – микрочастиц, например, электронов, протонов или нейтронов. В классической механике можно в принципе всегда различать тождественные частицы по их положению в пространстве, т.е. по их координатам, а также по значениям импульса, и пронумеровать их, и тем самым узнать траекторию движения каждой частицы. Поэтому свойства систем из тождественных частиц ничем существенно не выделялись по сравнению со свойствами систем различных частиц, чего в квантовой механике сделать нельзя. Действительно, уже из принципа неопределенностей Гейзенберга следует, что понятие классической траектории микрочастиц неприменимо в квантовой теории. Даже если в начальный момент времени достаточно точно определены координаты микрочастиц и они будут представлены достаточно точно выделенными волновыми пакетами, то, как мы уже видели, эти пакеты со временем будут расплываться и перекрываться. В области их перекрытия уже будет невозможно определить, какую именно частицу мы зафиксируем. Точно так же при столкновении тождественных микрочастиц в принципе невозможно определить, какая из частиц отклонилась в ту или иную сторону, из-за отсутствия определенной траектории и расплывания волновых пакетов. В квантовой механике тождественных микрочастиц последние полностью теряют свою определенную индивидуальность, и мы, таким образом, приходим к квантовому *принципу неразличимости тождественных микрочастиц*.



Выясним теперь, какими свойствами должны обладать волновые функции систем тождественных микрочастиц. Начнем с рассмотрения простейшей системы, состоящей всего лишь из двух частиц. В силу тождественности частиц, волновые функции с переставленными координатами этих частиц должны быть полностью эквивалентными, т.е. при такой перестановке координат волновая функция системы может измениться только на некоторый фазовый множитель, а именно:

$$\psi(\xi_2, \xi_1) = e^{if} \psi(\xi_1, \xi_2),$$

где ξ_1 и ξ_2 означают совокупности трех пространственных координат и проекции спина на ось квантования для частиц 1 и 2, а f – произвольная вещественная постоянная. Если мы еще раз переставим координаты, то вернемся к исходной функции, а фазовый фактор, который примет вид e^{2if} , должен равняться единице. Поэтому первый фактор равняется корню квадратному из единицы, т.е. имеет два значения $+1$ и -1 . Следовательно, для волновой функции будем иметь:

$$\psi(\xi_2, \xi_1) = \pm \psi(\xi_1, \xi_2),$$

т.е. при перестановке координат для изменения волновой функции имеются две возможности – либо она вообще не меняется при знаке плюс, т.е. является *симметричной*, либо меняет знак при знаке минус, т.е. является *антисимметричной*, что будет иметь место для волновых функций любого числа тождественных микрочастиц.

Таким образом, в задачах тождественных микрочастиц мы имеем дело с двумя типами состояний: одни описываются симметричными относительно перестановок координат частиц волновыми функциями, а другие – антисимметричными. Опыт показывает (и это теоретически доказал Паули), что симметрия волновых функций тождественных частиц зависит от спина. Частицы с полуцелым спином $\hbar/2$ (электроны, протоны, нейтроны и другие) описываются антисимметричными функциями и являются *фермионами*. Фотоны, мезоны и другие с целыми спинами \hbar описываются симметричными функциями и являются *бозонами*.

Рассмотрим случай систем тождественных микрочастиц, пренебрегая полностью их динамическим взаимодействием друг с другом. Тогда каждую микрочастицу можно считать находящейся в определенном состоянии, а полную



волновую функцию системы, зависящую от всех n пространственных координат и проекций спинов на ось квантования,

$$\Psi(x_1, y_1, z_1, \sigma_1; x_2, y_2, z_2, \sigma_2; \dots; x_n, y_n, z_n, \sigma_n),$$

представить в виде произведения волновых функций отдельных микрочастиц. В простейшем случае системы двух взаимодействующих микрочастиц мы имеем индивидуальные волновые функции $\psi_\alpha(r_1, \sigma_1)$ в состоянии α и $\psi_\beta(r_2, \sigma_2)$ в состоянии β . Решение уравнения Шредингера будет равно произведению этих функций:

$$\Psi_1 = \psi_\alpha(r_1, \sigma_1)\psi_\beta(r_2, \sigma_2)$$

или, в более простых обозначениях,

$$\Psi_1(1,2) = \psi_\alpha(1)\psi_\beta(2).$$

Из-за тождественности микрочастиц для уравнения Шредингера с той же энергией будет годиться и решение с переставленными координатами микрочастиц:

$$\Psi_2(1,2) = \psi_\alpha(2)\psi_\beta(1).$$

Во втором случае вторая частица перешла в состояние ψ_α , а первая в состояние ψ_β – при одной и той же энергии системы имеем две функции, т.е. двукратное вырождение. Поэтому общее решение будет иметь вид произвольной линейной комбинации таких двух решений:

$$\Psi = c_1\Psi_1 + c_2\Psi_2,$$

где c_1 и c_2 пока произвольны. Так как волновые функции для тождественных частиц могут быть только симметричными или антисимметричными, то произвольность для этих коэффициентов пропадает, и между ними должно быть соотношение: $c_1 = \pm c_2$. Знак плюс соответствует симметричному решению, а знак минус – антисимметричному. Из условия нормировки (т.е. равенства единице интеграла от квадрата модуля волновой функции по всему пространству) мы получаем для постоянных $c_1 = 1/\sqrt{2}$, и, таким образом, если наши частицы бозоны, то волновую функцию можно представить в *симметричном* виде относительно перестановки частиц (т.е. их координат) между состояниями α и β . А именно:

$$\Psi_{\alpha\beta}^{\text{боз}}(r_1, r_2) = (1/\sqrt{2}) [\psi_\alpha(r_1)\psi_\beta(r_2) + \psi_\alpha(r_2)\psi_\beta(r_1)].$$



Для случая фермионов общая функция должна быть выбрана антисимметричной, т.е.

$$\Psi_{\alpha\beta}^{\text{ферм}}(r_1, r_2) = (1/\sqrt{2})[\psi_{\alpha}(r_1)\psi_{\beta}(r_2) - \psi_{\alpha}(r_2)\psi_{\beta}(r_1)].$$

Из этого выражения видно, что если $\alpha = \beta$, то волновая функция $\Psi_{\alpha\beta}^{\text{ферм}}(r_1, r_2) = 0$, т.е. такое состояние отсутствует. Таким образом, мы приходим к уже известному нам принципу Паули и видим, что волновая функция системы фермионов из-за принципа Паули должна быть всегда антисимметричной относительно перестановок координат отдельных частиц.

В заключение сделаем еще одно замечание относительно роли математики в физике. Из всего, что было сказано о математическом аппарате квантовой механики, следует, что математика со своим существующим аппаратом могла быть использована для описания совершенно новых *физических* теорий. Поэтому мы можем с полным правом утверждать, что математика уже содержала в скрытом виде аппарат, пригодный для описания задач новой квантовой физики, и предполагать, что математика в потенции содержит и то, что физикой будет открыто только в будущем, и что наполнит абстрактный математический аппарат конкретным физическим содержанием, еще более общей физической теорией, чем современная квантовая механика и теория поля. В связи с этим мы должны с великой благодарностью вспомнить далекого Пифагора, который первый угадал великую роль математики в познании реального материального мира.



1.18. Релятивистская квантовая механика Дирака. Предсказание и открытие античастиц

При рассмотрении предыдущего материала нам пришлось говорить о том, что микрочастицы обладают собственным механическим моментом – спином, а в силу их электрического заряда также и связанным с ним магнитным спиновым моментом, причем теоретически вопрос о спине был впервые строго решен Дираком в его релятивистском обобщении теории Шредингера. В чем смысл выражения – релятивистское обобщение? Оно означает необходимость учета в теории принципа относительности Эйнштейна, о котором мы будем говорить подробно во второй части курса. Здесь же только укажем, что указанное уточнение теории особенно важно для тех процессов, когда скорости микрочастиц близки к максимально возможной скорости – скорости света в вакууме c . Ее предельное значение тоже является одним из постулатов эйнштейновской теории относительности.

Не вникая в детали теории Дирака, отметим, что она привела не только к доказательству существования спина у микрочастиц, но и к еще более фундаментальному открытию существования у каждой микрочастицы своего непременного партнера – античастицы, т.е. микрочастицы, которая имеет иной знак электрического заряда. Так, например, электрон имеет своим партнером античастицу – позитрон, который отличается от электрона только тем, что его электрический заряд равен $+e$, протон своим партнером имеет антипротон, у которого заряд равен $-e$. Несколько сложнее дело обстоит с нейтральными частицами, например, с нейтроном.

Когда в 1928 году Дирак разрабатывал свою теорию, он прежде всего сформулировал уравнение для релятивистской квантовой микрочастицы, и оно играло для нее ту же роль, что и уравнение Шредингера для нерелятивистского электрона. Из полученного уравнения (которое мы здесь не приводим) следовало, что для свободного электрона возможны два типа состояний: один тип с положительными энергиями, большими, чем получающаяся в теории



относительности энергия покоя (об это подробно речь пойдет во второй части курса), равная $m_0 c^2$, где m_0 – масса покоящегося электрона, c – скорость света, а другой тип с отрицательными энергиями, меньшими чем $-m_0 c^2$. (Рис. 21.)

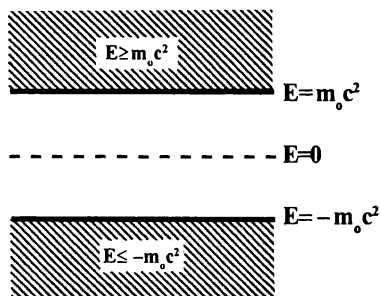
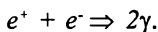


Рис. 21. Энергетический спектр релятивистского электрона по теории Дирака.

Само понятие отрицательной энергии было чуждо физике, поэтому Дирак вначале хотел отбросить его как нереальное. Однако тогда полученная совокупность решений его уравнений была бы неполной, что в математике не допускается. Тогда Дирак, в конце концов, после некоторых колебаний отождествил состояния электронов с отрицательными энергиями с физическим вакуумом. Согласно его представлению, вакуум – не просто пустота, а бесконечная совокупность электронов, занимающих плотно уровни с отрицательной энергией. Такой вакуум ненаблюдаем, но если с одного из уровней с отрицательной энергией один электрон уйдет, то там образуется «дырка», а электрон перейдет на обычный уровень с положительной энергией. Теперь «дырка» уже будет наблюдаема и будет вести себя как положительно заряженная частица с положительной энергией. Это и будет античастица электрона, которую назвали позитроном.

Таким образом, теория Дирака предсказывает процессы рождения пары электрон-позитрон, а также процессы «попадания» электрона в «дырку», т.е. процессы аннигиляции этой пары или ее уничтожения. В последнем случае, если позитрон в веществе встречается с электроном, то он вскоре аннигилирует с ним, превращаясь в два фотона:



Отметим, что энергия каждого фотона равна или больше энергии покоя электрона $m_0 c^2$. Создать позитрон можно с



помощью, например, фотона высокой энергии при его столкновении с ядром атома, когда он может превратиться в пару частиц электрон-позитрон:

$$\gamma \Rightarrow e^+ + e^-.$$

Первым, открывшим след позитрона в камере Вильсона, был физик из США К.Д. Андерсон. Позднее наблюдали образования пар электрон-позитрон при взаимодействии фотонов с атомными ядрами, а также процессы аннигиляции Дж. Чэдвик и другие ученые в Англии, а во Франции Ирен и Фредерик Жолио-Кюри. Кроме того, было обнаружено, что медленный позитрон, столкнувшись с электроном, не всегда аннигилирует с ним сразу, а вначале образует с ним вместе атомоподобную структуру позитроний. В зависимости от взаимной ориентации их спинов получают разные образования: при антипараллельной ориентации возникнет так называемый парапозитроний с временем жизни порядка 10^{-10} с, а при параллельной ориентации спинов – ортопозитроний с временем жизни порядка 10^{-7} с.

Открытие позитрона, первой античастицы, и наблюдение процессов рождения пар и их аннигиляции имели большое значение как для физики, так и для философии естествознания. Оно еще раз показало полное внутреннее единство между двумя формами существования материи: в виде частиц с массой покоя, отличной от нуля (электронами и позитронами) и фотонами, т.е. квантами электромагнитного поля с массой покоя, равной нулю.

Позитрон, в отличие от известных к тому времени, т.е. к началу 30 годов XX столетия, микрочастиц – электрона, протона и нейтрона, не входил в состав устойчивых атомов – их электронных оболочек и атомных ядер. Но с его открытием возникло понятие не только *античастиц*, но и понятие *антивещества*, построенного из одних античастиц. Позитрон достаточно стабилен по масштабам времен жизни в микромире – его время жизни в свободном состоянии порядка 5×10^{-11} с.

Поскольку по теории Дирака античастицы должны быть не только у электрона, но и у других микрочастиц, то стали искать прежде всего античастицу у протона и нейтрона, для чего нужно было подождать создания более мощных ускорителей микрочастиц. Такой ускоритель впервые был создан в Беркли в США в 1955 году, и на нем в пучке протонов с



энергией в 6,3 ГэВ был обнаружен антипротон. Авторами этого открытия были американские физики О. Чэмберлен, Э. Сегре, К. Виганд и Т. Ипсилантис.

Год спустя был открыт и антинейтрон (тоже в США) Б. Корком, Г. Ламбертоном, О. Пиччиони и И. Венцелем. Поскольку нейтрон – микрочастица, лишенная электрического заряда, то непонятно, как быть с античастицей, она ведь тоже должна быть электрически нейтральной. Так в чем же их различие? Как было выяснено, антинейтрон отличается от нейтрона другой ориентацией магнитного спинового момента относительно его спина. Дело в том, что существование магнитного момента нейтрона связано с его внутренней структурой, которая имеет электрическую природу, а у антинейтрона эта электрическая внутренняя природа отличается знаком. Далее мы увидим, что истинно нейтральные частицы (оказывается, есть и такие!) не имеют античастиц, или можно сказать, что их античастица тождественна им самим.

В связи с проблемой античастиц возникает вопрос, имеет ли место симметрия античастиц. Другими словами, если бы нам удалось на опыте все частицы превратить в античастицы, то привело бы это к изменению закономерностей в микромире или нет? До 1957 года в физике была полная уверенность в положительном ответе на такой вопрос, т.е. казалось, что в принципе не должно быть способов, позволяющих определить, из чего построена данная физическая система – из частиц или античастиц. Этот фундаментальный принцип симметрии назван принципом симметрии античастиц, его обозначают символом C и называют инвариантностью относительно зарядового сопряжения. Но в 1957 году было обнаружено, к великому изумлению всех физиков, что слабые взаимодействия нарушают симметрию античастиц, что мы обсудим в одном из следующих разделов курса.



1.19. Строение атомного ядра

Вернемся к рассмотрению проблемы строения атомного ядра. После опытов Резерфорда по рассеянию альфа-частиц в тонких пленках металлов, успехов теории Бора, открытия нейтрона и развития квантовой механики встала проблема выяснения внутренней структуры атомного ядра. До открытия в 1932 году нейтрона в физике знали только две устойчивые атомные частицы – протон и электрон, из которых можно было построить атомные ядра. Так, ядро легкого изотопа водорода, согласно принятым тогда представлениям, состояло из одного протона, ядро тяжелого изотопа водорода – дейтрона – из двух протонов и одного внутриядерного электрона.

Структура же более сложных атомных ядер, начиная с гелия, лития и т. д. до урана, строилась также из двух типов микрочастиц – протонов и электронов. При этом число протонов полагали равным атомному весу, точнее его целочисленной части A , а число внутриядерных электронов равнялось разности между A и порядковым номером химического элемента Z , т.е. величине $(A - Z)$. Внутриядерные электроны нейтрализовали «лишние» заряды протонов, сверх порядкового номера химического элемента Z , поскольку заряд атомного ядра всех изотопов данного химического элемента должен был равняться $+Ze$.

Но при более детальных исследованиях атомных ядер возник ряд существенных трудностей, из-за которых присутствие электронов внутри атомных ядер оказалось противопоказанным. Во-первых, как мы помним, спиновый магнитный момент электрона равен электронному магнетону Бора, т.е.

$$\mu_{eB} = e\hbar/2m_e c, \quad (19.1)$$

а для протона в знаменателе правой части вместо массы электрона m_e стоит масса протона M_p , которая в 1836 раз больше массы электрона m_e ,

$$\mu_{pB} = e\hbar/2M_p c. \quad (19.2)$$

Опыт показал, что в атомных ядрах во всех наблюдаемых случаях магнитные моменты были ближе к величине



(19.2). Можно, правда, было предположить, что магнитные моменты электронов внутри атомного ядра попарно компенсируются из-за их антипараллельности. Однако в атомных ядрах с нечетным числом внутриядерных электронов компенсации невозможно добиться, и магнитный момент таких атомных ядер все равно должен был быть ближе к выражению (19.1), что никогда не наблюдалось. Поэтому и возникла загадка – куда девался этот магнетон Бора внутриядерного электрона?

Вторая «неувязка» с присутствием электронов внутри атомных ядер была связана с определением величины результирующего спина атомных ядер. Протон и электрон имеют одинаковые по величине спины, равные $\hbar/2$. Поэтому результирующий спин атомного ядра будет равен либо целому числу \hbar (при четном числе микрочастиц в атомном ядре), либо полуцелому числу \hbar (при нечетном числе микрочастиц в атомном ядре). Опыт же давал другой результат, например, в основном изотопе химического элемента азота ^{14}N по протонно-электронной модели атомного ядра в его ядре должно быть 14 протонов и 7 электронов (21 микрочастица), и результирующий спин должен быть полуцелым, а опыт показал, что он целый. Такая же «неувязка» наблюдалась и для ряда других изотопов химических элементов.

Наконец, третья «неувязка» возникала в связи с принципом неопределенностей Гейзенберга. Дело в том, что электрон, запертый в тесном объеме атомного ядра (его радиус равен 10^{-13} см), приобретает при этом очень большую неопределенность в импульсе, что влечет за собой появление большой кинетической энергии внутриядерного электрона, и атомное ядро не сможет удержать в своем малом объеме столь «энергичного жителя».

Нужно было создать новую модель атомного ядра. Гейзенберг и советский физик-теоретик Д.Д.Иваненко независимо друг от друга предложили строить атомные ядра только из тяжелых микрочастиц приблизительно одной массы – протона и нейтрона, которые вместе стали именоваться *нуклонами*, т.е. ядерными частицами.

Отметим, что когда появилась в печати работа Чэдвика об открытии нейтрона, то на научном семинаре в теоретическом отделе Ленинградского физико-технического института у Я.И.Френкеля она подробно обсуждалась, и докладчик академик Абрам Федорович Иоффе сказал, что мы после



этого замечательного открытия находимся на пороге новой эры в микрофизике. Он оказался глубоко прав.

Масса покоя нейтрона равна в энергетических единицах 939,550 МэВ, что на 1,293 МэВ больше массы протона в тех же единицах, а магнитный момент нейтрона равен $\mu_n = -1,9135\mu_y$, где μ_y ядерный магнетон Бора, знак минус появился потому, что вектор спинового магнитного момента нейтрона антипараллелен вектору механического момента. По теории Дирака микрочастица со спином $\hbar/2$ должна обладать ядерным магнетонном Бора (19.2), если она имеет электрический заряд e , и нулевым магнитным моментом для нейтральной электрически микрочастицы. Для нейтрона это положение теории, как мы видим, не выполняется, поскольку его спиновый магнитный момент μ_n не равен нулю, с протоном тоже не все в порядке, поскольку его магнитный момент равен не μ_y , а $2,79\mu_y$. Указанный факт свидетельствует о том, что протон и нейтрон имеют сложную внутреннюю структуру, т.е. в них существуют какие-то электрические токи, которые и создают дополнительные вклады в спиновый магнитный момент.

В итоге, по Гейзенбергу и Иваненко, атомное ядро состоит из нуклонов, т.е. протонов и нейтронов. По их модели число протонов равно порядковому номеру химического элемента Z , а число нейтронов равно разности $(A - Z)$, где A – целочисленная часть атомного веса. Таким образом, разные изотопы химического элемента отличаются по числу нейтронов в их атомных ядрах. В атоме же в его оболочку добавляется еще Z отрицательно заряженных электронов, благодаря чему атом в нормальном невозбужденном состоянии электрически всегда нейтрален.

Протоны и нейтроны в атомных ядрах удерживаются силами сцепления, которые должны превышать кулоновские силы, расталкивающие протоны внутри атомного ядра. Кроме того, они должны бороться с разрушающим действием принципа Паули, справедливого не только для электронов, но также и для протонов и нейтронов. Отметим, что силы сцепления между нуклонами называются ядерными силами.

Энергия связи системы микрочастиц (атома или его ядра) определяется работой, которую нужно затратить, чтобы разбить систему на составляющие её отдельные микрочастицы и удалить их друг от друга на такое расстояние, чтобы они практически не взаимодействовали. Кроме того, исполь-



зается понятие удельной энергии связи, т.е. энергии связи системы, приходящейся на одну составляющую её микро-частицу.

Из опыта известны значения удельной энергии связи, приходящиеся на отдельный нуклон в атомном ядре, для всех атомных ядер химических элементов Таблицы Менделеева. На *рис. 22* показана зависимость этой величины от целочисленных значений атомного веса A . В дейтроне она равна 1 МэВ/нуклон, в гелии (${}^4\text{He}$) увеличивается до 7 МэВ/нуклон и затем с небольшими колебаниями достигает максимума около 9 МэВ/нуклон у железа (${}^{60}\text{Fe}$), а затем кривая медленно падает вниз. Атомные ядра с A между 30 и 80 являются самыми устойчивыми.

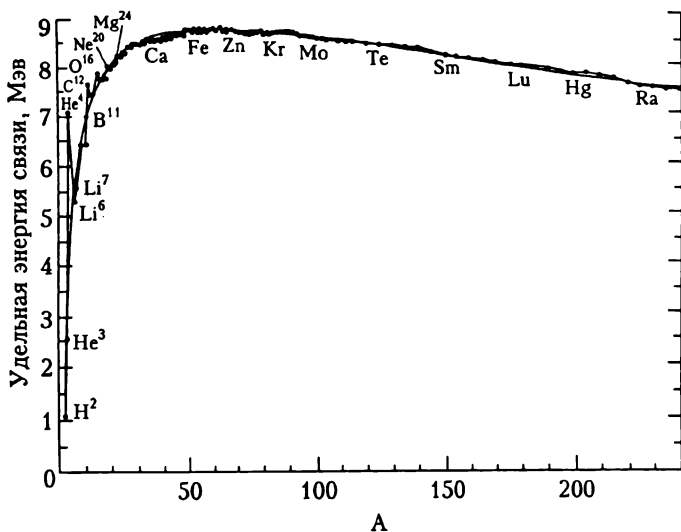


Рис. 22. Кривая зависимости опытных значений удельной энергии связи нуклонов в атомных ядрах от значения массового числа A химических элементов.

Такая зависимость энергии связи от A помогает судить о процессах, происходящих при делении и синтезе атомных ядер. Известно, что при синтезе атома водорода (из протона и электрона) выделяется энергия 13,6 эВ, поскольку масса покоя атома водорода меньше суммы масс покоя отдельных



электрона и протона (мы уже указывали, что, согласно теории относительности Эйнштейна, масса покоя m_0 и энергия покоя E_0 связаны соотношением $E_0 = m_0 c^2$). Аналогично масса покоя (или энергия покоя) двух легких атомных ядер больше массы этих атомных ядер, когда они объединены в одно атомное ядро. Таким образом, при их синтезе выделяется энергия, связанная с разностью масс покоя синтезированного атомного ядра и суммы масс покоя его составляющих.

В случае же тяжелых атомных ядер с выделением энергии будет происходить другой процесс – расщепление или деление исходного атомного ядра на две более легкие части. Сумма их масс покоя будет меньше массы покоя исходного атомного ядра, а разность масс и приведет к выделению энергии. Эта кинетическая энергия разлетающихся обломков исходного атомного ядра используется в ядерных реакторах либо в атомной бомбе, а синтез легких атомных ядер – в термоядерных реакторах или в водородной бомбе.

В структуре атомных ядер еще надо учитывать, что нуклоны являются фермионами (напомним, что так называются микрочастицы со спином $\hbar/2$), и для них, так же как и для электронов, справедлив принцип Паули. Он заставляет нуклоны занимать в нормальном состоянии все возможные энергетические уровни внутри атомного ядра, начиная от самого нижнего и до некоторого предельного, который, естественно, зависит от числа фермионов в системе. Такой предельный уровень носит название уровня Ферми (это очень важная величина и в микрофизике, и в физике твердого тела). Без вывода приведем выражение для энергии Ферми нуклонов в зависимости от их плотности (т.е. числа нуклонов n в объеме в 1см^3), которая равна

$$E_F = - (\hbar^2/8M) \times (3n/\pi)^{2/3}, \quad (19.3)$$

где M – масса нуклона. Оценим численно эту энергию Ферми нуклонов. Для этого прежде всего надо определить плотность нуклонов в атомном ядре n , а также их массовую плотность в г/см^3 . Опыт показывает, что в атомном ядре с массовым числом A почти все нуклоны упакованы в объеме сферической формы с радиусом R , который равен

$$R = 1,2 \times 10^{-13} \times A^{1/3} \text{ см.} \quad (19.4)$$



Поскольку объем V пропорционален R^3 , то он пропорционален и A . Таким образом, все атомные ядра, независимо от их размера, имеют практически одинаковую плотность. Вычислим плотность ядерного вещества в виде числа

нуклонов в 1 см^3 и в г/см^3 . В первом случае: $n = \frac{A}{V}$, но согласно (19.4) объем ядра V :

$$V = (4\pi/3) \times R^3 = (4\pi/3) \times (1,2 \times 10^{-13})^3 \times A \quad (19.5)$$

и следовательно

$$n = A / ((4\pi/3) \times R^3 \times (1,2)^3 \times 10^{-39}) = 1,38 \times 10^{38} \quad (19.6)$$

нуклонов в 1 см^3 . Умножая (19.6) на массу покоя одного нуклона, которая имеет величину порядка $1,67 \times 10^{-24} \text{ г}$, получаем для плотности ядерного вещества следующее значение:

$$\rho = 2,3 \times 10^{14} \text{ г/см}^3, \quad (19.7)$$

т.е. 1 см^3 ядерного вещества весил бы 230 миллионов тонн!

Рассмотрим отдельный нейтрон, находящийся внутри тяжелого атомного ядра. Он испытывает некое усредненное притяжение со стороны всех остальных нуклонов атомного ядра. То есть для него существует некая потенциальная энергетическая яма и в нее попадают все нейтроны атомного ядра, которые, в соответствии с требованиями принципа Паули, заселяют по два нейтрона с противоположными спинами каждый энергетический уровень.

Глубина этой ямы, очевидно, по порядку величины должна равняться сумме удельных энергий связи, которая изображена на *рис. 23* и энергии Ферми E_F . Последнюю мы можем вычислить по формуле (19.3), если примем для числа нейтронов в атомном ядре с атомным весом A величину, равную $A/2$:

$$E_F = (3\hbar^2/8\pi M) \times (0,69 \times 10^{38})^{2/3} = 33,7 \text{ МэВ}. \quad (19.8)$$

Для глубины потенциальной ямы для нейтронов в атомном ядре получаем:

$$E = E_F + E_{св} = 33,7 + 8,5 = 42,2 \text{ МэВ}, \quad (19.9)$$

что изображено на *рис. 23* в виде усредненной потенциальной ямы для нейтронов. На *рис. 24а, б* изображены две по-



Рис. 23. Усредненный ядерный потенциал для нейтронов в атомном ядре радиуса R . Сплошные линии соответствуют занятым состояниям, а пунктирные – свободным состояниям, которые занимают при возбуждении атомного ядра.

тенциальные ямы, для нейтронов и протонов по отдельности, т.к. при расчете энергии для протонов, кроме энергии Ферми и ядерной энергии связи, надо еще учитывать их кулоновское взаимодействие. Как это видно из рис. 24а,б, обе ямы имеют

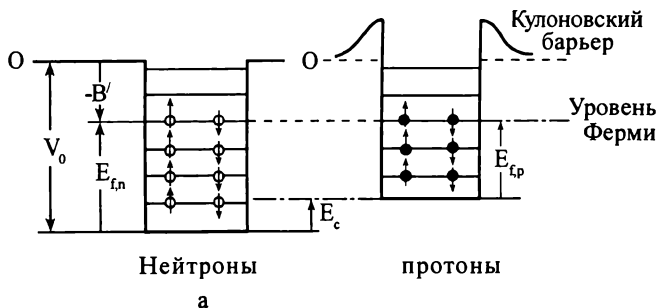


Рис. 24. Потенциальные ямы: а) для нейтронов, б) для протонов. E – опытные значения энергии связи. $E(c)$ – кулоновская энергия протонов, $E(f,n)$ и $E(f,p)$ – соответственно – энергии Ферми для нейтронов и протонов, $V(0)$ – глубина нейтронной потенциальной ямы.

разную форму и разную глубину, а дно потенциальной ямы для протонов приподнято относительно дна нейтронной ямы



на величину кулоновской энергии отталкивания между протонами, которая равна:

$$E_{\text{кул}} = (3/5) \times (Ze)^2 / R \quad (19.10)$$

Такая величина получается, если считать, что электрический заряд протонов равномерно распределен по всему объему атомного ядра, которое имеет вид сферы радиуса R . Кроме того, яма для протонов имеет кулоновский потенциальный барьер, окружающий атомное ядро. Протоны, которые пытаются проникнуть извне внутрь атомного ядра, отталкиваются положительным зарядом $+Ze$ этого ядра. Энергетические уровни, начиная со дна потенциальных ям, плотно заняты в нормальном состоянии атомного ядра: на каждом уровне «сидит» по два нуклона с антипараллельными спинами.

Теория структуры атомных ядер сейчас получила достаточно полное и результативное развитие, но мы не будем больше останавливаться на деталях этой теории и её математическом аппарате.



1.20. Ядерная энергетика. Ядерные процессы в звездах и космические лучи

В этой главе будет дано самое общее представление о ядерной энергетике, её применение как в мирных целях, так и в военном деле – ее связь с проблемами атомной (или ядерной) и водородной бомбы.

Увеличение роли кулоновского отталкивания между заряженными протонами в достаточно тяжелых атомных ядрах делает их менее устойчивыми, чем в атомных ядрах со средним атомным весом, и можно ожидать, что, например, атомные ядра урана могут расщепиться на две части. При этом возникнут два новых атомных ядра среднего атомного веса с более сильной удельной связью, а весь процесс пошел бы с выделением энергии. Однако в нормальном состоянии атомных ядер такому процессу противодействует достаточно высокий потенциальный барьер на границе атомного ядра, вследствие чего вероятность самопроизвольного распада тяжелых атомных ядер очень мала. Тем не менее, советские физики Г.Н. Флёрв и К.А. Петржак в 1940 году обнаружили на опыте спонтанное деление атомных ядер урана. По их данным, период самопроизвольного распада изотопов урана достигает огромной величины в 8×10^{15} лет, что более чем в миллион раз больше возраста Земли.

Однако если атомное ядро урана возбудить, в частности, ударив в него нейтроном, то процесс распада может сильно ускориться. Разность масс покоя ядра урана и типичных продуктов его деления такова, что высвобождаемая энергия оказывается величиной около 200 МэВ. Таким образом, полезная энергия, получаемая при этом, составляет долю $200/2,2 \times 10^5 = 9 \times 10^{-4}$ от массы покоя атома урана (которая равна, как легко подсчитать, 2×10^5 МэВ), т.е. составляет всего лишь 0,1%. Один грамм любого вещества, согласно формуле Эйнштейна, эквивалентен энергии Mc^2 , где M – масса, равная 1 грамму, то есть

$$Mc^2 = 9 \times 10^{20} \text{ эрг} = 2,107 \times 10^{26} \text{ МэВ.}$$

Деление одного грамма урана даёт энергию, равную 0,1% от этой величины, а именно

$$2,107 \times 10^{26} \times 9 \times 10^{-4} = 1,86 \times 10^{23} \text{ МэВ.}$$



Заметим, что при сжигании 1 грамма угля возникает энергия, равная

$$2 \times 9 \times 10^{11} \text{ эрг} = 1,82 \times 10^{17} \text{ МэВ.}$$

Таким образом, уран даёт почти в миллион раз больше энергии при распаде его атомных ядер, чем выделяется при сжигании того же количества угля.

Чтобы представить себе процесс деления атомных ядер более наглядно, рассмотрим простую модель реакции деления при столкновении нейтрона n с атомным ядром изотопа урана ^{235}U и его превращении сначала в атомное ядро изотопа урана ^{236}U , а потом распада на ядра лантана ^{139}La и молибдена ^{95}Mo и вылета двух нейтронов $2n$.

Атомное ядро изотопа урана ^{235}U возбуждается, столкнувшись с нейтроном, и, поглотив его, превращается в атомное ядро изотопа урана ^{236}U . В основном состоянии этот изотоп урана практически стабилен, с очень большим периодом полураспада в $2,4 \times 10^7$ лет, но сильное возмущение приводит его в колебательное движение с большой амплитудой. Поэтому атомное ядро возбужденного изотопа рвется, распадаясь на две части. Обе «половинки» под влиянием кулоновских сил отталкивания разлетаются с большими скоростями в разные стороны. Грубую оценку получаемой кинетической энергии можно сделать, используя кривую для удельной энергии связи на *рис. 22*. При $A = 240$ мы имеем для удельной энергии связи величину порядка 7 МэВ/нуклон, а при $A = 125$ она равна 8 МэВ/нуклон. Таким образом, энергия, получаемая от распада атомного ядра с $A \approx 240$ на два атомных ядра с $A \approx 125$, равна примерно 180 МэВ.

Благодаря вторичным нейтронам, вылетающим из разлетающихся осколков атомных ядер при делении, процесс деления может стать самоподдерживающимся, ибо при каждом акте деления выделяется два или более нейтрона. Если хотя бы одному из них удастся опять вызвать процесс деления, то реакция станет цепной и пойдет сама без усилий извне. Но для этого надо соблюсти определенные условия: чтобы была получена критическая масса и критический объем делящегося продукта, а вторичные нейтроны не уходили за его пределы. В теории ядерных реакторов вводится коэффициент k , величина которого гарантирует ход самопроизвольного деления: $k > 1$. В реакторе также предусмотрен в качестве регулятора сильный поглотитель нейтронов, кото-



рый может сделать этот коэффициент меньше единицы и тем остановить процесс. Первый ядерный энергетический реактор построил Э. Ферми в Чикаго (США) в декабре 1942 года. В России работы по ядерной энергетике проводились в то же время по инициативе А.Ф.Иоффе его учениками и сотрудниками: И.В.Курчатовым, Ю.Б.Харитоновым, Я.Б.Зельдовичем, А.П.Александровым и многими другими. Теперь в мире есть уже очень много реакторов, которые используются на атомных электростанциях для производства электрической энергии в мирных целях.

Массу делящегося продукта можно сделать заметно больше критической. Тогда нейтроны, образующиеся при актах деления, будут вызывать несколько вторичных делений. Нейтроны двигаются в объеме продукта реакции со скоростями больше, чем 10^8 см/с, поэтому надкритическая масса может полностью разлететься с расходом всей запасенной в ней энергии за тысячную долю секунды. Такое устройство и есть *атомная бомба*.

Метод превращения урановой или плутониевой массы в сферу надкритической величины требует вначале обычного химического взрыва. На *рис. 25* показана схематически конструкция атомной бомбы. В начальном состоянии сфера урана или плутония разделена на отдельные секторы с массой меньшей, чем критическая. При химическом взрыве, который вызывается электрическим запалом, происходит тесное сжатие отдельных разделенных до взрыва секторов и образуется надкритическая масса урана или плутония.

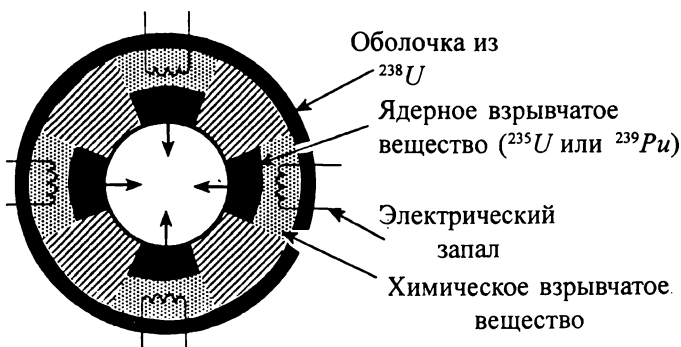


Рис. 25. Схематическое устройство атомной бомбы



По сравнению с обычным химическим взрывчатым веществом, например, тринитротолуолом (тротилом), когда при взрыве одной тонны выделяется энергия порядка 4×10^{16} эрг = 240×10^{20} МэВ, в атомной бомбе при расходе одного килограмма урана 235 или плутония высвобождается энергия величиной 8×10^{20} эрг = 480×10^{24} МэВ, т.е. в 20000 раз больше. Поэтому такая атомная бомба называется 20-ти килотонной бомбой. По порядку величины современные атомные или, точнее сказать, урановые и плутониевые ядерные бомбы в миллионы раз мощнее самых сильных химических взрывчаток типа тротильных. Взрывы атомных бомб опасны не только из-за их большой энергии, но и потому, что после их взрыва остается очень много вредных радиоактивных отходов, которые причиняют большой экологический вред, засоряя окружающее место взрыва пространство.

Но использование урана как основного горючего энергетического материала не безгранично в связи с ограниченными его запасами на Земле. Поэтому, если реакторы атомных электростанций будут работать по схеме, описанной выше, то запасы земного урана будут израсходованы в течение нескольких десятилетий.

В решении данной проблемы важную роль могут сыграть так называемые реакторы-размножители, в которых одновременно с расходом уранового топлива имеет место и производство способного к дальнейшему делению материала. В качестве примера такого процесса рассмотрим ядерный реактор, содержащий неделящийся изотоп урана ^{239}U и воспроизводимый в этом реакторе делящийся изотоп плутония ^{239}Pu . При делении одного атомного ядра урана ^{235}U возникает в среднем 2,91 вторичных нейтронов. Один из них может вызвать деление другого атомного ядра этого же изотопа урана ^{235}U , а другой – захватиться атомным ядром изотопа урана ^{238}U . В результате захвата образуются атомные ядра изотопа плутония ^{239}Pu , способные к делению, как показано на схеме *рис. 26*. В хорошо спроектированных реакторах-размножителях количество материала, способного к делению, может удваиваться за 7–10 лет работы реактора. Таким образом, возникает дополнительный источник создания ядерного горючего.

В энергетических урановых или плутониевых котлах для поддержания процессов расщепления, например, ядер урана-235 необходимо было замедлять быстрые вторичные нейт-

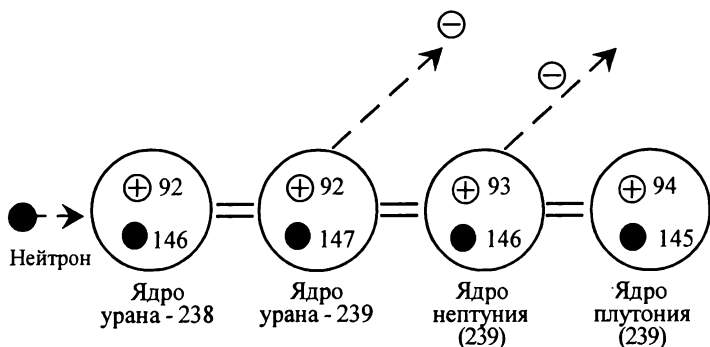


Рис. 26. Схема ядерной реакции в реакторе-размножителе.

роны, возникающие при делении. Для этого использовались графитовые замедлители или замедлители из тяжёлой воды (в которой в качестве водорода присутствует его тяжёлый изотоп дейтерий) или какие-нибудь другие замедлители нейтронов. Помещая замедлитель рядом с природным ураном или плутонием, мы замедляем быстрые вторичные нейтроны, возникающие при развале урана-235 или плутония-239, и они могут снова, пройдя замедлитель, производить реакцию развала урана-235.

В принципе, большие возможности получения энергетического ядерного топлива открываются в связи с идеей синтеза легких атомных ядер. Энергию, выделяемую при таком синтезе, можно рассчитать, используя кривую для удельной энергии связи, изображенную на рис. 22. Из нее видно, что очень легкие атомные ядра связаны значительно менее прочно, чем более тяжелые. Так, удельная энергия связи дейтрона ${}^2\text{H}$ равна 2,2 МэВ/нуклон, а для трития ${}^3\text{H}$ — 2,8 МэВ/нуклон. Для изотопа гелия ${}^4\text{He}$ удельная энергия связи равна 7 МэВ/нуклон, а полная энергия связи равна 28 МэВ. Таким образом, при образовании, например, из двух атомных ядер дейтрона одного атомного ядра гелия выделяется энергия, которая в 6 раз больше, чем энергия, выделяемая при распаде атомного ядра урана. Очень важно, что на Земле в воде озер и океанов имеется практически неограниченный запас дешевого дейтерия, чего мы не можем сказать о других видах ядерного и химического топлива.



Однако серьезным препятствием для осуществления реакции синтеза легких ядер является кулоновское отталкивание между соединяемыми атомными ядрами, которое не позволяет им легко сближаться на малые расстояния порядка 10^{-13} см, где начинают действовать ядерные силы сцепления. Действительно, чтобы сблизить атомные ядра дейтерия с зарядом $+e$ на расстояние 10^{-12} см, надо преодолеть потенциальный энергетический барьер, по величине равный

$$P = e^2/r = (4,8 \times 10^{-10})^2 / 10^{-12} = 2,31 \times 10^{-7} \text{ эрг} = 0,14 \text{ МэВ.}$$

Вычислим температуру T , до которой нужно нагреть газ дейтронов, чтобы средняя кинетическая энергия, приходящаяся на один дейтрон, составляла величину 0,14 МэВ. По закону равномерного распределения энергии по степеням свободы имеем:

$$E = (3/2)k_{\text{B}}T = (3/2) \times 1,38 \times 10^{-16} T = 2,31 \times 10^{-7} \text{ эрг.}$$

Таким образом, для получения нужной энергии температура должна быть равна $T = 1,1 \times 10^9$ К, т.е. миллиарду градусов Кельвина. Но для преодоления энергетического потенциального барьера не обязательно иметь энергию, превышающую его высоту, ведь существует туннельный эффект, т.е. проникновение через барьер. Поэтому необходимая температура для начала реакции синтеза может быть в тысячи раз меньше.

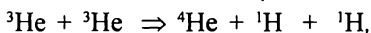
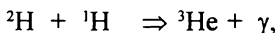
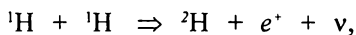
Реакции, идущие при указанных высоких температурах, называются *термоядерными реакциями*. Подобные температуры возникают мгновенно при взрыве рассмотренной выше атомной бомбы, и её вполне достаточно, чтобы «поджечь», например, смесь дейтерия, трития и лития ${}^6\text{Li}$, что и происходит в устройстве, которое мы называем *водородной бомбой*. Уже созданы и испытаны водородные бомбы с мощностью более чем в 20 мегатонн (т.е. эквивалентные 2×10^7 тонн тротила!). В России такая бомба была изготовлена раньше США, и над её сооружением трудился большой коллектив учёных, среди которых следует упомянуть Андрея Дмитриевича Сахарова.

Как и в случае распада тяжелых атомных ядер, при синтезе легких атомных ядер для человечества более важным является создание способов поддержания и регулирования термоядерных реакций в спокойном состоянии в мирных



энергетических установках. Одна из самых трудных технологических задач при попытках сконструировать такую установку заключается в том, как удержать нагретый до миллиона градусов газ исходных продуктов реакции синтеза или плазму и при этом не дать расплавиться и испариться стенкам сосуда, в котором заключен такой газ. Ионы сильно нагретой плазмы пытаются удержать от попадания на стенки сосуда, сжимая плазму с помощью отклоняющего действия очень сильных магнитных полей, но здесь еще очень много нерешенных проблем.

Термоядерные реакции являются также основными в жизни звезд Вселенной. Например, наше Солнце каждую секунду выделяет энергию в количестве $3,86 \times 10^{23}$ эрг/с. Сейчас установлено, что такое большое количество излучаемой Солнцем энергии получается в результате следующей цепочки реакции синтеза между атомными ядрами:



где символ ν обозначает нейтрино, а γ – фотон. Мы видим, что из четырех атомных ядер самого легкого изотопа водорода, т.е. из четырех протонов, образуется атомное ядро изотопа гелия ${}^4\text{He}$ с выделением энергии величиной 28,5 МэВ.

Кратко остановимся на очень интересном явлении микрофизики – *космических лучах*. На поверхность Земли каждую секунду приходит свет от звезд, который за это время приносит энергию порядка 30 эрг/м². Кроме того, из космического пространства каждую секунду поступает еще 40 эрг/м² невидимого излучения, названное *космическим*. Открытие его в 1912 году принадлежит австрийскому физическому О. Гессу, который впервые установил, что эффект ионизации воздуха в атмосфере Земли возрастает с высотой. На этом основании Гесс и выдвинул гипотезу о существовании нового типа излучения, имеющего внеземное, космическое происхождение, что было затем подтверждено немецким физиком Кольхерстером и многими другими учеными. Окончательно внеземное происхождение таких лучей было доказано Р. Милликеном в результате тщательных опытов, проведенных им в 1923–1926 годах, именно он и ввел термин «космические лучи».



Поток энергии, приходящий на Землю из Космоса, приносят микрочастицы высокой энергии, главным образом, протоны и альфа-частицы, создающие в атмосфере Земли вторичные частицы. Число первичных космических микрочастиц, которые попадают в верхние слои земной атмосферы, достигает порядка 1500 микрочастиц в секунду на поверхность Земли в 1 м^2 в одной единице телесного угла с энергией порядка 5 МэВ, но наблюдались и случаи, когда их энергия достигала колоссальных значений до 10^9 МэВ.

Наиболее подробные данные о составе космических лучей были получены для частиц с энергиями $E \geq 2,5$ ГэВ/нуклон. Они приведены в *таблице 9*. В последней строке этой таблицы приведены данные для электронов и позитронов (они объединены) с теми же энергиями, что и у протонов. Средняя атомная масса в четвертом столбце таблицы определялась с учётом относительного количества различных атомных ядер в данной группе. В пятом столбце приведены данные для интенсивности I в виде числа частиц, падающих на поверхность в 1 м^2 за одну секунду в элементе телесного угла в один стерадиан. Из *таблицы 9* видно, что более 90% от числа космических частиц составляют протоны, альфа-частицы дают 7%, а остальные атомные ядра и электроны с позитронами вместе – около 3%.

Космические лучи служат средством для изучения микрочастиц большой энергии, хотя теперь серьезным конкурентом стали микрочастицы, которые получают в мощных ускорителях, где экспериментатор чувствует себя хозяином эксперимента, а не простым наблюдателем природных явлений. На ускорителях мы можем сознательно планировать опыты, в отличие от космических лучей.

В связи с явлением космического излучения, естественно, возникают две основные проблемы:

- 1) вопрос о происхождении космических лучей – откуда они приходят на Землю?
- 2) как происходит их ускорение в космическом пространстве до таких больших энергий?

Еще в 1949 году Ферми выдвинул гипотезу, отвечающую на эти вопросы. Он считал, что космические микрочастицы возникают в облаках межзвездного газа и связанного с ними магнитного поля, которое создается движением электрически заряженных микрочастиц облаков.

Табл 9. Состав космических лучей с энергиями $E \geq 2.5$ ГэВ/нуклон

Группа	Частицы, входящие в группу	Заряд ядра	Средняя атомная масса	Интенсивность, <u>число частиц</u> $\text{м}^2 \cdot \text{сек.} \cdot \text{стер}$
p	Протоны	1	1	1 300
α	Ядра гелия	2	4	94
L	«Легкие» ядра	3-5	10	2, 0
M	«Средние» ядра	6-9	14	6,7
H	«Тяжелые» ядра	≥ 10	31	2, 0
VH	«Очень тяжелые» ядра	≥ 20	51	0, 5
SH	«Самые тяжелые» ядра	> 30	100	$\sim 10^4$
e	Электроны	1	$\frac{1}{1836}$	13

Особенно интенсивно космические лучи стали изучаться, начиная с первой половины 50-х годов XX века в связи с развитием радиоастрономии, т.е. астрономических наблюдений электромагнитного излучения в диапазоне радиочастот. Именно они позволили получить много данных, способствующих выяснению вопроса о происхождении космических лучей, наблюдаемых на Земле. Радиоастрономические наблюдения подтвердили, что местом возникновения этих лучей является именно наша Галактика. Отметим, что «галактическая модель» основывается на представлении, что космические лучи возникают и длительное время нахо-



дятся, т.е. удерживаются в объёме нашей Галактики (как, впрочем, и в других галактиках) и лишь очень медленно вытекают из неё в межгалактическое пространство. Такая «медленность» связана с тем, что внутри галактик существует в межзвёздном пространстве «вмороженное» магнитное поле, в котором движение образовавшихся частиц космических лучей имеет очень сложный и запутанный характер. Поэтому частицы многократно отклоняются и рассеиваются в разные стороны и время их утечки из пределов Галактики оказывается во много тысяч раз больше, чем было бы при прямолинейном движении.

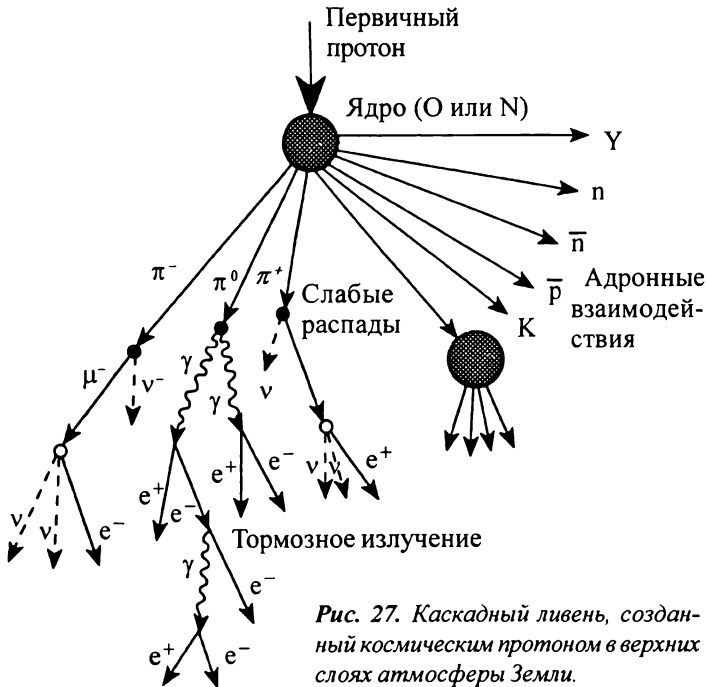


Рис. 27. Каскадный ливень, созданный космическим протоном в верхних слоях атмосферы Земли.



В последнее время с помощью мощных радиотелескопов было установлено, что одним из существенных источников космического излучения является Крабовидная Туманность. Хотя первичные лучи от нее и не доходят до нас из-за удаленности этого космического объекта от Земли, но они создают на своем пути новые микрочастицы, которые уже могут достичь Землю. Сама Крабовидная Туманность является остатком гигантского ядерного взрыва так называемой сверхновой звезды, обнаруженной на Земле еще 4 июля 1054 года и подробно описанной китайскими и японскими учёными. Следовательно, и в звёздном мире могут быть термоядерные взрывы, и в нашей Галактике они происходят каждые несколько сотен лет. Поэтому, возможно, источниками большей части современного космического излучения, приходящего на поверхность Земли, и являются последствия таких термоядерных взрывов, т.е. образования сверхновых звёзд. В частности, на *рис. 27* схематически показано образование каскадного ливня, возникшего от протона космических лучей в верхних слоях земной атмосферы.



1.21. Открытие нейтрино и антинейтрино. Эффект Комптона. Механизм ядерных сил

Рассмотрим вопрос о новых элементарных частицах. Казалось бы, после открытия электрона, протона, нейтрона и соответствующих античастиц их стало уже слишком много. Но в микрофизике, особенно после ввода в строй мощных ускорителей, началось повальное открытие все новых объектов микромира. Сначала К. Андерсон и С. Неддермейер в 1936–1937 годах обнаружили неизвестные ранее микрочастицы в космических лучах, которые они назвали мю-мезонами или *мюонами*. Позже выяснилось, что они принадлежат к семейству микрочастиц, называемых *лептонами*, первым представителем которых является электрон. По существу, мюон – это тяжелый электрон с массой покоя, равной примерно $m_\mu = 207m_e$, где m_e – масса покоя электрона. В отличие от последнего, мюон имеет короткое время жизни $\sim 2,2 \times 10^{-6}$ с. Спин у него тот же, что у обычного электрона – $\hbar/2$, т.е. мюон – типичный *фермион*. Вскоре была открыта античастица мюона, т.е. мюон с положительным электрическим зарядом $+e$. Весь современный материал, связанный с изучением мюонов, показывает, что во всех своих взаимодействиях мюоны ведут себя как обычные электроны и позитроны, только мюоны отличаются от них большей массой покоя и меньшим временем жизни.

Несмотря на большое различие в массах покоя электронов и позитронов от обоих типов мюонов, представляют собой самые легкие микрочастицы с отличными от нуля массами покоя, которые не участвуют в ядерных взаимодействиях. Легче лептонов только фотон с нулевой массой покоя. К лептонам еще присоединяются микрочастицы из этой же группы – нейтрино и антинейтрино, о которых мы поговорим несколько позже.

Следует отметить, что мюоны способны образовывать атомоподобные образования – отрицательно заряженный мюон с протоном и положительно заряженный – с антипротоном, которые принято называть *мезоатомами*. Здесь трудность только в том, что время жизни мюонов – две миллионные доли секунды. Для нашего макромасштаба времен это очень короткое время, а для микромасштабов, наоборот,



очень большое. Свободный мюон живет столько времени, что может при своих скоростях пройти расстояние порядка 10 см, которое в 10^{15} раз больше его размеров. В нашем обычном макромире это соответствует пробегу автомобиля (при его обычной скорости порядка 50 км/час), равному 10^{15} км!

Существует еще один тип микрочастиц: пи-мезоны или пионы. Они бывают трех типов: заряженные электрически с положительным зарядом $+e$ или с отрицательным $-e$, а также нейтральные. Заряженные пионы могут превращаться как в мюоны, так и в электроны и позитроны, а именно:

$$\pi^+(\pi^-) \Rightarrow \mu^+(\mu^-) + \nu_\mu(\tilde{\nu}_\mu),$$

$$\pi^+(\pi^-) \Rightarrow e^+(e^-) + \nu_e(\tilde{\nu}_e),$$

где $\nu_e, \tilde{\nu}_e$ и $\nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu$ – еще неизвестные нам электронные и мюонные нейтрино и антинейтрино. Здесь все различие между электроном и позитроном и обоими типами мюонов состоит только в различии масс покоя.

В 1975 году была открыта еще одна микрочастица из семейства лептонов – *тау-лептон*. Она была обнаружена в ускорителе на встречных пучках электронов и позитронов в США в Стенфорде группой экспериментаторов во главе с М. Перлем. Они наблюдали рождение пар τ^+ и τ^- -микрочастиц при столкновениях электрона с позитроном. Оба типа тау-микрочастиц распадаются на электрон и позитрон или на два типа мюонов с участием нейтрино и антинейтрино (теперь появился и третий тип этих микрочастиц ν_τ и $\tilde{\nu}_\tau$):

$$\tau^- \Rightarrow e^-(\mu^-) + \nu_e(\tilde{\nu}_\mu) + \tilde{\nu}_\tau,$$

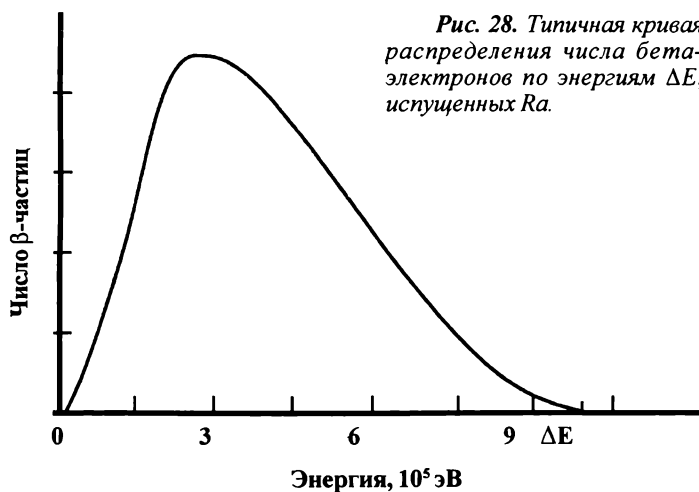
$$\tau^+ \Rightarrow e^+(\mu^+) + \tilde{\nu}_e(\nu_\mu) + \nu_\tau.$$

В отличие от других лептонов, тау-микрочастицы очень тяжелые, их масса покоя почти в два раза больше массы покоя протона, т.е. равна в энергетических единицах 1782 МэВ (напоминаем, что протон «весит» в этих же единицах 938 МэВ).

Теперь займемся описанием открытия очень важных элементарных частиц – *нейтрино и антинейтрино*, кото-



рые упоминались выше. Для этого сначала остановимся на некоторых особенностях и трудностях уже знакомого нам бета-распада. Напомним, что бета-радиоактивное излучение – одна из трех составляющих радиоактивности, которая представляет собой поток электронов или позитронов, возникающих при этом процессе. При детальном изучении энергии бета-частиц, вылетающих из атомных ядер, физики обнаружили очередную загадку: атомное ядро при испускании бета-электрона или бета-позитрона уменьшает свою энергию на определенную величину ΔE , а вылетевшие при бета-распаде электроны имеют непрерывный спектр энергий – от нуля до максимальной величины ΔE . Если изобразить график зависимости числа испущенных бета-электронов или позитронов от энергии, то получим плавную кривую с максимумом где-то посередине между нулем и ΔE (рис. 28).



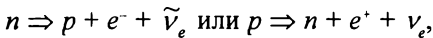
Получалось, что для бета-частиц с энергиями, более низкими, чем максимальная ΔE , как будто бы терялась часть энергии, полученная от атомного ядра, которое испытывало бета-распад, хотя для альфа-частиц и гамма-лучей таких потерь энергии не наблюдалось. И тут у многих физиков, в том числе у Нильса Бора, возникла «крамольная» идея, что при бета-распаде происходит *нарушение закона сохранения энергии* – часть энергии исчезает. Это было бы нарушение



нием одного из основных законов физики – закона сохранения энергии в атомных процессах. Паули в отчаянной попытке «спасти» закон сохранения энергии предположил следующее: при бета-распаде из атомного ядра, излучающего бета-частицы, вылетает не только электрон или позитрон, но и какая-то другая микрочастица, причем частицы в сумме имеют энергию ΔE , так что закон сохранения энергии выполняется всегда. Эту идею Паули впервые сообщил в 1930 году в письме участникам научного семинара в Тюбингене в Германии.

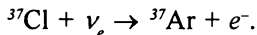
Итак, Паули ввел новую гипотетическую микрочастицу, весьма неуловимую, поскольку ему пришлось предположить, что она лишена электрического заряда (как и нейтрон), но, кроме того, имеет и нулевую массу покоя, поэтому ее назвали *нейтрино*. Именно она уносила с собой ту часть энергии распадающегося атомного ядра, которой недоставало бета-электронам или бета-позитронам. Позже выяснилось, что она «спасала» при бета-распаде не только закон сохранения энергии, но и законы сохранения импульса и момента количества движения.

В 1934 году Ферми, используя идею Паули, разработал первую количественную теорию бета-распада с учетом существования нейтрино, согласно радиоактивный бета-распад представляет собой превращение внутриядерного нейтрона n или протона p соответственно в протон или нейтрон. Испускание при таком процессе электрона или позитрона и нейтрино или антинейтрино (т.е. античастицы для нейтрино) происходит по схеме:

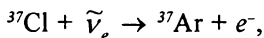


где символы ν_e и $\tilde{\nu}_e$ соответственно относятся к электронному нейтрино и антинейтрино. Теперь мы знаем, что существуют три типа нейтрино и антинейтрино, соответствующие трем типам лептонов – электрону, мюону и тау-частице, а также их античастицам.

Вначале было неясно, не является ли нейтрино истинно нейтральной микрочастицей, тогда бы антинейтрино, ее античастица, была бы ей тождественна. Однако в 1946 году Б. Понтекорво предложил экспериментальное решение этого вопроса. Он рассмотрел ядерную реакцию превращения ^{37}Cl в ^{37}Ar . Из существования бета-распада искусственного изотопа аргона $^{37}\text{Ar} + e^- \rightarrow ^{37}\text{Cl} + \nu_e$ следует обратная реакция



Если нейтрино ν_e и антинейтрино $\tilde{\nu}_e$ не тождественны, то реакция



аналогичная первой, при облучении ${}^{37}\text{Ar}$ пучком антинейтрино от ядерного реактора *не* должна наблюдаться. В опыте, который предпринял Р. Дэвис в 1955–1956 годах на четыреххлористом углероде CCl_4 , эту вторую реакцию не удалось наблюдать. Это доказывает нетождественность нейтрино и антинейтрино и служит основой для введения закона сохранения лептонного заряда L_e . Обе частицы – нейтрино и антинейтрино – имеют соответствующие лептонные заряды разных знаков: для электрона и его нейтрино заряд $L_e = 1$, для отрицательно заряженного мюона и его нейтрино $L_\mu = 1$ и для отрицательно заряженной тау-частицы и ее нейтрино $L_\tau = 1$, а для соответствующих античастиц $L_e = -1$, $L_\mu = -1$, $L_\tau = -1$.

Кроме того, для выяснения различия нейтрино и антинейтрино очень важен тот факт, что нейтрино как безмассовая стабильная частица (здесь, правда, есть еще сомнения) имеет еще одну характеристику, определенную как *спиральность* (l), т.е. знак проекции спина на направление импульса. Из всей совокупности опытных фактов о нейтрино и антинейтрино можно с уверенностью утверждать, что наблюдаются только «левовинтовые» нейтрино с $l = -1/2$, т.е. когда спин частицы антипараллелен ее импульсу. Для антинейтрино спиральность «правовинтовая» с $l = +1/2$, т.е. ее спин параллелен импульсу. Таким образом, теперь нет сомнения в том, что антинейтрино не тождественно нейтрино, а их «противоположность» связана с различием знаков лептонного заряда и спиральности.

Нейтрино и антинейтрино действительно весьма неуловимые микрочастицы. Лишенные электрического заряда, они не производят при своем движении ионизации. Поскольку у них нет, по-видимому, массы покоя, их можно обнаружить только по эффекту отдачи атомного ядра, испускающего эти микрочастицы.

Успешный опыт по измерению явления отдачи ионов лития был проведен Дж. Алленом в США в 1942 году. В этом опыте было установлено, что величина энергии отдачи прек-

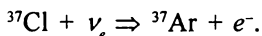


расно согласуется с теоретическими значениями, найденными из закона сохранения импульса, в предположении нулевой массы покоя нейтрино. Такие опыты продолжались и всегда подтверждали существование вылетающих или поглощаемых нейтрино или антинейтрино, однако эти подтверждения носили косвенный характер, поскольку наблюдались не сами нейтрино, а атомные ядра отдачи.

Непосредственным доказательством существования нейтрино считается эксперимент, проведенный в 1953 году Ф. Райнесом и К. Коуэном в США с бета-распадом в реакциях: $n + \nu_e \rightarrow p + e^-$ и $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$.

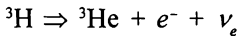
Райнес и Коуэн проводили опыты на ядерном реакторе в Хэнфорде в США, где они использовали поток антинейтрино, получающийся от бета-активных осколков распада изотопов ^{235}U и ^{239}Pu , с интенсивностью 10^{13} частиц на 1 см^2 в одну секунду. Вторая из указанных выше реакций происходила в водороде, входящем в состав сцинтилляционной жидкости с добавкой солей кадмия, и регистрировалась по двум вспышкам. Первая вспышка вызывалась аннигиляцией позитрона с электроном сцинтиллятора, а вторая (через 5–8 мкс) — излучением атомного ядра кадмия, поглотившего нейтрон. Эксперимент повторялся многократно до 1966 года, и его поперечное сечение, т.е. вероятность реакции, определенная в таких опытах, очень хорошо согласовывалась по величине с предсказанным значением по теории Ферми. Поэтому описанные эксперименты можно рассматривать как окончательное подтверждение реального существования свободного нейтрино, предсказанного Паули.

Очень ценную информацию об этих «неуловимых» микрочастицах получили и из астрономии: Солнце и звезды являются мощными излучателями потоков нейтрино. Детекторы нейтринного излучения небесных тел обычно устанавливаются глубоко под поверхностью Земли, на глубине до полутора километра, чтобы подавить фон космического излучения. Для регистрации нейтрино используются большие (до 500 тонн и выше) массы тетрахлорэтилена C_2Cl_4 . Регистрация производится по числу возникающих радиоактивных атомов аргона, появляющихся при уже приводимой выше реакции захвата атомным ядром хлора нейтрино солнечного или звездного излучения:





Задача об определении массы покоя нейтрино и антинейтрино различных типов пока еще не решена. Гипотеза, что их массы равны нулю, делает все расчеты теории более простыми, но эта простота, возможно, иллюзорна, прямые опыты не дают пока убедительных результатов. Получены только оценки верхних пределов для значений масс покоя. Для электронного нейтрино $m(\nu_e) \leq 35$ эВ (массы даны в энергетических единицах), для мюонного нейтрино $m(\nu_\mu) \leq 0,6$ МэВ и для нейтрино тау-частиц $m(\nu_\tau) \leq 250$ МэВ. Кроме того, существует так называемое космологическое ограничение на сумму масс покоя всех сортов нейтрино: $m(\nu_e) + m(\nu_\mu) + m(\nu_\tau) \leq 100$ МэВ, хотя и это ограничение не строго доказано. В 1980 году советские физики (В.А. Любимов и др.) при детальном измерении спектра бета-электронов трития в реакции



получили результат, что масса покоя электронного антинейтрино лежит в пределах $14 \text{ эВ} \leq m(\nu_e) \leq 46 \text{ эВ}$, но на основе только одного единственного эксперимента нельзя с уверенностью считать, что вопрос о массе покоя нейтрино решен окончательно.

В связи с объяснением бета-распада атомных ядер следует остановиться еще на одном важном обстоятельстве: в данном процессе мы встречаемся вплотную с проявлением *взаимопревращаемости* микрочастиц. В атомных ядрах при бета-распаде происходят процессы превращения нейтрона в протон, либо протона в нейтрон с испусканием электрона или позитрона вместе с нейтрино и антинейтрино. Отметим, что этих микрочастиц не существовало в атомном ядре до его бета-распада. Именно бета-распад был одним из первых процессов субатомного мира, в котором одновременно наблюдалось как взаимодействие, так и связанное с ним рождение новых микрочастиц. Теперь мы имеем огромное число таких одновременно протекающих процессов.

Рассмотрим теперь проблему микрочастиц в исторической последовательности. Принятый термин «элементарная частица» в микрофизике используется не совсем точно для названия большой группы микрочастиц, которая весьма обширна. Кроме протона p , нейтрона n и электрона e^- с их античастицами, имеются три типа нейтрино и антинейтрино, К-мезоны, гипероны и огромное число так называемых *резо-*



нансов. Всего насчитывается до 350 микрочастиц, большинство из которых нестабильно. Далее, микрочастицы в большинстве своем не удовлетворяют требованиям элементарности, так как являются сложными по своей структуре. Поэтому и термин «элементарная частица» имеет в известном смысле историческую традицию, поскольку вначале думали, что протон, нейтрон, электрон и фотон являются единственными и бесструктурными микрочастицами. Новые открытые микрочастицы являются внеатомными и внеядерными, и их иногда называют *субъядерными*.

Напомним кратко еще раз историю открытия первых микрочастиц. В 1911 году Резерфорд, изучая рассеяние альфа-частиц в веществах, установил новую ядерную модель атома. Томсон еще в 1897 году показал, что катодные лучи – это поток электронов, вылетающих из катода. В 1919 году Резерфорд получил из атомных ядер протоны, а в 1932 году Чэдвик открыл нейтрон. Идеи Планка 1900 года о порциях-квантах света в 1905 году были целиком подтверждены Эйнштейном в его теории фотоэффекта, тогда и появился термин «фотон».

В 1922 году был открыт и объяснен на основе квантовой теории света *эффект Комптона*, который явился еще одним из веских доказательств справедливости квантовой теории света. Прервем на время наш экскурс в историю открытия элементарных частиц и рассмотрим более подробно содержание эффекта Комптона.

Он заключается в следующем: при изучении рассеяния рентгеновских лучей в некоторых веществах, в частности, в парафине, оказалось, что длина волны X-лучей после рассеяния больше длины волны падающих на него лучей. Классическая теория электромагнитного поля была неспособна объяснить это явление, поскольку электрон вещества, подвергаясь действию рентгеновского излучения, начинает колебаться с той же частотой, что и раскачивающая его волна излучения. Следовательно, рассеянный свет, излучаемый колеблющимся электроном, должен иметь ту же частоту, что и падающий свет. Согласно же квантовой теории света, излучение необходимо рассматривать как поток частиц – фотонов – с энергией, определяемой по Планку частотой света,

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda$$

и импульсом



$$\mathbf{p} = (h/\lambda)\mathbf{n},$$

где \mathbf{n} – единичный вектор вдоль направления движения фотона, т.е. эффект Комптона в квантовой теории выглядит как упругое столкновение двух частиц: фотона и электрона, причем должны выполняться законы сохранения импульса и энергии. Электрон до столкновения можно считать практически неподвижным благодаря малости его скорости по сравнению со скоростью фотона, равной скорости света c , но после удара его скорость может быть очень большой из-за большого значения энергии фотона ε . Законы сохранения энергии и импульса здесь выглядят так:

$$\varepsilon + \varepsilon_0 = \varepsilon' + \varepsilon_e, \quad (21.1)$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}' + \mathbf{p}_e, \quad (21.2)$$

где

$$\varepsilon_0 = m_0 c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$$

энергия покоя электрона, а m_0 – его масса покоя. Для энергии и импульса рассеянного фотона имеем:

$$\varepsilon' = hc/\lambda' \text{ и } \mathbf{p}' = (h/\lambda')\mathbf{n}',$$

где \mathbf{n}' единичный вектор вдоль направления рассеянной волны, ε_e – полная энергия отдачи электрона. Графически этот процесс выглядит, как показано на схеме (Рис.29).

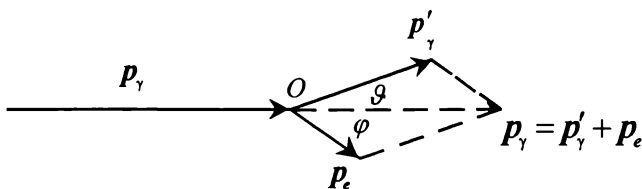


Рис. 29. Графическое изображение процессов столкновения электронов с фотоном при эффекте Комптона. \mathbf{p}_γ – импульс падающего фотона; ϑ – угол рассеяния фотона; φ – угол рассеяния (отдачи) электрона; \mathbf{p}'_γ – импульс рассеянного фотона; \mathbf{p}_e – импульс электрона отдачи.

Совместное решение уравнений (21.1) и (21.2) дает:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_0(1 - \cos\vartheta),$$

где

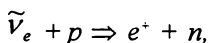
$$\lambda_0 = h/m_0c = 2,426 \times 10^{-10} \text{ см} -$$

комптоновская длина волны, которая не зависит от λ , а $\Delta\lambda$ зависит только от угла рассеяния волн ϑ и максимальна при $\vartheta = 180^\circ$, т.е. при рассеянии «назад»

$$\Delta\lambda_{\max} = 2\lambda_0,$$

что и подтверждается на опыте.

Вернемся к рассмотрению истории открытия элементарных частиц. Очень важными были опыты по рассеянию пучков антинейтрино, полученных в ядерном реакторе в результате бета-распада осколков деления атомных ядер изотопов урана ^{235}U и плутония ^{239}Pu , по реакции обратного бета-распада



которая уже приводилась раньше.

В 30-х и 50-х годах шло весьма интенсивное изучение космических лучей. В 1932 году Андерсон в США обнаружил первую античастицу – *позитрон*.

Далее, в 1936 году Андерсон вместе с Неддермейером наблюдали в космических лучах мюоны с массой покоя $207 m_e$ и зарядами $+e$ и $-e$. В 1947 году Пауэллом с сотрудниками были открыты в космических лучах положительно и отрицательно заряженные микрочастицы с промежуточной массой покоя, равной примерно 274 массам покоя электрона. В 1948 году их же наблюдали и в ускорителе при столкновении фотонов с протонами высоких энергий. Позже были обнаружены такие же частицы без электрического заряда, их назвали, как мы уже говорили, пи-мезонами, или пионами. Таким образом, существует «троица» пионов: π^+ , π^- , π^0 .

В конце концов было выяснено, что эти пионы и есть те самые микрочастицы, которые предсказал японский физик Юкава еще в 1935 году для объяснения механизма короткодействующих мощных внутриядерных сил между нуклонами, удерживающих их внутри малого объема атомного ядра. Пионы – бесспиновые микрочастицы, т.е. принадлежат к частицам с целочисленным (нулевым) спином и поэтому являются *бозонами*. Заряженные пионы распадаются в основном на мюоны и нейтрино по схеме:



$$\pi^{-}(\pi^{+}) \Rightarrow \mu^{-}(\mu^{+}) + \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu}),$$

за время $2,6 \times 10^{-8}$ с. А нейтральные пионы распадаются на два гамма-кванта:

$$\pi^0 \Rightarrow \gamma + \gamma$$

и имеют время жизни $0,83 \times 10^{-16}$ с.

Остановимся более подробно на объяснении *природы ядерных сил*, т.к. протонно-нейтронная модель атомного ядра поставила перед микрофизикой проблему раскрытия механизма этих сил. Нейтрон, являясь электрически нейтральной частицей, не может быть электрически связан с протоном, а также с другими нейтронами в атомном ядре. С другой стороны, прочность атомных ядер, несмотря на кулоновское отталкивание между протонами, подсказывает, что между нуклонами, т.е. протонами и протонами, нейтронами и нейтронами, а также между протонами и нейтронами действуют какие-то мощные силы не электрической природы. Из физики молекулярных связей было уже известно, что нейтральные атомы могут соединяться в прочные молекулы, хорошим примером чего является молекула водорода H_2 , соединение двух нейтральных атомов водорода, где их связь осуществляется с помощью так называемых *обменных сил*. Электроны обоих соединяющихся в молекулу атомов водорода как бы обмениваются друг с другом и в результате образуют единую коллективизированную молекулярную электронную оболочку.

Гейзенберг предложил рассматривать протон и нейтрон не как различные частицы, а как различные состояния единого микрообъекта – *нуклона*, причем нуклоны обмениваются чем-то во время своего взаимодействия внутри атомного ядра, так же как и атомы электронами в молекуле. В молекулярных оболочках в формировании их энергии большое влияние оказывает взаимная ориентация спинов электронов. Поэтому Гейзенберг, исходя из аналогии с молекулярными силами, предложил рассматривать протон и нейтрон как два состояния нуклона (по отношению к ядерным силам взаимодействия), отличающиеся знаком проекции вектора, который должен иметь, как и спин электрона, только два возможных значения. Такой вектор, введенный им в 1933 году, был назван тогда *изотопическим спином*. В изотопическом дублете нуклонов этот спин равнялся $I = 1/2$, а его проекция на ось z



для протона равна $I_z = +1/2$, а для нейтрона $I_z = -1/2$. В дальнейшем оказалось, что изотопический спин присущ и ряду других микрочастиц, в связи с чем он получил фундаментальное обоснование в теории микрочастиц.

По идее Гейзенберга о механизме ядерных сил предполагалось существование некоего переносчика ядерного взаимодействия, которым нуклоны и обмениваются при своем сцеплении внутри атомных ядер. Слава предсказания этой частицы принадлежит японскому физика Юкаве, который еще в 1934 году предложил и описал такой переносчик ядерных сил. Рассуждения Юкавы носили следующий характер: радиус действия ядерных сил очень мал и равен всего лишь 10^{-13} см (как и размеры атомных ядер). Из оценки размерностей легко получить, что дробь h^2/Me^2 , где e – заряд, а M – масса частицы, имеет размерность сантиметра. Если теперь считать, что $R = h^2/Me^2$, то радиус действия сил R обратно пропорционален массе микрочастицы, переносящей ядерное взаимодействие. Так как R порядка 10^{-13} см, то для массы микрочастицы-переносчика ядерного взаимодействия получаем массу, равную по порядку величины двумстам массам покоя электрона.

Вначале думали, что это открытые Андерсоном и Неддермейером мюоны, поскольку их массы и были равны $207m_e$. Однако они совершенно не испытывали сильного взаимодействия, к которому относятся ядерные силы, и только в 1947 году были открыты предсказанные Юкавой частицы. Это были заряженные пионы π^+ и π^- , которые распадались на мюоны и нейтрино и антинейтрино по уже приводимым выше схемам. Время жизни пионов оказалось равным 2×10^{-8} с, что тоже предсказал Юкава. В 1950 году на ускорителе в Беркли в США и одновременно в космических лучах был открыт и нейтральный пион π^0 , который осуществляет внутриядерное взаимодействие между одинаковыми состояниями нуклонов, т.е. протонов с протонами и нейтронов с нейтронами. Время жизни нейтрального пиона оказалось равным 10^{-16} с.

Сильное взаимодействие пионов с нуклонами приводит к возбужденным состояниям нуклонов, которые через очень малое время порядка 10^{-23} с «распадаются» на нуклоны в нормальном состоянии и пион. Поскольку эти возбужденные состояния имеют вполне определенные квантовые числа, как и стабильные микрочастицы, то их естественно считать тоже микрочастицами. Чтобы подчеркнуть малость времени



жизни, такие состояния и подобные им очень короткоживущие микрочастицы стали называть специальным термином – *резонансы*. Так как время жизни резонансов очень короткое, то их нельзя наблюдать непосредственно по следам в камере Вильсона или в пузырьковой камере, как мы наблюдаем «обычные» микрочастицы (протоны, электроны, мюоны, пионы и др.) по достаточно протяженным следам. Резонансы обнаруживают по характеру поперечных сечений рассеяния микрочастиц, а также изучая свойства продуктов распада самих резонансов. Возбужденные состояния типа резонансов существуют не только у нуклонов, но и у пионов и других микрочастиц, например, мезонов, тогда говорят о мезонных резонансах.

Остановимся еще на одном важном аспекте ядерных сил, связанном с общими положениями квантовой механики. В 1932 году, после открытия нейтрона физики сразу «пристроили» его в семью микрочастиц как составную часть атомных ядер. Одновременно с открытием нейтрона было открыто и сильное взаимодействие, одним из типов которого явились ядерные силы. Эти силы, действительно, должны значительно превосходить электрические силы, действующие в атомных ядрах между протонами, иначе под действием кулоновского отталкивания атомные ядра должны были бы разваливаться. Для элементов до урана преодоление кулоновского отталкивания и осуществляется в природе. А после урана из-за большого числа электрически заряженных протонов оно приобретает явное преимущество над ядерными силами сцепления, поэтому в естественных условиях трансурановые химические элементы не существуют, они получают на Земле только искусственно.

Что же это за важный аспект ядерных сил? Оказывается, что он связан с представлением о так называемых «*виртуальных микрочастицах*». Вернемся к соотношениям неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar,$$

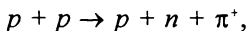
где, напомним, Δx – неопределенность координаты, а Δp_x – неопределенность соответствующей слагающей импульса. Бор показал, что подобное соотношение имеет место для энергии E и времени t , в течение которого измеряется энергия микрочастицы,



$$E\Delta t \geq \hbar, \quad (21.3)$$

т.е. произведение неопределенности времени при измерении энергии на неопределенность энергии не меньше, чем \hbar . Это означает, что точное определение энергии (очень малые ΔE) требует продолжительного времени для измерения (большие Δt). Иными словами, если событие происходит в точно известный момент времени t ($\Delta t=0$), то энергию нельзя считать точно определенной. В основе соотношения (21.3), как и соотношений неопределенностей для координаты и импульса, лежит волновая природа микрочастиц.

Прежде чем применять данный принцип к ядерным силам, рассмотрим еще раз процесс рождения пионов, который, например, можно представить такой схемой:



т.е. протон с высокой энергией сталкивается с протоном мишени, в результате чего возникает протон, и, кроме того, появляются еще нейтрон и положительно заряженный пион. Следовательно, один из протонов расщепляется на нейтрон и положительный пион:



Такой процесс (если его рассматривать изолированно для неподвижного протона) удовлетворяет всем требованиям, кроме одного: не выполняется закон сохранения энергии (ибо в правой части последнего равенства суммарная масса покоя микрочастиц больше массы покоя левого протона).

Отметим, что предоставленный самому себе протон никогда не распадается этим путем. Чтобы реакция произошла, требуется добавить дополнительную энергию к неподвижному протону, хотя у протона имеется «желание» превратиться в нейтрон и положительно заряженный пион. Однако для возможности такого превращения между нуклонами и пионами нужно принять во внимание соотношение неопределенностей (21.3). Оно делает применение требований закона сохранения энергии менее жестким, если распад происходит за очень короткий промежуток времени и микрочастицы смогут «удраться» от штрафа. Здесь мы, как обычно, приводим пример из нашего макроопыта, когда дежурный ГАИ отвернулся и водитель-нарушитель смог удрасть от наказания. Так и в микромире: пион «удрал» из протона вопреки закону сохранения



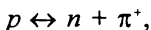
энергии, но на очень короткий промежуток времени, а затем вновь как ни в чем не бывало вернулся опять внутрь протона.

Если же приходится нарушать закон сохранения энергии, т.е. ввести в энергию неопределенность ΔE , то это возможно при условии, что продолжительность распада (измеряемая Δt) не превышает величины, установленной соотношением неопределенностей (21.3). Для численной оценки Δt вспомним, что $\hbar = 7 \times 10^{-22}$ МэВ/сек. Величина же избытка энергии, необходимая для реакции (21.4), грубо говоря, соответствует массе покоя пиона, которая равна 140 МэВ в энергетических единицах.

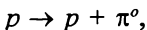
Тогда разрешаемая продолжительность реакции (21.4) при столь большой неопределенности в энергии равна:

$$\Delta t \cong \hbar/\Delta E \sim 5 \times 10^{-24} \text{ с},$$

действительно, очень короткое время, и пион π^+ за это время пройдет расстояние всего лишь порядка $1,5 \times 10^{-13}$ см. Итак, протон, даже неподвижный, испускает положительно заряженный пион π^+ и через 5×10^{-24} с его поглощает, т.е.



где двойная стрелка указывает на то, что процесс идет в двух направлениях – излучения и поглощения пиона. Возможен и такой виртуальный процесс с нейтральным пионом π^0 :



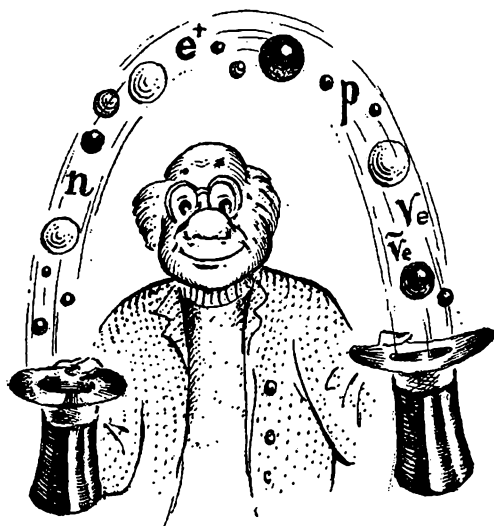
здесь термин «виртуальный» обозначает, что для рассматриваемого процесса необходимо пользоваться соотношением неопределенностей (21.3).

Заметим, что виртуальные пионы не оставляют следы в камере Вильсона. Предложенная модель протона с испусканием виртуальных частиц получила веское экспериментальное подтверждение в опытах Р. Хофштадера (получившего за них в 1961 году Нобелевскую премию) по рассеянию электронов большой энергии на протонах, которые показали, что действительно вокруг протона существует облако пионов.

Становится понятным, что если поблизости от неподвижного протона на расстоянии порядка 10^{-13} см находится другой протон или нейтрон, то может произойти поглощение последними виртуального пиона, испущенного первым протоном вследствие обменного характера ядерных сил.



Следует отметить еще одно обстоятельство, относящееся к нуклонам: нейтроны приобретают устойчивость, находясь внутри атомных ядер, где они сильно взаимодействуют с другими нуклонами, и именно она лежит в основе существования в природе 92-х устойчивых химических элементов. В противном случае существовал бы только один химический элемент водород и только его легкий изотоп. Устойчивость нейтронов внутри атомных ядер объясняется, таким образом, тем, что обменные ядерные силы между нуклонами оказываются значительно сильнее электрического кулоновского отталкивания протонов внутри атомных ядер.





1.22. Классификация элементарных микрочастиц. Новые квантовые числа в мире микрочастиц

К началу 50-х годов были открыты многие микрочастицы, которых вместе с уже ранее известными оказалось до 30. Все эти микрочастицы и их античастицы можно представить в виде наглядной таблицы, которую предложил Д. Орир (табл.10). В левой части рисунка приведены 13 микрочастиц, а в правой части 13 античастиц, в середине же показаны две «истинные» нейтральные частицы – фотон и π^0 -пион, т.е. такие микрочастицы, у которых античастицы гождественны самим частицам.

Среди мезонов нам уже известны пионы. Заряженные пионы имеют времена жизни, как уже отмечалось, порядка 10^{-8} с и распадаются на мюоны, электроны, позитроны, нейтрино и антинейтрино по схеме:

	Тип	Масса	Спин	Странность		Заряд
Тяжелые частицы (барыоны)	Кси	2566 2580,2	1/2	Σ^+	Σ^0	
	Сигма	2327,7	1/2	Σ^+	Σ^0	Σ^-
		2331,8		Σ^+	Σ^0	Σ^-
		2340,6		Σ^+	Σ^0	Σ^-
Лямбда	2182,8	1/2	Λ	Λ	Λ	
Нуклон	1836,12	1/2	N	P	N	
	1838,69		N	P	N	
Мезоны	К-мезон	966,6	0	K^0	K^+	+1
		974,2		K^0	K^+	+1
	π -мезон	273,18	0	π^0	π^+	0
Лептоны	μ -мезон	206,77	1/2	μ^-	μ^+	
	Электрон	1	1/2	e^-	e^+	
	Нейтрино	0	1/2	ν	$\bar{\nu}$	
	Фотон	0	1	γ	γ	

Табл. 10. Таблица известных к 1961 году микрочастиц. Частицы расположены в порядке возрастания их массы покая.



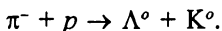
$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \text{ или } \pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e, \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu \text{ или } \pi^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e. \end{aligned}$$

Нейтральный π^0 пион распадается на два фотона и имеет более короткое время жизни (порядка 10^{-16} с).

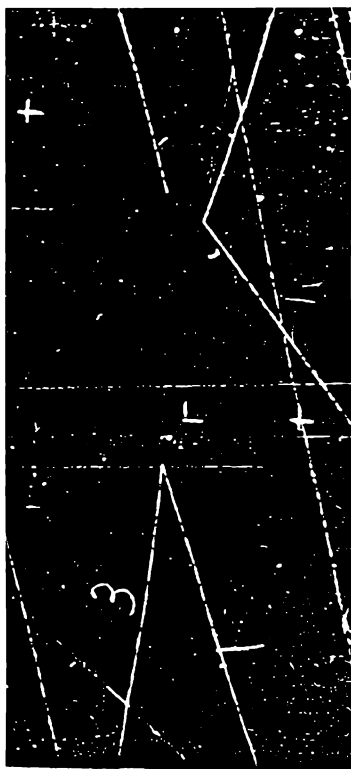
В *таблице 10* показан еще один тип мезонов – *K-мезоны*, или *каоны*: положительно заряженный K^+ -мезон и его античастица – отрицательно заряженный K^- -мезон. Кроме того, был открыт и нейтральный K^0 каон, который имеет античастицу \bar{K}^0 каон, который также электрически нейтрален, но отличается от K^0 мезона знаком другого характерного для каонов квантового числа – *странности S*. Каоны были первыми микрочастицами, которые называли *странными*, поскольку они имеют ненулевое значение *S*. Протон, нейтрон, электрон и пионы имеют нулевое значение этого квантового числа $S = 0$. Каоны K^+ и K^0 имеют $S = +1$, а каоны K^- , \bar{K}^0 – $S = -1$. Спин каонов равен нулю, и поэтому они являются бозонами.

Из *таблицы 10* мы видим, что существуют еще три типа микрочастиц тяжелее протона, которые обозначаются заглавными греческими буквами Λ , Σ , Ξ и называются *гиперонами*. Лямбда-гиперон Λ^0 обладает нулевым электрическим зарядом, значением странности $S = -1$ и спином $1/2$, т.е. является фермионом. Далее идут сигма-гипероны, их три типа: заряженные сигма-гипероны Σ^+ и Σ^- и нейтральный сигма-гиперон Σ^0 . Все три типа гиперонов имеют значения странности $S = -1$ и спин $1/2$, т.е. являются фермионами. Их античастицы: Σ^- , Σ^+ , Σ^0 имеют странность $S = +1$, а остальные характеристики такие же, как и у самих сигма-гиперонов. Третья группа гиперонов – это *кси-микрочастицы* Ξ : отрицательно заряженные частицы Ξ^- и нейтральные Ξ^0 . Первые имеют странность $S = -2$, вторые – $S = +2$, спин у них равен $1/2$, т.е. они тоже фермионы.

Очень интересными являются процессы сильного взаимодействия нуклонов и пионов с каонами и гиперонами. Хорошо изучена такая реакция образования гиперонов при столкновении π^- пиона с протоном:



На фотографии и схеме (*рис. 30*) показана эта реакция, наблюдавшаяся в пузырьковой камере с жидким водородом. Пучок π^- пионов возникает в протонном ускорителе в несколько ГэВ, попадает сверху в камеру и образует при



а

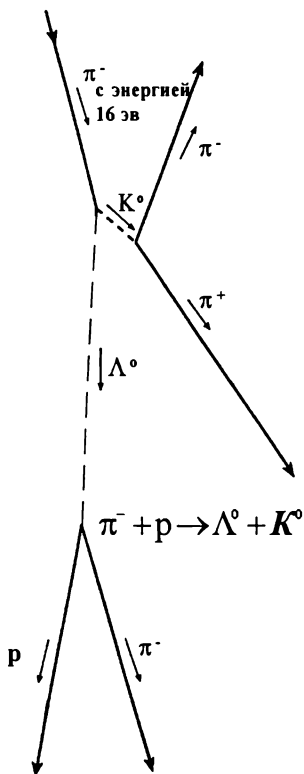


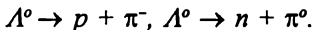
Рис. 30. а) Фотография V-образного рождения гиперона Λ^0 и каона K^0 в пузырьковой камере с жидким водородом. π^- пион с энергией в 1 ГэВ от беватрона попадает в камеру и образует при столкновении с протоном пару Λ^0 – гиперон и K^0 – каон.

б) схема предыдущей фотографии: V – образное рождение Λ^0 и антилямбда $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в реакции аннигиляции протона с антипротоном: $p + \bar{p}$. Гиперон Λ^0 далее распадается на π^+ пион и антипротон, который затем восстанавливается и аннигилирует с протоном жидкого водорода камеры и рождает четыре пиона: $2\pi^+$ и $2\pi^-$. Лямбда-частица Λ^0 распадается на два пиона.

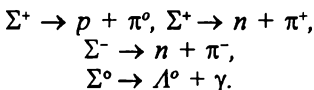


столкновении с протоном p две странные частицы Λ^0 и K^0 с выполнением закона сохранения странности. Дальше одна из странных частиц (ее следа не видно, ибо она электрически нейтральна) распадается на протон p и пион π^- , т.е. идет процесс с нарушением закона сохранения странности. Точно так же происходит распад каона K^0 на пару пионов π^+ и π^- .

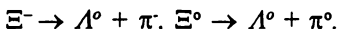
Лямбда-частица Λ^0 на 78 МэВ тяжелее протона и пиона вместе взятых, поэтому в основном возможны такие распады Λ^0 гиперона:



Поскольку Σ -частица примерно на 75 МэВ тяжелее даже Λ^0 -частицы, а спин у нее $1/2$, то все сигма-частицы точно так же могут принимать участие в реакциях:



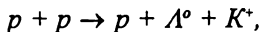
Кси-гиперон Ξ на 205 МэВ тяжелее Λ^0 -гиперона и имеет отрицательный электрический заряд или является нейтральным, и оба типа гиперонов дают распады:



На фотографии и схеме (рис. 31 а, б) показано рождение пар лямбда-частиц в реакции: $p + p \rightarrow \Lambda^0 + \Lambda^0$.

Рожденные от аннигиляции протона и антипротона две лямбда-частицы затем распадаются. При этом одна из них превращается в пион π^+ и антипротон. Последний аннигилирует с протоном в жидком водороде пузырьковой камеры и рождает четыре пиона, а вторая Λ^0 -частица распадается на пион π^- и протон p .

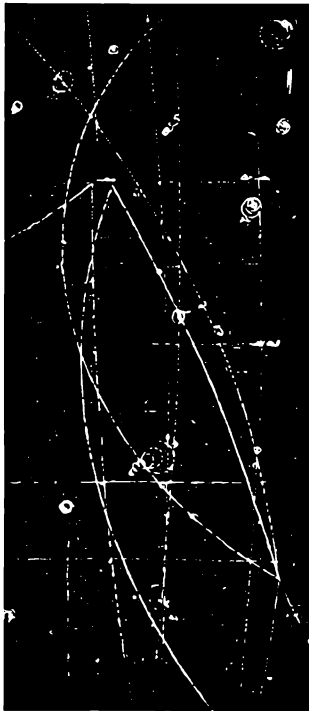
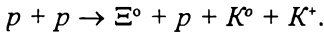
Из приведенных выше ядерных реакций видно, что странность сохраняется при сильных взаимодействиях. Например, в реакции:



слева странность равна нулю, и справа тоже нуль, ибо у Λ^0 странность равна -1 , а у K^+ она равна $+1$. Таким образом, странные частицы рождаются либо парами, либо так, чтобы сумма соответствующих квантовых чисел была бы равна нулю. Участие в реакциях кси-гиперона, который имеет квантовое число странности, равное -2 , сопровождается появле-



нием вместе с ним двух странных частиц со значением $S = +1$. Например, это может быть такая реакция:



а

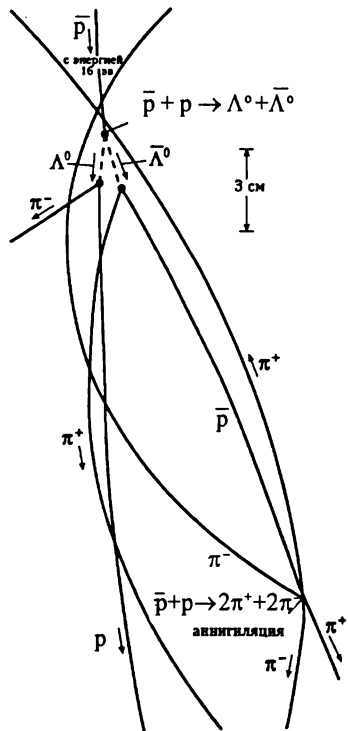
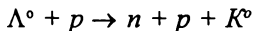


Рис. 31. а) Фотографии треков в пузырьковой камере рождения от аннигиляции протона и антипротона двух лямбда-частиц Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$. Первая из них превращается в отрицательно заряженный пион π^- и протон p , а вторая – в положительно заряженный пион π^+ и антипротон, который потом аннигилирует с протоном камеры и рождает четыре пиона – $2\pi^-$ и $2\pi^+$.

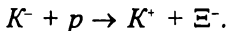
б) то же самое на схеме.



Если странная частица соударяется с нуклоном, то и тогда закон сохранения странности выполняется, например, в реакции:



или



Однако при распаде странных частиц закон сохранения числа S может нарушаться. Рассмотрим в качестве простейшего примера распад каона – самой легкой из странных частиц (с массой покоя порядка 500 МэВ). Если закон сохранения странности был абсолютным, то K мезон не смог бы распасться и был бы стабильной частицей. Но закон сохранения странности справедлив только при сильных взаимодействиях и не выполняется для так называемых *слабых* взаимодействий. Тогда каону не удается испытать быстрый распад при сильном взаимодействии с временем жизни $\sim 10^{-22}$ с, а по слабому взаимодействию с временем жизни $\sim 10^{-10}$ с распад нарушением сохранения странности разрешен: $K^+(K^-) \rightarrow \pi^0 + e^+(e^-) + \nu_e(\bar{\nu}_e)$. Почему так происходит, пока не очень понятно.

Заметим, что, начиная с 50-х годов XX века, основными инструментами для искусственного получения микрочастиц и их исследования стали *ускорители*. К 70-м годам энергия, получаемая на ускорителях, уже достигла многих десятков и сотен ГэВ. Высокие энергии открывали возможность исследовать строение материи на все более малых расстояниях между сталкивающимися микрочастицами и рождают более тяжелые микрочастицы. Первым исторически научным ускорителем, которым воспользовался 360 лет тому назад Галилей для изучения законов гравитации, была Пизанская башня в Италии. С помощью этого «ускорителя» было сделано великое открытие, что все тела под действием силы тяжести падают одинаково. Если пересчитать энергию, которую получали тела, падая с башни, на атомные микрочастицы, то для нее получится ничтожно малая величина – всего лишь 10^{-4} эВ. Нынешние электронные и протонные ускорители последнего поколения уже дают энергии до 10^{14} эВ., т.е. в 10^{18} раз превышающие энергии, получаемые с помощью Пизанской башни.

В европейском физическом международном центре близ Женевы в Швейцарии имеется новый действующий ускоритель



гель LEP. Он представляет собой гигантское сооружение, длина окружности которого около 27 километров. Ускоренные электроны и позитроны, двигаясь навстречу друг к другу в так называемых «встречных» пучках с энергией, которая в каждом из пучков в 1990 году равнялась 45 ГэВ, при столкновении выделяли энергию величиной до 100 ГэВ. В момент столкновения эффективная температура составляет величину в 400 миллиардов раз большую, чем температура поверхности Солнца, равная 6000 К. Если считать гипотезу «большого взрыва» при рождении нашей Вселенной правильной (о ней речь пойдет во второй части нашего курса), то лабораторные условия на ускорителе LEP соответствуют времени в 10^{-19} с от момента сотворения Вселенной (так называемой «сингулярности»). Модернизация ускорителя проводится непрерывно, а к 1998 году планировалось довести энергию частиц в пучке до энергий почти в 100 ГэВ. Планируется, что этот ускоритель, который хотят назвать LEP2, откроет очень тяжелые H -бозоны, предсказанные в квантовой теории поля английским физиком Хиггсом, и их обнаружение будет большим событием в микрофизике.

Поэтому дальнейший прогресс в строительстве новых еще более мощных ускорителей, например, на встречных пучках протонов и антипротонов, сулит новые захватывающие открытия в области физики микромира. Ускорители уже позволили расширить наши представления о закономерностях поведения микрочастиц: именно на них были открыты в 1955–1956 годах упоминавшиеся выше античастицы: антипротон и антинейтрон; в 1960 году был обнаружен антисигма-гиперон, а в 1964 году – самый тяжелый гиперон Ω^- с массой покоя около двух масс покоя протона.

В 60-х годах на ускорителях было получено большое число крайне неустойчивых микрочастиц – *резонансов* с массами покоя, в большинстве случаев превышающих массу покоя протона. Первый из резонансов, известный еще с 1953 года, имеет массу покоя в 1232 МэВ и называется дельта-резонансом – Δ , время его жизни равно 7×10^{-24} с. К настоящему времени резонансов уже открыто достаточно много, все они участвуют в сильных взаимодействиях. Резонансы показали нам, что таблица элементарных частиц еще далека от завершения. Обычно рождение и гибель резонансов происходит на расстояниях, значительно меньших, чем размеры отдельного атома. Поэтому, как мы уже неоднократно гово-



рили, они недоступны для непосредственного наблюдения в камере Вильсона или в пузырьковой камере. Лишь изучая продукты распада резонансов, можно установить факт их существования. Допустим, например, что при аннигиляции протона и антипротона образовалось пять пионов:

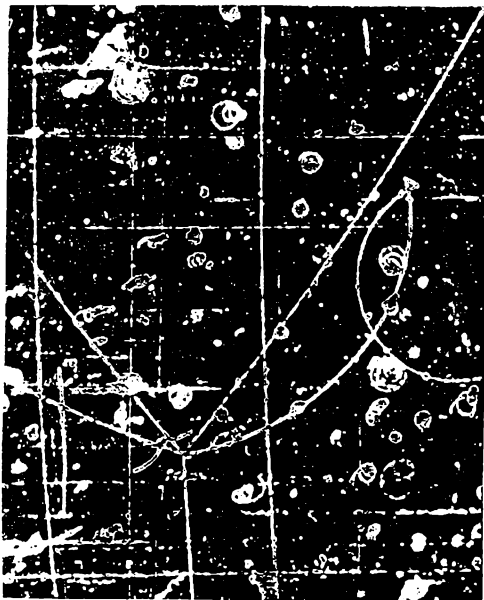
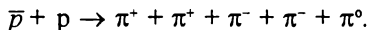
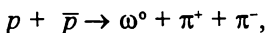


Рис. 32. а) Снимок образования резонанса ω^0 . Антипротон двигается в пузырьковой камере снизу вверх, аннигилирует с протоном мишени и создает два пиона и ω^0 микрочастицу: $\bar{p} + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \omega^0$. Через 10^{-22} сек. резонанс ω^0 распадается на три пиона $\omega^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$. Мимолетное существование резонанса-мезона ω^0 устанавливается при исследовании следов пионов. Один из π^+ пионов распадается на μ^+ мюон и нейтрино ν_μ , а мюон в свою очередь распадается на позитрон e^+ и две частицы – нейтрино и антинейтрино (которые не дают следов): $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$.

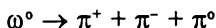


Такая реакция на снимке в пузырьковой камере имеет вид, изображенный на фотографии (Рис. 32а). Мы видим следы падающего антипротона и четырех электрически заряженных пионов, вылетевших, казалось бы, из одного места. Закон сохранения энергии и закон сохранения импульса требуют, чтобы невидимый след нейтрального π^0 пиона тоже начинался в этой точке.

Анализ всей картины подобных реакций показывает, что возникшие пионы должны частично быть продуктами распада какой-то еще одной микрочастицы. Этой микрочастицей в данном конкретном случае является резонанс ω^0 -мезон. Сначала образуется резонанс и два положительно и отрицательно заряженных пиона по схеме, которая имеет вид:



а резонанс распадается потом очень быстро по схеме:



(рис. 32 б). Несмотря на то, что омега-ноль мезон как типичный резонанс не успевает пройти измеримое расстояние от точки, где он родился, нет оснований сомневаться в его существовании. Сейчас число резонансов, существование которых считается установленным, превышает сотню.

В 1974 году были обнаружены массивные (в 3–4 раза тяжелее протона) и относительно устойчивые микрочастицы \mathfrak{Z}/ψ и ψ' с временами жизни очень большими для резонансов. Их называют мезонами со скрытым «очарованием». Это понятие теоретическое, а на опыте оно означает, что обладающие таким свойством микрочастицы легко распадаются на «очарованные» микрочастицы, и переход их в обычные микрочастицы сильно подавлен. Микрочастица \mathfrak{Z}/ψ с массой покоя 3,096 ГэВ и спином 1 была открыта в США независимо двумя группами физиков-экспериментаторов: на протонном ускорителе в Брукхавене коллективом под руководством С. Тинга и коллективом под руководством Б. Рихтера на ускорителе со встречными электрон-позитронными пучками в Станфордe. Первая группа назвала эту частицу \mathfrak{Z} , а вторая – ψ , отсюда и двойное название \mathfrak{Z}/ψ . Тинг и Рихтер в 1976 году получили Нобелевскую премию за свое открытие. \mathfrak{Z}/ψ микрочастица, несмотря на свою большую массу покоя, оказывается относительно устойчивой, имея время



жизни на 3–4 порядка больше, чем для всех известных резонансных микрочастиц типа мезонов. Второй открытый ψ' -мезон с массой покоя в 3,684 ГэВ также оказался более устойчивым, чем другие тяжелые микрочастицы. Позже было открыто целое семейство ψ -мезонов.

Мы подошли еще к одному семейству микрочастиц, связанных с микрочастицами со скрытым «очарованием». Оно относится к адронам, которые обладают новым квантовым

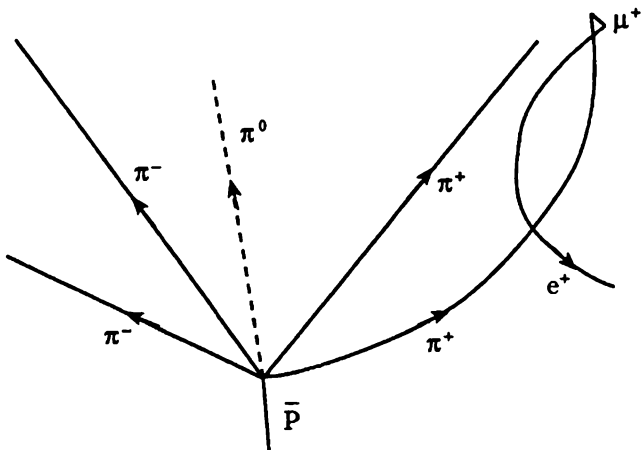
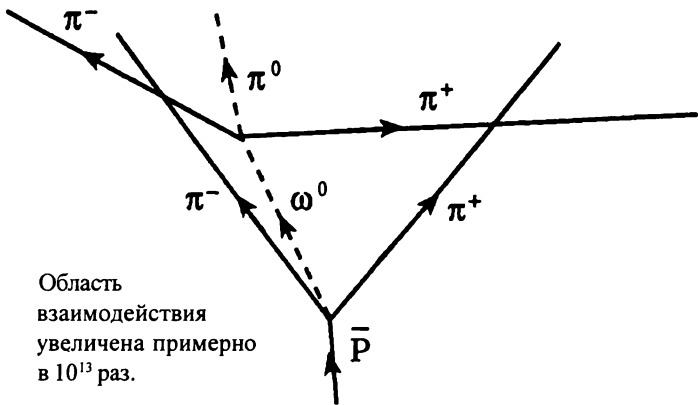


Рис. 32 б. Схема образования резонанса ω_0 .



числом «очарование». Первые представители этого семейства были открыты в 1976 году, и самые легкие из них были обозначены так: D^0 , D^+ , D^- , F^+ , F^- . Открытие «очарованных» микрочастиц явилось триумфом теории, в особенности *кварковой* модели элементарных частиц, о которой речь будет идти ниже. Именно она и предсказывала существование такого рода микрочастиц задолго до их экспериментального открытия.

В 1975 году был открыт тяжелый тау-лептон с массой покоя, как уже было сказано, почти в два раза больше, чем у протона, а в 1977 году – Υ (ипсилон) микрочастица, сверхтяжелая, с массой покоя до десятка масс покоя протона, ее существование также согласуется с гипотезой кварков.

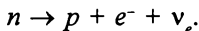
Мы видим, что за годы после открытия первой субатомной микрочастицы, электрона было обнаружено экспериментально огромное число микрочастиц. Для их описания кроме обычных величин: массы, заряда и т.п., которые были известны частично и в классической физике, пришлось вводить много новых характеристик, например, «странность», «очарование», «прелесть» и другие. Уже из этих названий видна необычность свойств микрочастиц по сравнению с макроявлениями. Все они с точки зрения макропредставлений имеют очень маленькие массы покоя и размеры.

Определенные из опыта *размеры* протона, нейтрона, пионов и т.д. оказываются порядка 10^{-13} см. Размеры электрона и других лептонов пока на опыте не определены, но, по оценкам, не превышают величин порядка 10^{-15} см. Микроскопические значения масс покоя и размеров микрочастиц обуславливают их квантовую природу. Характерные длины волн де Бройля для микрочастиц: $\lambda_B = h/Mc$, где M – масса покоя микрочастицы, близки к их характерным размерам. Так, например, для пионов длина волны де Бройля составляет $1,4 \times 10^{-13}$ см.

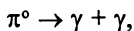
Наиболее важное свойство микрочастиц – их способность рождаться, поглощаться и распадаться с превращением одних микрочастиц в другие, что окончательно было установлено к середине 30-х годов XX века. Все нестабильные микрочастицы распадаются самопроизвольно, а стабильные микрочастицы тоже могут исчезать, но только при их встрече и аннигиляции со своими античастицами. При достаточной кинетической энергии и при столкновениях можно создать как стабильную, так и нестабильную микрочастицу. Приме-



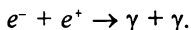
ром возникновения и уничтожения микрочастиц может служить распад нестабильных микрочастиц, показанный на рис. 326. Или при бета-распаде



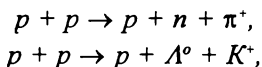
Здесь нейтрон внутри атомного ядра исчезает, превращаясь в протон, а из атомного ядра вылетают возникшие в таком превращении электрон и антинейтрино. Это почти единственный распад нейтрона, если не считать случаев, когда при распаде еще образуется фотон. С другой стороны, есть примеры большого числа способов распада одной и той же микрочастицы. Интересны распады на фотоны (свет!) нейтрального пиона π^0 :



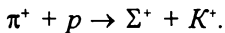
или рождение фотонов при аннигиляции электрон-позитронной пары:



При столкновении протонов на встречных пучках могут образовываться новые и (или) более тяжелые микрочастицы, (последние за счет кинетической энергии сталкивающихся микрочастиц), например, протонов:



а родившийся в первой реакции положительно заряженный пион π^+ может в дальнейшем распасться, скажем, столкнувшись с протоном:



В общем наша Вселенная не очень устойчива из-за того, что жизнь большинства микрочастиц слишком скоротечна, чтобы они могли быть полезны в качестве строительного материала для устойчивых макротел. Даже наиболее стабильные микрочастицы могут, как мы только что видели для протона, разрушаться при столкновениях с другими, несущими большую энергию микрочастицами или при аннигиляции со своими античастицами. И лишь поскольку мы живем в мире, где парк бомбардирующих микрочастиц очень «слаб» и очень мало античастиц, стабильные микрочастицы



– протон, электрон, нейтрон (внутри атомных ядер) – смогли построить прочный макромир.

Обсудим масштабы некоторых физических величин, характерных для микромира. Во-первых, еще раз вспомним, что размеры протона порядка 10^{-13} см (это расстояние в честь знаменитого итальянского физика Энрико Ферми назвали «ферми»). Физикам удалось на современных ускорителях проникнуть на расстояния порядка 0,1 ферми (т.е. на 10^{-14} см). Наименьшие размеры, встречающиеся в микромире, имеют лептоны, (порядка 10^{-15} см), а наибольшие размеры в макромире – размеры нашей Вселенной $\sim 10^{28}$ см. Таким образом, самый малый размер отличается от самого большого примерно в 10^{42} раз. Это, конечно, громадный диапазон. Скорости движения атомов и молекул в газах достаточно «вялые», они меньше скорости света c приблизительно в 10^5 – 10^6 раз. Фотон и нейтрино с антинейтрино с массами покоя, равными нулю (или, для последних, близкими к нулю), имеют скорость своего движения, равную c . Макротела не ускоряются до таких скоростей. А микрочастице со скоростью, близкой к c , чтобы пройти расстояние порядка своего размера, нужно время порядка 10^{-23} с, которое можно считать естественной единицей времени для всех процессов, протекающих в микромире.

Микрочастицы, имеющие время жизни порядка 10^{-8} – 10^{-6} с, считаются долгоживущими, и даже частицы со временем жизни в 10^{-10} с живут по микромасштабам очень долго. За время 10^{-10} с микрочастица успевает пролететь 1 см пути, что в миллион миллионов раз превышает ее собственные размеры. В наших макромасштабах такой пробег, например, для автомобиля с обычной скоростью в 50 км/час эквивалентен пробегу в 30 миллионов километров. Микрочастицы, живущие 10^{-8} – 10^{-6} с (это пионы и мюоны), могут пробегать расстояния, гораздо больше одного сантиметра, а свободный нейтрон, имеющий время жизни 17 минут, в масштабах микромира вообще живет бесконечно долго.

Резонансы имеют время жизни порядка 10^{-20} с и меньше, до 10^{-23} с – это действительно короткоживущие микрочастицы. Они подобны в нашей макроанalogии автомашине, которая разваливается, не успев выехать за ворота завода-изготовителя. Поскольку минимально достигнутое расстояние по порядку величины равно 10^{-14} см, то минимальное время 10^{-24} с, что далеко за пределами прямых возможных



измерений. Наибольший промежуток времени, с которым мы встречаемся в природе, – продолжительность жизни Вселенной (порядка 30 миллиардов лет).

Заметим, что открытие Чедвиком нейтрона привело к созданию протонно-нейтронной модели атомного ядра и бурному развитию теории: бета-распада Ферми, ядерных сил Х. Юкавы, ядерных цепных реакций Я. Зельдовича и Ю. Харитона. Наряду с теорией развивался и микроскопический эксперимент как по изучению свойств самого нейтрона, так и по исследованию его взаимодействия с веществом. Были изучены: замедление нейтронов, искусственная бета-активность (Э. Ферми), деление атомных ядер урана (О. Ган и Ф. Штрассман), открыт 93-й химический элемент – нептуний (Э. Мак-Милан, Ф. Абельсон). Таким образом, открытие Чедвика привело к большим научным достижениям и не менее значительным успехам в технике, а именно: созданию ядерной энергетики, ядерного оружия, методов радиоактивных изотопов, использованию достижений ядерной физики в автоматике, геологии (геохронологии), геофизике, медицине, в биологических исследованиях и т.п.

Повторяем, что фундаментальными и твердо установленными свойствами нейтронов были принадлежность их к классу барионов с барионным квантовым числом $B = 1$, к классу фермионов со спином $\hbar/2$, а также с положительной внутренней четностью (см. ниже), вместе с протоном нейтрон образует изотопический дублет с изоспином $1/2$ и проекцией изоспина – $1/2$.

Кроме указанных свойств имеется ряд параметров, которые теоретически еще не всегда понятны и не нашли своего объяснения. Это, прежде всего, вопрос об электрическом заряде нейтрона – есть он или нет, гравитационная и инертная масса нейтрона – как ее измерить, магнитный момент нейтрона – какова его природа. Масса нейтрона

$$m_n = 1,008664904(14) \text{ а.е.м.} = 939,56563(28) \text{ МэВ.}$$

Следует указать, что разность масс нейтрона и протона в электронных массах m_e равна

$$m_n - m_p = 2,6m_e \text{ и } m_n - (m_p + m_e) = 1,6m_e,$$

откуда сразу же видна возможность бета-распада нейтрона. Магнитный момент нейтрона

$$\mu_n = -1,9130428(5)\mu_{\text{яд}}$$



Напоминаем, что знак минус означает антипараллельность магнитного и спинового механического моментов. Отличие от нуля магнитного момента нейтрона одновременно с нулевым электрическим зарядом является аномалией. Подобной природы аномалия возникает и у протона, у которого вместо дираковского значения $\mu_{\text{яд}}$ мы имеем $\mu_p \cong 2,79\mu_{\text{яд}}$. Из равенства двух аномальных частей магнитных моментов протона и нейтрона: $\mu_p - 1 = |\mu_n - 0|$ можно заключить, что данные аномалии одинаковой физической природы. Хотя строгой теории нейтронного магнитного момента нет, но качественно можно считать, что это эффект «шубы» или «облака» отрицательно заряженных электрически пионов, окружающих нейтрон. Нет и теории, объясняющей нулевой электрический заряд нейтрона $Q_n = 0$, величины времени жизни τ_n , угловую корреляцию между импульсами нейтрона и продуктов бета-распада, электрический дипольный момент (есть ли он, или его нет?), а также некоторые другие свойства нейтронов.

Очень интересным является вопрос о так называемых ультрахолодных нейтронах (УХН). В обычных ядерных реакторах с каким-либо замедлителем мы имеем дело с так называемыми тепловыми нейтронами. При температуре $T = 300$ К энергия нейтронов с наиболее вероятной скоростью равна $\varepsilon = k_B T = 0,025$ эВ, где $k_B = 0,865 \times 10^{-4}$ эВ град⁻¹ – постоянная Больцмана, такие нейтроны с близкими к $k_B T$ энергиями называют тепловыми. Как правило, область энергий тепловых нейтронов заключена в интервале $5 \times 10^{-3} - 0,5$ эВ. Нейтроны с энергией от 0,5 до 10^4 эВ называют холодными (ХН), с $\varepsilon > 0,5$ и условно до 10^4 эВ – резонансными. Для энергий, меньших нижней границы интервала ХН, имеем область очень холодных нейтронов (ОХН) с условными границами от 10^{-7} до 10^4 эВ и, наконец, область ультрахолодных нейтронов (УХН) с энергиями порядка 10^{-7} эВ.

Ультрахолодные нейтроны образуются из тепловых нейтронов не из-за их дополнительного замедления (для этого замедлитель надо было бы держать при температуре $\sim 10^{-3}$ К, что практически невозможно), а в очень редком процессе единственного неупругого соударения, при котором тепловой нейтрон теряет почти всю свою энергию. Для замедления используется жидкий водород с $T = 23 - 25$ К, в результате чего получают из пучка тепловых нейтронов почти неизменный по интенсивности пучок ХН. Но при этом ОХН и УХН не получают. В экспериментах было установлено, что



УХН испытывают полное внутреннее отражение из-за большой длины де-бройлевской волны, а не проходят через стенку сосуда. В первые годы исследования УХН для выделения их из спектра реакторных нейтронов использовались изогнутые в горизонтальной плоскости нейтронотводы, изготовленные из материалов с достаточно хорошим значением полного внутреннего отражения УХН. Из-за изгибов нейтронотвода все нейтроны, кроме УХН, уйдут наружу трубы или поглотятся в стенках, а УХН пройдут по трубе, следуя ее изгибам. В первых опытах удавалось удерживать УХН до 30-ти секунд, а затем это время увеличили почти в 10 раз – до 250-ти секунд. Так же использовали вертикальные нейтронотводы, где замедлению еще способствовала гравитация. Наконец, рекордное время задержания УХН достигло величины в 75 минут! С помощью накопителей УХН было измерено и время жизни запертых в ловушках нейтронов. Усредненное с учетом точности измерений значение времени жизни нейтрона «на свободе» оказалось несколько различным из пучковых экспериментов и из метода хранения УХН. В первом случае $\tau_n = 894,2(4,2)$ сек., во втором – $\tau_n = 885,9(1,7)$ сек., усредненное значение оказалось равным $\tau_n = 887,0(1,6)$ сек.

Заметим, что нейтрон – не точечная микрочастица, а имеет конечные размеры $r_n \cong 0,8 \times 10^{-13}$ см и обладает кварковой структурой – состоит из трех кварков ($n = udd$), но детали его внутренней структуры пока неясны: неизвестно, как распределен электрический заряд и магнитный момент по объему нейтрона, как согласовать сочетание нулевого электрического заряда нейтрона и его ненулевого магнитного момента.

Любопытно измерение гравитационного взаимодействия нейтронов. Это проделал Дэббс с сотрудниками на 180-метровом пути, где составляющая ХН под действием тяготения отклонилась вертикально вниз по сравнению с прямолинейным путем тепловой составляющей пучка на 14,5 см. Таким образом, для ускорения нейтронов в поле тяготения Земли мы получили $975,4(3,1)$ см/с², т.е. величину, близкую к универсальному значению ускорения силы тяжести в данной местности опытов, которая равнялась $979,74$ см/с². Такие же измерения проводились и в России в Дубне.

Имеет смысл остановиться на проблеме трансурановых химических элементов. Пока они получены до порядкового номера $Z = 111$, последний официально названный элемент – это менделеевий с $Z = 101$, остальные еще не получили обще-



1.22. Классификация элементарных частиц...

принятых названий. Опыт показал, что время их полураспада составляет от нескольких секунд до немногих долей секунды, они либо самопроизвольно делятся, либо оказываются альфа- или бета-активными. Есть некоторые основания считать, что среди трансуранов могут существовать и долгоживущие элементы с периодом полураспада до 10^8 лет – так называемые химические элементы с магическими атомными номерами. Например, таким химическим элементом может быть изотоп с $Z = 110$ и $A = 294$, но пока это предположения, не подкрепленные экспериментом, и проблема трансуранов продолжает оставаться еще далеко не решенной.



1.23. Фундаментальные взаимодействия микрочастиц. Адроны и лептоны, барионы и мезоны

В настоящее время в микромире различают четыре типа основных взаимодействий между микрочастицами: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

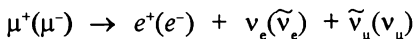
1. *Сильное* взаимодействие приводит к самой сильной связи микрочастиц. Впервые с ним мы встретились в атомных ядрах. Именно там нуклоны (протоны и нейтроны) связаны по типу сильных взаимодействий. Эти связи осуществляются путем процессов обмена между протоном и протоном, между нейтроном и нейтроном нейтральным пионом π^0 и, наконец, между протоном и нейтроном заряженными пионами π^+ и π^- . Сильное взаимодействие является ярко выраженным короткодействующим типом связи: радиус его действия очень мал, он порядка типичных ядерных размеров (10^{-13} см). Сильная связь между нуклонами обеспечивает большую устойчивость макротел в природе. Энергия связи, приходящаяся на один нуклон в атомных ядрах химических элементов со средними атомными весами, оказывается довольно большой величиной – порядка 8 МэВ на нуклон.

2. *Электромагнитное* взаимодействие более слабое, чем сильная связь. Оно осуществляет связь электронов атомной оболочки с положительным электрическим зарядом атомного ядра. Этот тип фундаментальных связей происходит путем обмена между электрически заряженными микрочастицами с помощью фотонов. В отличие от сильной связи он является далекодействующим, поэтому атомные расстояния в десятки тысяч раз превышают размеры атомных ядер и составляют по порядку величины 10^{-8} см. Еще одно характерное отличие электромагнитных сил состоит в том, что из-за существования двух типов электрических зарядов – положительного и отрицательного – они могут быть как силами притяжения (между разноименными зарядами), так и силами отталкивания (между одноименными зарядами). В основном такой тип фундаментальных взаимодействий ответственен за структуру электронной оболочки всех атомов химических элементов.

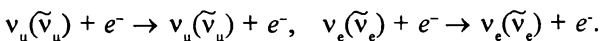


3. *Слабое* взаимодействие обуславливает связь между микрочастицами в очень медленно протекающих процессах в микромире. Свидетельством его слабости может, например, служить то, что нейтрино и антинейтрино, для которых этот тип связи является практически единственным, могут свободно проникать через всю толщу Земли и Солнца. Данный тип сил играет главенствующую роль при радиоактивном процессе бета-распада и К-захвата. Он также обеспечивает относительно большие времена жизни для так называемых *квазистабильных* микрочастиц, времена жизни которых достигают величин порядка 10^{-8} – 10^{-10} с, тогда как для сильного взаимодействия соответствующие времена жизни близки по порядкам величины 10^{-20} – 10^{-24} с. Слабые взаимодействия обуславливают все процессы, происходящие с участием нейтрино и антинейтрино, ибо последние подчиняются только этому типу связи и гравитации. Они также играют заметную роль в процессе эволюции звезд.

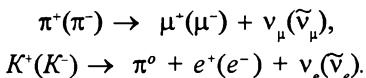
Укажем на универсальность слабого взаимодействия, т.к. оно присуще всем микрочастицам, кроме фотона, – как адронам, так и лептонам. Процессы слабой связи, в которых принимают участие только лептоны, именуют *чисто лептонными*. Типичными примерами таких процессов являются распад мюонов на электроны или позитроны и нейтрино или антинейтрино:



или упругое рассеяние нейтрино или антинейтрино на электронах и позитронах:



Процессы слабой связи с одновременным участием адронов и лептонов называются *полулептонными*. К ним относится бета-распад, а также распады электрически заряженных пионов и каонов:



Наконец, процессы слабого взаимодействия, которые идут только между адронами, называются *нелептонными*. В качестве примера приведем распады электрически заряженных каонов и нейтрального лямбда гиперона:



$$K^+(K^-) \rightarrow \pi^+(\pi^-) + \pi^+(\pi^-) + \pi^-(\pi^+)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \text{ или } \Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0.$$

Последние два типа процессов, т.е. полулептонные и нелептонные, объясняются сложной составной кварковой структурой адронов. Заметим, что слабое взаимодействие обладает очень малым радиусом действия – меньшим, чем 10^{-15} см.

Из-за того, что имеется три типа нейтрино и антинейтрино, во всех слабых процессах у каждого заряженного лептона – e^+ и e^- , μ^+ и μ^- , τ^+ и τ^- – имеется своя «тень», свои нейтрино и антинейтрино: ν_e и $\tilde{\nu}_e$, ν_μ и $\tilde{\nu}_\mu$, ν_τ и $\tilde{\nu}_\tau$. Для выяснения того, какие процессы слабого взаимодействия возможны, а какие нет, вводятся особые квантовые числа – три лептонных заряда: L_e, L_μ, L_τ . Они имеют такие значения:

$$L_e = \begin{cases} +1 \text{ для } e^- \text{ и } \nu_e, \\ -1 \text{ для } e^+ \text{ и } \tilde{\nu}_e, \\ 0 \text{ для всех других микрочастиц.} \end{cases}$$

$$L_\mu = \begin{cases} +1 \text{ для } \mu^- \text{ и } \nu_\mu, \\ -1 \text{ для } \mu^+ \text{ и } \tilde{\nu}_\mu, \\ 0 \text{ для всех других микрочастиц.} \end{cases}$$

$$L_\tau = \begin{cases} +1 \text{ для } \tau^- \text{ и } \nu_\tau, \\ -1 \text{ для } \tau^+ \text{ и } \tilde{\nu}_\tau, \\ 0 \text{ для всех других микрочастиц.} \end{cases}$$

Алгебраическая сумма лептонных зарядов сохраняется во всех процессах слабого взаимодействия, что и определяет, какие процессы могут происходить, а какие запрещены. С учетом сохранения всех трех типов лептонных зарядов все возможные реакции с участием лептонов выглядят так:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu, \quad \pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e,$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \tilde{\nu}_\mu + \nu_e, \quad \mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \tilde{\nu}_e,$$

$$\tau^- \rightarrow e^- + \nu_\tau + \tilde{\nu}_e, \quad n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e.$$

Можно проверить, что во всех этих реакциях справа и слева алгебраическая сумма лептонных зарядов одна и та же. Такие реакции, как, например,

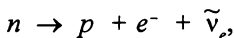
$$\tau^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_\tau + \tilde{\nu}_e \text{ и т.п.}$$



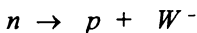
оказываются запрещенными законом сохранения лептонных зарядов.

Электрический заряд и магнитный момент всех нейтрино и антинейтрино равны нулю, но нейтрино и антинейтрино при этом не являются истинно нейтральными частицами, поскольку у них различные лептонные заряды и различные спиральности. Спиральность – одна из квантово-механических характеристик состояния микрочастиц, определяемая как проекция спина частицы на направление её импульса. Спиральность обозначают символом λ . Если $\lambda > 0$, т.е. спин и импульс параллельны, то мы имеем правовинтовую или правую спиральность. Если же $\lambda < 0$, спин и импульс антипараллельны, то спиральность левовинтовая или левая. Спин у всех этих частиц равен $1/2$, т.е. они являются фермионами, а вопрос об их массе покоя пока остается до конца не решенным.

В связи с проблемой слабого взаимодействия надо еще раз упомянуть об открытии так называемых *промежуточных бозонов* – W^+ и W^- , а также Z^0 , которые, согласно идее Юкавы, должны переносить слабое взаимодействие. Его идея получила свое полное развитие только после создания единой теории электрослабого взаимодействия, предложенной в 1967 году С. Вайнбергом и А. Саламом (за нее в 1979 году Глешоу, Саламу и Вайнбергу была присуждена Нобелевская премия). Не останавливаясь на математическом аппарате этой теории, мы только отметим, что теория электрослабого взаимодействия в целом сохранила основные положения теории Ферми для бета-распада, но внесла еще три новых промежуточных тяжелых бозона: первый – положительно заряженный W^+ , второй – отрицательно заряженный W^- , оба со спином 1, и третий – нейтральный бозон Z^0 . Именно эти бозоны и являются переносчиками электрослабого взаимодействия. Так, например, в теории электрослабой связи схема бета-распада, которая нами ранее принималась как



теперь заменяется двухступенчатым процессом распада. Сначала нейтрон превращается в протон с испусканием W^- -бозона, т.е.





с последующим распадом на электрон и антинейтрино:

$$W^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e.$$

В теории электрослабого взаимодействия также предполагается существование нейтрального промежуточного бозона, уже упомянутого Z^0 , со спином, равным 1, который обеспечивает процессы без изменения знаков электрических зарядов. Продукты распада всех трех бозонов выглядят так:

$$W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e, W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu,$$

$$W^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e, W^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu,$$

$$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-, Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-.$$

Эти промежуточные бозоны были открыты на ускорителях с протонно-антипротонными встречными пучками. Для масс покоя промежуточных бозонов получены следующие значения:

$$M(Z^0) = (95,6 \pm 1,4) \text{ ГэВ},$$

$$M(W^+ + W^-) = (80,9 \pm 1,5) \text{ ГэВ},$$

т.е. их массы покоя во много раз больше массы покоя протона, которая равна 0,9383 ГэВ.

Наблюдение промежуточных заряженных бозонов проще всего осуществить с помощью исследования их лептонных распадов, приведенных во второй строке указанных только что выше схем распада. Заряженные промежуточные бозоны были открыты 20 января 1983 года, а нейтральный промежуточный бозон – в июне 1983 года в ЦЕРНе в Женеве, в Европейском центре атомных и субатомных исследований.

4. *Гравитационное* взаимодействие хорошо известно по своему макропроявлению в Космосе в явлении тяготения. Благодаря тому, что в гравитации имеет место только притяжение, в макромире из-за суммирования всех сил гравитации наблюдаются очень большие гравитационные эффекты, которые определяют все движения небесных тел. Но в случае микрочастиц, в силу чрезвычайной малости их масс покоя, действие гравитации очень слабое по сравнению с другими тремя типами фундаментальных взаимодействий и на характерных атомных и субатомных расстояниях 10^{-8} – 10^{-13} см его эффект почти незаметен. Однако при длинах порядка



планковской, т.е. на расстояниях порядка 10^{-33} см, гравитационные эффекты могут быть очень существенны и в микроявлениях.

Гравитационную силу характеризует ньютоновская гравитационная постоянная G , которая входит в закон всемирного тяготения. Величина ее равна:

$$G = 6,6720 \times 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1} \text{ с}^{-2}.$$

Переменное гравитационное поле от ускоренно движущихся тел должно вызывать гравитационные волны, но пока нет окончательных экспериментов прямого их обнаружения, поскольку, по-видимому, в существующих приборах не хватает чувствительности. Предполагаемый квант гравитационного поля называется гравитоном. Теория дает, что его масса покоя равна нулю, а спин равен 2, т.е. он является бозоном.

Вопрос об обнаружении гравитационных волн дебатруется в астрономии и в космологии, особенно в связи с изучением недавно открытых космических объектов – пульсаров или нейтронных звезд.

Рассмотрим некоторые общие вопросы фундаментальных взаимодействий. Различные типы четырех основных связей в микромире характеризуются так называемыми константами связи, или, иначе, постоянными взаимодействий. Сильное взаимодействие характеризуется безразмерным параметром, который имеет вид:

$$2\pi g^2/\hbar c = 14,$$

(здесь g – константа сильного взаимодействия, равная $g=2 \times 10^{-8} \text{ г см}^3 \text{ с}^{-2}$).

Для слабого взаимодействия соответствующая безразмерная константа равна:

$$8\pi^3 G_\phi M^2 c/\hbar^3 = 10^{-5},$$

(здесь G_ϕ – константа фермиевского взаимодействия, равная $G_\phi = 10^{-49} \text{ эрг см}^3$, M – масса покоя нуклона).

Электромагнитное взаимодействие имеет константу связи, равную α . Мы уже знакомы с этой величиной, она определяет тонкую структуру спектральных линий:

$$\alpha = e^2/\hbar c = 1/137 = 0,00679,$$

где e – заряд электрона, который играет роль постоянной электромагнитного взаимодействия, $e = 4 \times 10^{-10} \text{ г}^{1/2} \text{ см с}^{-1}$. Для



гравитационного взаимодействия безразмерный параметр равен:

$$2\pi GM^2/hc = 3,5 \times 10^{-12},$$

а гравитационная постоянная G уже была приведена выше.

Итак, параметры фундаментальных взаимодействий, соответственно сильного, электромагнитного, слабого и гравитационного, относятся при экстраполяции на нулевые расстояния между микрочастицами как:

$$1 : 10^{-3} : 10^{-5} : 10^{-39}.$$

Приведем классификацию элементарных микрочастиц, вспомнив о всех квантовых числах и о типах связи. Первое разделение микрочастиц идет по участию или неучастию их в сильном взаимодействии. Те микрочастицы, которые участвуют в этой связи, называют *адронами*, а те, которые не участвуют в ней, – *лептонами*.

Далее, займемся разделением адронов на два класса в связи со значением барионного квантового числа. Оно может принимать три значения: $+1$, -1 и 0 . Микрочастицы-адроны с барионным числом $B = +1$ называются *барионными* частицами, микрочастицы, которые имеют $B = -1$ – барионные античастицы, а микрочастицы с $B = 0$ называют *мезонами*. Во всех трех типах связи: сильном, электромагнитном и слабом, – барионные числа строго сохраняются. Поэтому во всех процессах, обусловленных данными связями, сохраняется разность между числом барионов и антибарионов. Таким образом, рождение бариона при превращении должно всегда сопровождаться появлением антибариона. Группа барионов состоит из тяжелых частиц с массой покоя не меньше массы покоя протона, они все имеют спин, равный $1/2$, т.е. являются фермионами. К барионам относятся и оба нуклона – протон и нейтрон, гипероны и барионные резонансы.

Предсказывается также существование микрочастиц с квантовыми числами «очарованием» и «прелестью», а возможно, и другими.

Единственным стабильным барионом является протон (с его временем жизни в 10^{30} лет). Все остальные барионы нестабильные, и путем последовательных процессов распада они превращаются в протон и легкие микрочастицы. Нейтрон в свободном состоянии нестабилен, хотя по временным масштабам микромира его время жизни 17 минут (это огромная

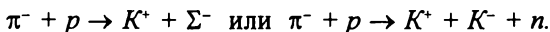


продолжительность), а в атомных ядрах нейтроны из-за действия ядерных сил становятся стабильными. Барионы, как уже отмечалось, участвуют во всех четырех типах фундаментальных взаимодействий.

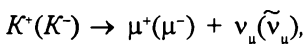
Вторая группа адронов (*мезоны*) – тоже нестабильные микрочастицы, обладающие целым спином, т.е. являющиеся бозонами. Все они имеют нулевое значение барионного квантового числа: $B = 0$. Их название происходит от греческого слова «мезос», т.е. средний или промежуточный, т.к. предполагалось вначале, что их массы покоя действительно лежат между протоном и электроном, как, например, для пионов. Но теперь, когда появились мезоны с массами покоя, большими массы покоя протона, такое название сохранилось по традиции.

Мезоны могут быть заряженными электрически (как положительно, так и отрицательно) и нейтральными. У них может быть нулевое значение странности (скажем, у пионов) и ненулевое (например, у каонов), а также нулевое и ненулевое значение очарования и т.п. Мы увидим позже, что по модели кварков мезоны состоят из соединения кварка и антикварка. Подчеркнем большое значение для микрофизики открытия в 1976–1977 годах ипсилон-частицы, т.е. Υ -мезона с массой покоя около 10 ГэВ. Кроме нее были еще открыты три микрочастицы, а именно: Υ' с массой покоя в 10,018 ГэВ, Υ'' с массой покоя 10,350 ГэВ, Υ''' с массой покоя 10,573 ГэВ.

Полученные ипсилон-мезоны являются истинно нейтральными микрочастицами, как и нейтральный пион π^0 и фотон. Напомним, что в группе мезонов существует группа метастабильных микрочастиц-каонов – два электрически заряженных K^+ и K^- и два нейтральных K^0 и \bar{K}^0 . Два последних каона имеют нулевой спин и массу покоя, примерно в 970 раз большую электронной массы покоя. Каоны участвуют в сильном взаимодействии, т.е. являются адронами, и имеют отличные от нуля значения квантовых чисел странности: $S = +1$ у K^+ и K^0 , а у K^- и \bar{K}^0 $S = -1$. Сильные взаимодействия могут вызвать процессы с участием каонов типа:



Кроме того, каоны принимают участие и в слабых взаимодействиях в виде, например, таких реакций распада:



а также в других реакциях. Существуют и иные типы мезонов.

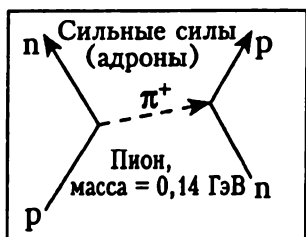
Подведем некоторые итоги нашего рассмотрения четырех фундаментальных взаимодействий, имеющих резко различные свойства. Прежде всего, их интенсивности отличаются от 1 до 10^{-39} . Во-вторых, эти взаимодействия переносятся различными микрочастицами: пионами, фотонами, промежуточными бозонами и т.д., а переносчики взаимодействия обязательно являются бозонами, сами же взаимодействующие микрочастицы являются фермионами. Массы покоя переносчиков взаимодействия могут быть нулевыми, как, например, у фотона, и ненулевыми, как у пионов. Некоторые общие выводы сведены нами в *таблицу 11*. На *рис. 33* приведены так называемые фейнмановские графики для них, где прямые или волнистые линии показывают движение той или иной микрочастицы, а точки пересечения линий обозначают процесс столкновения частиц, приходящих в эту точку, и пути разбегающихся продуктов реакции.

На *рис. 34* показаны графики для зависимостей интенсивностей всех четырех типов фундаментальных взаимодействий от расстояния между микрочастицами.

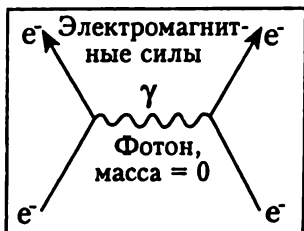
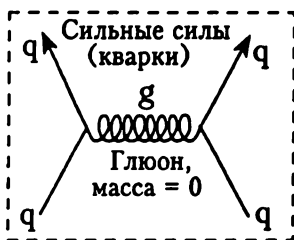


Тип связи	Интенсивность	Радиус действия	Тип микрочастиц, участвующих в связи	Микрочастицы-переносчики взаимодействия			Связь между одинаковыми частицами
				Тип	Масса	Спин	
Гравитационная	10^{-39}	Большой – $1/\Gamma^2$	Все микрочастицы	Гравитон	0	2	Притяжение
Слабое	10^{-5}	Малый – 10^{-15} см	Лептоны и кварки и все другие, кроме фотона	Промежуточные бозоны, нейтрино и антинейтрино	~ 100 МэВ	1	Отталкивание
Электромагнитное	10^{-3}	Большой – $1/\Gamma^2$	Все электрически заряженные частицы	Фотон	0	1	Притяжение и отталкивание
Сильное	1	Малый – 10^{-13} см	Нуклоны, кварки	Пионы и глюоны	140 МэВ	0	Притяжение
					0	1	

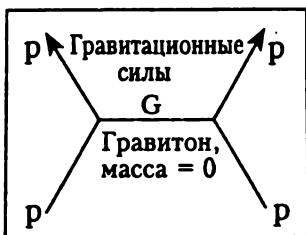
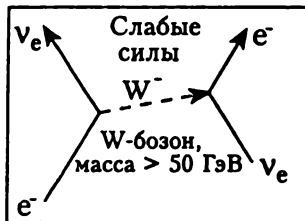
Табл. 11. Таблица, в которой сведены некоторые данные о фундаментальных взаимодействиях.



а



в



д

Рис. 33. Фейнмановские графики некоторых типичных фундаментальных процессов взаимодействия между микрочастицами: а) и б) – сильное взаимодействие, в) электромагнитное взаимодействие, г) слабое взаимодействие, д) гравитационное взаимодействие.

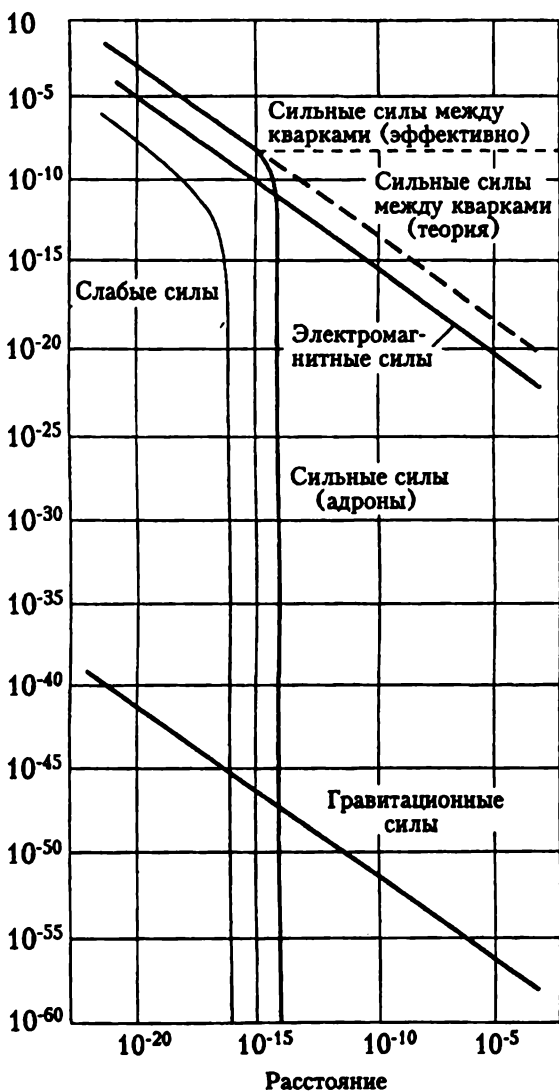


Рис. 34. Зависимость интенсивности всех четырех типов фундаментальных взаимодействий от расстояний между микрочастицами.



1.24. Внутренняя структура адронов. Гипотеза кварков, глюонов. Четность C , зарядовое сопряжение P и изменение T . CPT – инвариантность

Остановимся на проблеме внутренней структуры адронов. За последние годы для объяснения многих эффектов в мире адронов была предложена следующая гипотеза: адроны построены из истинно элементарных образований, которые называли кварками. Такая гипотеза была высказана впервые в 1964 году независимо друг от друга в США М. Гелл-Манном и Г. Цвейгом для объяснения многих закономерностей, установленных в экспериментах с адронами. Само название «кварк» имеет литературное происхождение, оно было заимствовано Гелл-Манном из романа ирландского писателя Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», где герою романа слышатся крики чаек: «Три кварка! Три кварка!» Это название было выбрано потому, что кваркам пришлось приписать много необычных свойств, отличных от ранее известных свойств микрочастиц.

Предположение о существовании кварков возникло главным образом из-за того, что адронов было открыто очень много, и выяснилось, что их можно сгруппировать в некие семейства с близкими основными характеристиками. Такие семейства адронов получили название унитарных супермультиплетов. Напомним квантовые числа, определяющие состояния адронов.

Адроны могут иметь как положительный, так и отрицательный электрические заряды, например, $+e$ у протона и $-e$ у пиона π^- , или же не иметь электрического заряда, как у нейтрона и нейтрального пиона π^0 или у гиперонов Λ^0 , Σ^0 и т.д. В общем случае электрические заряды в единицах заряда электрона e имеют вид: $Q = 0, 1, 2, \dots$ Адроны также имеют спин, в частности, у нуклонов – протона и нейтрона – он равен $1/2$, у пионов всех трех типов – нулю, у ρ -мезона – 1 , у Ω -гиперона спин – $3/2$ и т.д., их лептонный заряд равен нулю. Кроме того, адроны обладают определенной четностью и массой покоя.

Остановимся здесь на рассмотрении понятия четности, поскольку оно встретилось нам впервые.



Четность характеризует поведение физической системы при пространственном зеркальном отражении, как это имеет место для случая винта, зеркальное отражение которого показано на рис. 35.



Рис. 35. а) Винт с правой резьбой; б) его зеркальное изображение в виде винта с левой резьбой.

Под четностью подразумевают специальное квантовое число, характеризующее симметрию волновой функции микрочастицы (например, атома или атомного ядра) относительно зеркального отражения. Пространственная четность обозначается символом P и она может быть положительной с $P=+1$ и отрицательной с $P=-1$. Частицы с положительным значением P называются четными, с отрицательным — нечетными.

В квантовой механике состояние частицы определяется поведением волновой функции ψ при инверсии координат, т.е. при замене r на $-r$ волновая функция для четных состояний не меняет знак, а для нечетных меняет его на обратный, т.е. мы можем написать для действия преобразования P на волновую функцию:

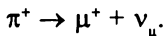
$$P\psi(r) = +\psi(-r) \text{ или } -\psi(-r)$$

в первом случае для четного варианта, а во втором — для нечетного.

Четность сохраняется в гравитационных, сильных и электромагнитных взаимодействиях, но нарушается в слабых взаимодействиях. Из рис. 35 следует, что винт с правой резьбой (а) при его отражении в зеркале выглядит как винт с левой резьбой (б).



Не вдаваясь в детали теоретического рассмотрения об инвариантности операции отражения P , которые выходят за рамки нашего курса, укажем лишь, что сохранение четности запрещает, например, распад K -мезона как на два, так и на три пиона. K -мезоны, в силу инвариантности зеркального отражения, могут распадаться либо одним, либо другим способом, но не обоими. Эксперимент же показал, что оба процесса возможны. Данный факт заставил в 1956 году Ц.Ли и Ч.Янга признать, что при слабых взаимодействиях нарушается закон сохранения четности, и они предложили поставить некоторые опыты для проверки своего предположения. В частности, они рассмотрели распад π^+ -пиона, в котором «замешано» слабое взаимодействие, в реакции:



Они считали, что спины продуктов распада у мюона и нейтрино будут ориентированы преимущественно вдоль направления движения этих микрочастиц и инвариантность относительно отражения будет нарушаться.

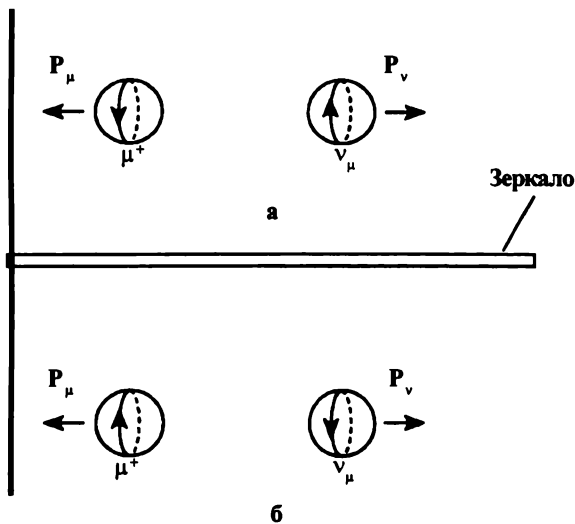


Рис. 36. а) Схема продуктов распада π^+ -пиона; б) ее зеркальное отображение.



На рис. 36 спин схематически изображен как вращение микрочастицы вокруг собственной оси, а микрочастицы μ^+ и ν_μ изображены на рис. 36а в виде вращающихся сфер. Здесь же показаны продукты распада π^+ -пиона и они, т.е. μ^+ и ν_μ , должны вращаться в разные стороны, чтобы результирующий спин был равен нулю, как у π^+ -пиона (на рис. 36б дано зеркальное изображение такого процесса). Тогда вращение микрочастиц будет происходить в обратном направлении и «винт» относительно направления движения изменится на обратный. Распад, показанный на рис. 36б, никогда не наблюдался, поскольку четность не сохранилась. Нейтрино всегда обладает свойствами «левого» винта, а правый винт, который соответствует рис. 36б, есть только у антинейтрино.

Если к рис. 36 применить операцию зарядового сопряжения C , то мы получим схему распада, изображенную на рис. 37а с μ^- и $\bar{\nu}_\mu$, при этом антинейтрино оказывается левовинтовым. Но опыт дает, что антинейтрино $\bar{\nu}_\mu$ всегда правовинтовая микрочастица, как это показано на рис. 37б. На рис. 37б распад π^- пиона изображен таким, каким он наблюдается на опыте. Здесь замена частиц соответствующими античастицами приводит к наблюдаемому распаду π^- -пиона, что является нарушением P -симметрии. Если же отразить распад π^+ -пиона в зеркале (Рис. 37а) и одновременно заменить частицы соответствующими античастицами, то получается правильный результат для распада π^- -пиона.

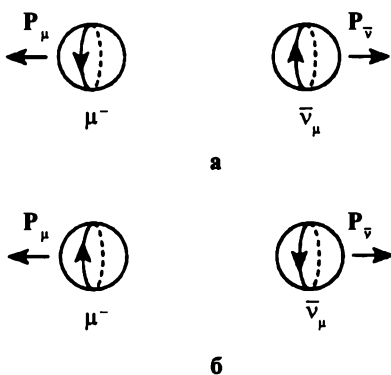


Рис. 37. а) Распад, сопряженный по заряду с π^+ пионом для π^- пиона; б) его зеркальное изображение.



Таким образом, здесь сохраняется так называемая одновременная или *комбинированная* CP -симметрия, когда одновременно производится зеркальное отражение и замена частиц на античастицы. Однако в случае распада долгоживущего K^0 каона *не* сохраняется и комбинированная CP -инвариантность, поскольку происходят распады не только на три, но и на два пиона. Во всех других случаях слабого взаимодействия комбинированная четность сохраняется. Комбинированную четность впервые ввели в 1956 году Ландау, а также Ли и Янг. Природа сил, нарушающих и комбинированную инвариантность CP , нам пока не известна. В теории рассматривается еще и тройное преобразование – одновременно с P - и C -преобразованиями рассматривают еще T -преобразование, которое представляет собой изменение знака времени.

В современной микрофизике утверждается, что инвариантность относительно одновременно совершаемых трех преобразований: зарядового сопряжения P , пространственной инверсии C и обращения времени (замены t на $-t$), т.е. так называемого CPT -преобразования, всегда сохраняется. Эта теорема, которую предложили Г. Людерец в 1951 году и В. Паули в 1955 году, вытекает из основных принципов квантовой теории поля, и пока что на опыте не было обнаружено ни одного случая нарушения CPT -инвариантности.

Среди адронов можно выделить группы микрочастиц, имеющих ряд одинаковых (или почти одинаковых) свойств (спин, массу покоя, четность и одинаковое сильное взаимодействие), но обладающих различными величинами и знаками электрических зарядов. Это, как уже отмечалось выше, так называемые зарядовые мультиплеты: к ним относятся пара нуклонов p и n , триплет пионов π^+ , π^- , π^0 , триплет гиперонов Σ^+ , Σ^- , Σ^0 и т.д. Частицы внутри зарядового мультиплета рассматриваются как различные зарядовые состояния одной и той же микрочастицы, но тогда вводят дополнительную зарядовую переменную – новое внутреннее квантовое число – *изотопический спин* I . Очевидно, что число частиц в зарядовом мультиплетете будет равно $2I + 1$.

Кроме изотопического спина вводят его z -проекцию I_z (так же, как и проекцию обычного спина). I_z пробегает (с интервалом в единицу) все значения от максимального (целого или полуцелого) значения I до его минимального значения $-I$. Для нуклонов с двумя зарядовыми состояниями (и для всех

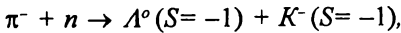
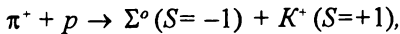
других дублетов) $I = 1/2$, причем $I_3 = +1/2$ для протона и $I_3 = -1/2$ для нейтрона. Триpletу пионов соответствует $I = 1$, $I_3 = +1$ для π^+ -пиона, $I_3 = -1$ для π^- -пиона и $I_3 = 0$ для π^0 -пиона. Микрочастицы с $I = 0$, например Λ^0 гиперон и другие, не имеют партнеров и являются изотопическими синглетами.

Мы уже видели, что адроны делятся на две группы микрочастиц: *барионы* и *мезоны*, различаясь значением барионного заряда (барионного квантового числа) B . Нуклоны и гипероны (в том числе и их резонансы) имеют барионный заряд $B = +1$, а их античастицы, соответственно, $B = -1$. Мезоны имеют значение $B = 0$.

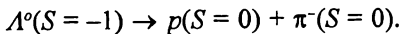
Если ограничиться рассмотрением процессов, в которых можно пренебречь слабым взаимодействием, то для адронов можно указать три закона сохранения:

- 1) закон сохранения барионного заряда;
- 2) закон сохранения электрических зарядов самих адронов;
- 3) закон сохранения *странности* S .

Напомним, что квантовое число S может принимать значения $S = 0, +1, -1, +2, -2, +3, -3, \dots$. Если реакция идет при участии одного сильного взаимодействия, то из двух реакций



возможна только первая, в которой сохраняется странность. Слабое взаимодействие может снять этот запрет и, например, допустить с малой вероятностью реакцию:



Упоминалось еще квантовое число C , «очарование», которое принимает значения $C = 1, 2, 3$. Заметим, что для обычных частиц $C = S = 0$. Для странных частиц $S \neq 0$ и для очарованных $C \neq 0$, причем в связи с обнаружением ипсилон-микрочастиц есть основание считать, что существует еще одно квантовое число – «красота», или «прелесть» b (от англ. beauty).

Квантовые числа микрочастиц разделяются на точные, для которых выполняется закон сохранения при всех взаимодействиях, и неточные, которые в некоторых процессах не сохраняются. Спин, электрический заряд, барионное квантовое число и лептонный заряд всегда сохраняются, а кванто-



вые числа S , C , b сохраняются только при сильном взаимодействии, но не при слабом.

Следуя гипотезе Гелл-Манна и Цвейга, будем считать, что все адроны имеют внутреннюю структуру и построены из элементарных микрочастиц – кварков: мезоны строятся из двух объектов – кварка и антикварка, а барионы и антибарионы из трех кварков или антикварков. Число различных типов кварков по современным представлениям равно шести или, как принято говорить, есть шесть «ароматов». Аромат, конечно, не связан с их «запахом», это просто нарушение обычной скучной научной терминологии (физики шутят!). Перечислим введенные ароматы: u – верхний, d – нижний, s – странный, c – очарованный, b – прелестный и, наконец, истинный кварк – t . Существование последнего t -кварка было подтверждено недавними опытами в США в 1995 году.

Кварки обладают рядом необычных свойств. Во-первых, они электрически заряжены, но их заряды по величине являются *дробными* (в единицах электрического заряда электрона e) и кратны $(1/3)e$. Три кварка – u , c и t имеют заряд $+(2/3)e$, а их антикварки \bar{u} , \bar{c} и \bar{t} заряд $-(2/3)e$. Другие три кварка d , s , b имеют заряд $-(1/3)e$, а их антикварки \bar{d} , \bar{s} , \bar{b} заряд $+(1/3)e$. Все кварки обладают спином $1/2$, т.е. являются фермионами.

Кроме того, кваркам пришлось приписать еще одно специфическое для них квантовое число «цвет» (здесь опять-таки нет никакой связи с их «окраской»), которое имеет три значения: красный – r (от англ. red), синий – b (от англ. blue) и зеленый – g (от англ. green). Введение цветового квантового числа вызвано тем, что необходимо согласовать кварковую модель с принципом Паули, который должен выполняться для любых фермионов, в том числе и для кварков. Например, система из трех кварков образует соответствующий барион, например, Ω^- , структура которого $(s\uparrow, s\uparrow, s\uparrow)$ или Δ^{++} ($u\uparrow, u\uparrow, u\uparrow$), где стрелки показывают направление спина. Если кваркам не приписать цвета, то система с тремя параллельными спинами запрещена по принципу Паули из-за ее полной симметрии (напомним, что на каждом энергетическом уровне может «сидеть» только две частицы с антипараллельными спинами).

Итак, введение цвета позволяет преодолеть запрет принципа Паули и допустить три параллельных спина в одном состоянии адрона. С введением цветов для первых трех ти-



$q_{ia} = \begin{bmatrix} u_r, u_g, u_b \\ d_r, d_g, d_b \\ s_r, s_g, s_b \end{bmatrix}$ пов кварков u, d, s , существует 9 кварковых состояний, которые перечислены в табл. 12. В ней нижний индекс r, g, b нумерует цвет кварка (u, d, s).

Табл. 12. Девять состояний для трех цветных кварков u, d, s с различными цветами r, g, b .

В табл. 13 приведены характеристики пяти ароматов кварков, т.е. даны значения восьми квантовых чисел: спина J , изотопического спина I , его проекции I_3 , барионного числа B , странности S , очарования C ,

красоты b и электрического заряда Q . Обращаем внимание на дробные значения барионных квантовых чисел B и электрических зарядов Q , которые не встречались ни у каких из ранее упоминавшихся микрочастиц.

Табл. 13. Пять ароматов кварков с их основными квантовыми числами.

Кварки	СИМВОЛ	J	I	I_3	B	S	C	b	Q
q_1^a	u^a	1/2	1/2	1/2	1/3	0	0	0	2/3
q_2^a	d^a	1/2	1/2	-1/2	1/3	0	0	0	-1/3
q_3^a	s^a	1/2	0	0	1/3	-1	0	0	-1/3
q_4^a	c^a	1/2	0	0	1/3	0	1	0	2/3
q_5^a	b^a	1/2	0	0	1/3	0	0	1	-1/3

Массы покоя кварков могут быть оценены только приближенно, поэтому мы их здесь не приводим. В качестве дальнейшей иллюстрации гипотезы кварков в табл. 14–15 приведен кварковый состав некоторых мезонов со спином 1/2 и четностью $P = -1$ (т.е. бозонов) и барионов со спином 1/2 и четностью $P = +1$ (т.е. фермионов). Надо иметь в виду,



что выражение, например, ud представляет собой в действительности сумму трех слагаемых:

$$\bar{u}_1 d_1 + \bar{u}_2 d_2 + \bar{u}_3 d_3 = \Sigma \bar{u}_i d_i,$$

где индексы 1, 2, 3 отвечают красному, синему и зеленому (или желтому) цветам. То же относится и к другим кварковым комбинациям.

Табл. 14 Кварковый состав некоторых типов мезонов

Частица	Состав	Частица	Состав
π^+	$u\bar{d}$	η'	$\frac{1}{\sqrt{3}}(u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s})$
π^0	$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d})$	η_c	$c\bar{c}$
π^-	$\bar{u}d$	F^+	$c\bar{s}$
η	$\frac{1}{\sqrt{6}}(u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s})$	F^-	$\bar{c}s$
K^+	$u\bar{s}$	\bar{D}^0	$u\bar{c}$
K^0	$d\bar{s}$	D^-	$d\bar{c}$
K^-	$\bar{u}s$	D^0	$\bar{u}c$
\bar{K}^0	$\bar{d}s$	D^+	$\bar{d}c$

Обратимся теперь к вопросу о взаимодействии кварков внутри адронов. Как и в случае всех микрочастиц, вокруг кварков возникает специфическое поле, с которым связаны



кванты – переносчики этого взаимодействия. Здесь наблюдается полная аналогия с уже известным нам взаимодействием между электрически заряженными микрочастицами, вокруг которых создается электромагнитное поле, а фотоны являются переносчиками такого взаимодействия, для сильного же ядерного взаимодействия роль переносчиков играют пионы.

Табл. 15. Кварковая структура некоторых барионов. Фигурные и квадратные скобки означают симметризованное и антисимметризованное произведения

Частица	Состав	Частица	Состав
p	uud	Σ_c^+	ddc
n	udd	Λ_c^0	[ud]c
Λ^0	[ud]s	Ξ_{scS}^-	{us}c
Σ^+	uus	Ξ_{scS}^0	{ds}c
Σ^0	{ud}s	Ξ_{scA}^+	[us]c
Σ^-	dds	Ξ_{scA}^0	[ds]c
Ξ^0	uss	Σ_c^0	ssc
Ξ^-	dss	Ξ_{cc}^{++}	ucc
Σ_c^{++}	uus	Ξ_{cc}^+	dcc
Σ_c^+	{ud}c	Σ_{cc}^+	sc

Взаимодействие между кварками в адронах носит тоже обменный характер, и этот обмен совершается особыми квантами – глюонами, т.е. квантами глюонного поля, кото-



рым окружен каждый кварк внутри адрона. Слово глюон произошло от английского слова *glue*, что означает *клей* – глюоны как бы склеивают кварки внутри адронов. Масса покоя у глюонов, как и у фотонов, равна нулю, а спин равен 1, т.е. глюоны, как все переносчики взаимодействий между фермионами в микромире, являются бозонами. Взаимодействие, осуществляемое глюонами, всегда является притяжением – кварки и глюоны несут на себе склеивающий цветовой заряд.

В квантовой теории кварков – хромодинамике – предполагается, что имеется восемь сортов цветных глюонов. Обладая цветовым зарядом, глюон может испустить или поглотить другой глюон, т.е. в отличие от фотонов, не имеющих электрического заряда, глюоны между собой сильно взаимодействуют. Такое своеобразное свойство глюонов приводит к тому, что с уменьшением расстояния между кварками эффективные цветовые заряды кварков и глюонов уменьшаются и сильное взаимодействие между ними ослабляется. Это явление носит название асимптотической свободы. В квантовой хромодинамике доказывается, что сближенные кварки внутри адронов ведут себя практически как свободные. Суммарный цветовой заряд мезонов и барионов равен нулю, т.е. их цвет оказывается белым или нейтральным, точно так же как в атоме, где электрическая система в нормальном состоянии нейтральна.

Однако получить кварки и глюоны в свободном состоянии вне объема адронов не удастся – кварки внутри адронов находятся как бы в пожизненном заключении. «Пленение» кварков называют английским словом «конфайнмент», что означает тюремное заключение. Гипотеза строгого конфайнмента была выдвинута для объяснения отрицательных результатов всех опытов по поискам свободных кварков. Подчеркнем, что, несмотря на конфайнмент, есть целый ряд косвенных свидетельств о справедливости гипотезы кварков и глюонов.



1.25. Законы сохранения в микромире

Важной проблемой в теории движения и протекания всевозможных реакций столкновений и превращений микрочастиц являются законы сохранения, которые утверждают постоянство некоторых параметров в природе и, в частности, в микромире. Законы классической физики чаще всего имеют вид законов изменения чего-нибудь, а не сохранения или постоянства, хорошим примером чего являются законы динамики Ньютона, которые описывают реакцию тел на действующие силы; другим примером могут служить законы электромагнетизма Фарадея-Максвелла.

Но постепенно законы сохранения приобрели главенствующее значение среди законов природы. Этому способствовали две причины: во-первых, связь таких законов с характером симметрии пространства-времени и, во-вторых, необходимость наведения порядка в хаосе, который наблюдался в процессах превращения микрочастиц в результате различных взаимодействий. Резюмируя, можно сказать, что старая физика интересовалась более законами дозволения, которые гласили, что может (и должно) произойти с телами в природе. Согласно же новой точке зрения, наиболее фундаментальными законами природы стали законы, которые носят характер запретов, определяя то, что не может происходить в природе. Заметим, что некоторые величины в природе абсолютно постоянны и не изменяются, а есть и такие, которые сохраняются лишь при определенных типах процессов, при других их постоянство нарушается.

Остановимся на перечислении и обсуждении семи законов сохранения, которые господствуют в современной микрофизике и являются абсолютно строгими – это законы сохранения:

- 1) энергии;
- 2) импульса;
- 3) момента количества движения (момента импульса);
- 4) электрического заряда;
- 5) электронного лептонного заряда;
- 6) мюонного и тау-лептонного заряда;
- 7) барионного заряда.

Первые три закона сохранения связаны со свойствами движения микрочастиц в пространстве-времени, следующие



четыре закона должны быть отнесены к внутренним свойствам микрочастиц. Напомним, что первые четыре закона сохранения, приведенные в списке, были уже известны в макрофизике.

Рассмотрим некоторые реакции распадов микрочастиц, иллюстрирующие разные законы сохранения. Например, закон сохранения электрического заряда выполняется при таких реакциях распада:

$$\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0,$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu,$$

а также в реакции на встречных пучках протонов в ускорителе микрочастиц:

$$p + p \rightarrow n + \Lambda^0 + K^+ + \pi^+.$$

Далее, закон сохранения электрического заряда объясняет тот факт, что элементарные частицы имеют заряд, кратный электронному заряду e . Дробные заряды в единицах e , например $0,65e$, затруднили бы подведение баланса заряда в превращениях и поддержании постоянства величины заряда. Наиболее важным следствием закона сохранения заряда является устойчивость электрона. Электрон – самая легкая микрочастица, она могла бы распадаться только на еще более легкие частицы: фотон, нейтрино, гравитон. Однако тогда произошло бы нарушение закона сохранения заряда. Если этот закон был не вполне строгим, то электроны должны были бы иметь конечное и малое время жизни. Но по имеющимся оценкам, оно практически бесконечно и составляет 10^{19} лет, т.е. электрон является устойчивой микрочастицей, как и протон.

В отличие от первых перечисленных выше четырех законов сохранения, которые были известны и в классической физике, последние три закона, приведенные в списке, были установлены при изучении превращений микрочастиц в последнее время. Например, число барионов (т.е. величина барионного заряда) сохраняется в реакция такого типа:

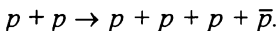
$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \text{ и } \Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma.$$

При столкновении двух протонов суммарное число барионов равно двум, и реакция имеет вид:

$$p(B=+1) + p(B=+1) \rightarrow p(B=+1) + \Sigma^+(B=+1) + K^0(B=0).$$

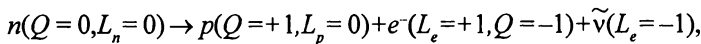


Именно закон сохранения числа барионов дает для протона абсолютную устойчивость со временем – его время жизни в миллион миллиардов раз больше, чем возраст Земли, т.е. 10^{27} лет. Закон сохранения числа барионов выполняется, когда в реакции взаимодействия участвуют и антибарионы с $B = -1$, например, в такой реакции:



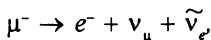
Здесь слева стоят микрочастицы с $B=+1$ и $B=+1$, а справа с $B=+1$, $B=+1$ и $B = +1$, $B = -1$.

Для иллюстрации законов сохранения лептонных зарядов электрона может служить реакция бета-распада нейтрона:



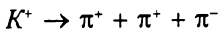
кроме того нейтрон имеет $B=+1$, электрон $B=0$, антинейтрино $B=0$ и протон $B=+1$.

Законы сохранения одновременно электрического и лептонного зарядов, например, выполняются в реакции:



где слева имеем $L = +1$ и $Q = -1$, а справа $Q = -1$, $L_e = +1$, $Q = 0$, $L_\mu = +1$, $Q_\mu = 0$, $L_e = -1$.

Перейдем теперь к рассмотрению законов сохранения величин, являющихся свойствами движения микрочастиц в пространстве-времени. Так, закон сохранения энергии требует, чтобы суммы масс покоя в правой и в левой сторонах равенства различались и в правой части сумма была бы меньше, чем в левой. Примером таких реакций могут служить следующие процессы (здесь массы покоя даются в энергетических единицах МэВ)



и для масс покоя:

$$497,7 \rightarrow 139,5 + 139,5 + 139,5 = 418,5.$$

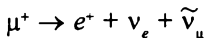
Или:



и для масс покоя

$$1321,3 \rightarrow 1115,60 + 139,5 = 1255,1.$$

Далее,

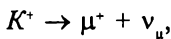


и для масс покоя

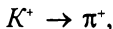
$$105,65 \rightarrow 0,511 + 0 = 0,511.$$



Закон сохранения импульса можно проиллюстрировать реакцией распада покоящегося K^+ каона:



при этом мюон и нейтрино разлетаются в разные стороны, как показано на *рис. 38* (стрелками показаны импульсы разлетающихся в противоположные стороны частиц). Данный закон категорически запрещает, чтобы одна микрочастица превратилась в другую микрочастицу без появления еще одной. Например, невозможна такая реакция:



хотя здесь могут соблюдаться законы сохранения энергии и электрического заряда. Однако разность масс покоя каона K^+ и пиона π^+ (в энергетических единицах МэВ у каона она равна 439,71 и у пиона 139,5) должна превратиться в кинетическую энергию продукта распада, т.е. пиона, с которой обязательно связано появление у него импульса. Поэтому, чтобы сумма импульсов по-прежнему равнялась нулю, должно быть два объекта распада, разлетающихся в разные стороны с противоположно направленными и равными по величине импульсами. Поскольку справа в реакции стоит только один пион π^+ , то он будет двигаться и обладать ненулевым импульсом, что противоречит закону сохранения импульса, поскольку импульс покоящегося каона K^+ равен нулю. Если же приписать пиону π^+ импульс, равный нулю, то нарушается закон сохранения масс покоя или энергии, что невозможно.

Проиллюстрируем еще применение закона сохранения момента количества движения. Пусть пион π^+ , не имеющий спина, распадается на мюон μ^+ и нейтрино ν_μ со спином,

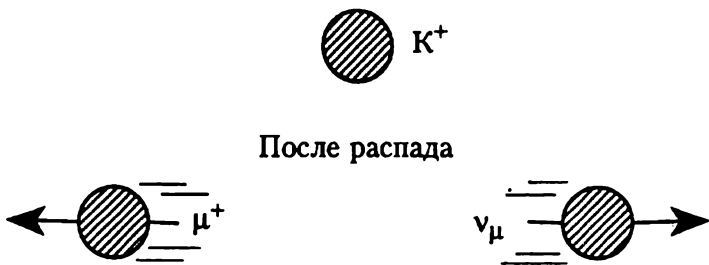
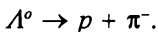


Рис. 38. Иллюстрация применения законов сохранения импульса к процессу распада покоящегося каона K^+ на мюон μ^+ и мюонное нейтрино ν_μ .



равным $1/2$. Этот процесс возможен только при антипараллельных спинах мюона μ^+ и нейтрино ν_μ , тогда суммарный момент количества движения равен нулю.

Приведем еще один пример распада покоящегося гиперона Λ^0 со спином $1/2$ (рис. 39а,б):



Такой распад может происходить двумя способами. При первом протон p и пион π^- не имеют орбитальных моментов, а спин протона параллелен спину гиперона (рис. 39а). Второй вариант процесса распада: спин протона антипараллелен спину гиперона, но пион имеет единичный момент количества движения, который направлен параллельно спину гиперона (рис. 39б). В обоих случаях суммарные моменты количества движения начальной и конечных частиц одинаковы.

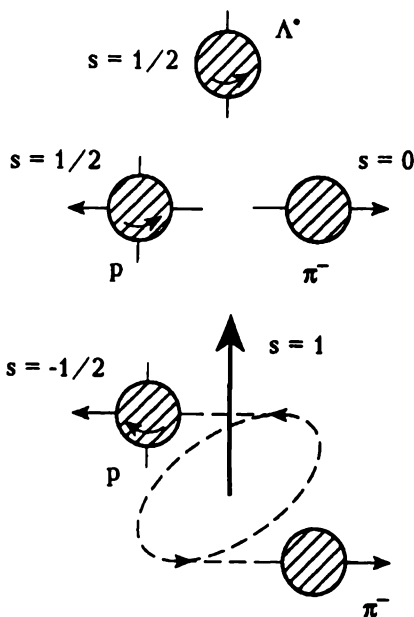
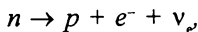


Рис. 39. Иллюстрация применения закона сохранения момента количества движения для распада гиперона Λ^0 :
а) первый момент распада, когда спины гиперона Λ^0 и протона p параллельны, а спин пиона π^- равен нулю;
б) второй вариант распада: спины гиперона Λ^0 и протона p антипараллельны, но есть единичный момент



Первым из исторически известных нам процессов распада микрочастиц был бета-распад, он прекрасно иллюстрирует все обсуждаемые законы сохранения. Эта реакция, неоднократно приводимая выше, имеет вид:



она изображена на *рис. 40*. При бета-распаде сохраняется энергия, ибо сумма масс покоя протона (938, 956 МэВ), электрона (0,511 МэВ) и антинейтрино (0) меньше массы покоя нейтрона (939,550 МэВ). Сохраняется также импульс: три частицы разлетаются в разные стороны, причем избыток энергии будет распределяться между ними так, чтобы сумма трех векторов импульса обращалась в нуль (поскольку импульс нейтрона до распада ядра атома был равен нулю). Выполняется и закон сохранения момента количества движения, показанный на *рис. 40*, – электрон (e^{-}) и протон (p) разлетаются в разные стороны с антипараллельными спинами, а спин антинейтрино направлен параллельно и равен по величине спину исходной микрочастицы, т.е. нейтрона. Электрические заряды протона и электрона нейтрализуются, антинейтрино имеет нулевой электрический заряд, – суммарный электрический заряд у продуктов реакции равен нулю. Электронный, мюонный и тау-типа лептонные заряды у протона и нейтрона отсутствуют, у электрона и антинейтрино отличны от нуля только электронные лептонные заряды, но они разного знака и поэтому в сумме дают нуль. Наконец, барионный заряд $B = +1$ у протона и нейтрона и равен нулю у электрона и антинейтрино.

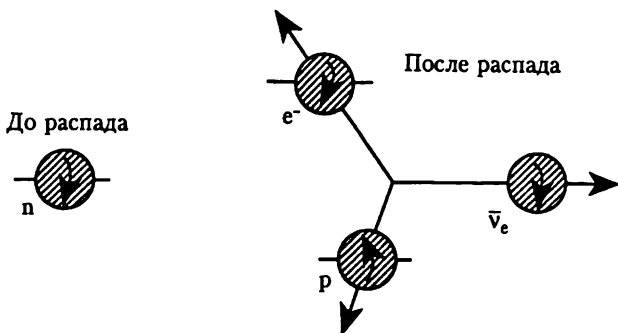


Рис. 40. Иллюстрация выполнения законов сохранения



1.26. Природа физического вакуума

В заключение первой части нашего курса кратко рассмотрим современные представления о природе физического вакуума. Здесь прежде всего необходимо ответить на вопрос: что такое «пустота» с точки зрения современной микрофизики? Что у нас остается, когда из какой-то области пространства удаляются все микрочастицы? Что находится в практически «пустом» межзвездном пространстве, где так мало микрочастиц?

Понятие «пустота» вошло в науку в античном мире, где оно нужно было древним натурфилософам-атомистам, чтобы дать возможность двигаться атомам. В новые времена пустоту пытались вначале заполнить особым видом материи – всепроникающим эфиром, наделяя его обычными механическими свойствами.

Первое серьезное поражение гипотеза эфира потерпела от максвелловской электродинамики в связи с опытами А. Майкельсона и Э. Морли в США в 1885–1887 годах (подробно этот вопрос будет рассмотрен во второй части). Потом появилась теория относительности Эйнштейна, которая объяснила отрицательный результат указанных опытов как раз путем отказа от эфира с его механическими свойствами.

По-видимому, окончательную физическую картину вакуума нарисовала современная квантовая механика – ее раздел, именуемый теорией физических полей. С точки зрения последней, вакуум является основным энергетически наименьшим состоянием квантованного поля. В состоянии вакуума электрический и барионный заряды равны нулю, равны нулю импульс, момент количества движения и другие характеристики. Благодаря виртуальным процессам, которые являются следствием соотношения неопределенностей между энергией и временем, микрочастицы, двигающиеся в физическом вакууме, испытывают влияние виртуальных квантов, и оно приводит к появлению ряда специфических эффектов, непосредственно наблюдающихся на опыте. К ним относится, в частности, существование аномального значения магнитного момента у электрона и мюона, а именно их отличие от величины магнетона Бора для этих микрочастиц.



Итак, физический вакуум – это сложная материальная система, совершенно не похожая по своим свойствам на обычное вещество, построенное из атомов. Здесь полезно вспомнить спор, который волновал ученых еще в XIX веке, о том, как описывать любое взаимодействие – как близкодействие или как дальноедействие. Тела могут действовать друг на друга при непосредственном соприкосновении, например, звук распространяется от источника к приемнику путем взаимодействия молекул вещества между собой. Если звучащий звонок закрыть непроницаемым колпаком и откачать под ним воздух, то звук вне колпака затухнет, хотя язычок звонка и продолжает колебаться.

В отличие от звука, электромагнитное и гравитационное взаимодействия передаются и через «пустое» пространство. Такое пространство, окружающее магнит, электрически заряженное тело или массивный предмет, находится в особом напряженном состоянии. Предполагается, что в нем создано особое материальное поле (магнитное, электрическое или гравитационное), которое действует на другие магниты, заряженные или массивные тела, помещенные в это поле. Сила взаимодействия передается от точки к точке через уже не пустое пространство, а через некую своеобразную невидимую «жидкость», которая называется полем. Такой механизм передачи взаимодействия и называется *близкодействием*, и только он признается в современной физике. Ранее существовало (и достаточно долго) другое представление о *дальноедействии*, когда сила от одного тела к другому передавалась мгновенно через пустое пространство или эфир. Вся теория тяготения Ньютона была построена на этом представлении, и вся небесная механика прекрасно предсказывала астрономические явления с необыкновенной точностью. Только в последнее время, в связи с появлением теории относительности Эйнштейна, нашли очень малые по величине отклонения от ньютоновских предсказаний.

Современная физика навсегда распрощалась с понятием дальноедействия и целиком стоит на признании единственного физически оправданного понятия близкодействия во всех самых разнообразных реальных явлениях в микро- и макромире.

Развитие *квантовой теории поля*, в которой принцип близкодействия полностью оправдался, идет очень успешно. В связи с появлением только что изложенной гипотезы квар-



ков и глюонов пришлось создавать и теорию глюонного квантованного поля, которая получила название *квантовой хромодинамики* (по-русски – *цветодинамики*), которое происходит от греческого слова «хромос» – цвет, поскольку кварки и глюоны несут на себе цветовой заряд. Она построена по образцу и подобию уже ранее созданной квантовой электродинамики, которая является квантовым вариантом или, лучше сказать, обобщением классической электродинамики Максвелла для описания квантовых свойств заряженных частиц – электронов, протонов и переносчиков этого взаимодействия – фотонов.

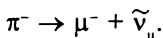
Рассмотрим еще раз в несколько другом аспекте вопрос о процессах рождения микрочастиц при их столкновениях. Для этой цели очень полезными будут наглядные пространственно-временные картинки в виде фейнмановских графиков, которые мы приводили выше, например, на *рис. 39*.

Отложим по оси ординат время t , а по оси абсцисс пространственную координату x , которая условно будет изображать все трехмерное пространство. Линии, параллельные оси времени t , будут изображать микрочастицы, покоящиеся в данной точке x , в которой соответствующая вертикаль, так называемая «мировая линия» события, пересекает горизонтальную ось абсцисс. Если с частицей происходит какой-либо процесс, например, если атом в некий момент времени испустил фотон, то фотон отлетит, скажем, вправо, а атом – влево. По закону сохранения импульса суммарный импульс системы должен равняться нулю, поскольку атом до испускания фотона покоился. Но линия для атома, отлетевшего влево, из-за его ненулевой массы покоя будет отклонена от вертикали на меньший угол, чем линия для фотона, который отлетает с максимально возможной скоростью света c .

Чем медленнее движется частица, тем ближе ее мировая линия к вертикали, которая относится к покоящейся частице. И наоборот, чем быстрее движется частица, тем её мировая линия ближе к горизонтальной оси абсцисс. Однако точно горизонтальной эта линия быть не может, так как существует предельно допустимая скорость c , а для горизонтальной линии скорость частицы была бы бесконечно большой, т.е. частица вообще бы не затрачивала времени для своего движения от точки к точке вдоль оси x . Наклон фотонной мировой линии будет максимально возможным, поскольку фотон движется с максимально допустимой скоро-



стью c . На *рис. 41а* показан процесс испускания фотона атомом, а на *рис. 41б* – процесс распада π^- пиона на мюон μ^- и антинейтрино $\tilde{\nu}_\mu$:



В точке, обозначенной черным кружком, π^- пион исчезает, но в тот же момент времени t рождается мюон μ^- и антинейтрино $\tilde{\nu}_\mu$, которые разлетаются в разные стороны так, чтобы результирующий импульс был равен нулю (черный кружок в теории относительности Эйнштейна называется «событием» в данной точке пространства-времени). На *рис. 41в* представлена схема бета-распада нейтрона n :

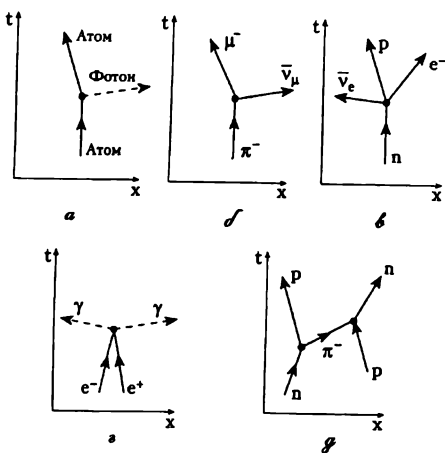
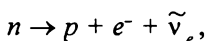


Рис. 41. Мировые линии для процессов взаимодействия между микрочастицами в пространстве-времени:

- а) испускание фотона атомом;
- б) распад π^- пиона на μ^- мюон и антинейтрино;
- в) бета-распад нейтрона на протон, электрон и антинейтрино;
- г) аннигиляция позитрона e^+ и электрона e^- на два фотона $\gamma + \gamma$;
- д) процесс ядерного взаимодействия между протоном и нейтроном путем обмена π^- пионом.



когда «исчезает» нейтрон и рождаются три частицы: протон, электрон и электронное антинейтрино, а *рис. 41z* – диаграмма процесса аннигиляции пары электрон-позитрон и рождение двух фотонов: $\gamma + \gamma$. *Рис. 41d* изображает процесс обмена π -пионом между нейтроном и протоном.

Покажем с помощью диаграммы рассмотренного типа, что электрическое взаимодействие, например, двух электронов на самом деле является близкодействием, а не дальнодействием. Согласно прежней теории дальнодействия, два электрона, приближаясь друг к другу, испытывают взаимное отталкивание, замедляются и разлетаются в разные стороны. Новые представления дают иную, более правильную, картину этого процесса, ибо они объясняют, как электроны взаимодействуют и как разлетаются в разные стороны. На *рис. 42* показаны два электрона, приближающиеся друг к другу. В точке *A* левый электрон испускает виртуальный фотон γ и изменяет скорость, в точке *B* другой электрон поглощает этот виртуальный фотон и тоже изменяет свою скорость. Оба электрона в итоге взаимодействуют, поскольку они изменяют направление своего движения.

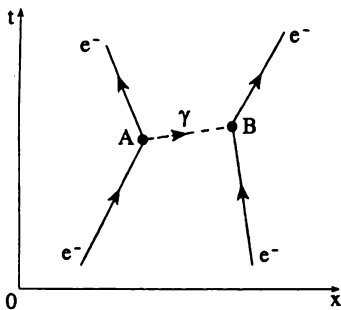


Рис. 42. Мировые линии, описывающие дальнодействующее взаимодействие между двумя электронами в результате обмена виртуальным фотоном.

Это взаимодействие, по существу, является взаимодействием с виртуальным фотоном. Второй электрон (правый) лишь косвенно знает о наличии первого электрона (левого) по испущенному им виртуальному фотону, т.е. его фотонному полю. Таким образом, старое представление о действии на расстоянии между двумя электронами теряет всякий смысл, и



на смену ему приходит понятие «локального» (точечного) взаимодействия с виртуальным фотоном. Диаграммы подобного рода принято называть, как мы уже говорили, *фейнмановскими диаграммами*, поскольку Ричард Фейнман, знаменитый физик-теоретик из США, еще в 1949 году впервые ввел их в микрофизику и показал, что они точно соответствуют математическому аппарату квантовой теории поля.

Дальнейшее развитие квантовой теории поля в настоящее время связывают с получением частиц сверхвысоких энергий на современных ускорителях, работающих главным образом на встречных пучках протонов и электронов. Предполагается, что в недалеком будущем мы проникнем на малые расстояния, меньшие, чем достигнутые теперь 10^{-14} см. Отметим еще раз, что из гравитационной постоянной G , постоянной Планка \hbar и скорости света c можно сконструировать универсальную длину, именуемую планковской длиной:

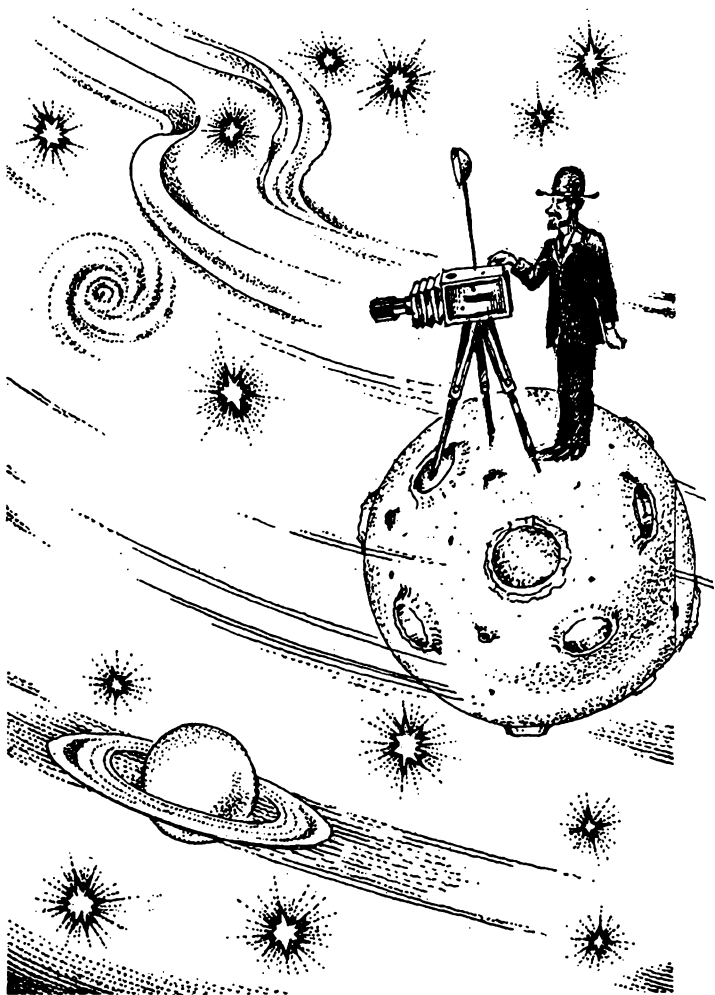
$$R_{pl} = (G\hbar/c^3)^{1/2} = 10^{-33} \text{ см.}$$

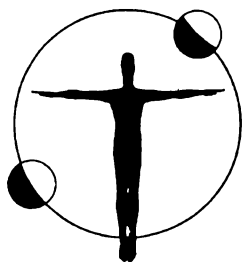
На этом ничтожном расстоянии ожидается возможность преодоления всех трудностей в построении строгой теории микрочастиц с учётом гравитационного взаимодействия. Сейчас в микрофизике разрабатывается так называемая теория *суперсимметрии*, в которой предполагается, что каждому фермиону приписан свой «двойник» бозон, а каждому бозону – двойник фермион. Кроме того, в стадии становления находится новое направление в микротехории – гипотеза *суперструн*, согласно которой существуют малые линейные образования длиной порядка планковской, собственные колебания которых и дают нам новую совершенную модель элементарных частиц материи.

В конце данного раздела имеет смысл указать, что кварки и лептоны рассматриваются как истинные элементарные микрочастицы. Поэтому они должны превращаться друг в друга и вносить вклад в массу всех частиц. Отсюда же следует поразительный вывод, что протон может оказаться не стабильным. Каналами его распада могут быть, например, такие превращения, как $p \rightarrow \pi^0 + e^+$, $p \rightarrow K^0 + \mu^+$, $p \rightarrow K^+ + \nu_\mu$, но пока эта проблема остается ещё нерешённой.

Глава 2

О НЕКОТОРЫХ ВАЖНЕЙШИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ МАКРОФИЗИКИ И ФИЗИКИ КОСМОСА





Теперь обратимся к изложению некоторых общих вопросов современной макроскопической физики, а также к современному учению об «архитектуре» и эволюции Вселенной. Начнем с важнейшего вопроса о том, что такое (1) пространство и время в макрофизике. Затем рассмотрим (2) теорию электромагнетизма и квантовомеханическую теорию твердого тела – металлов, полупроводников и сверхпроводников (3), а также некоторые другие свойства вещества при низких температурах. Мы займемся выяснением смысла понятия несимметричности течения времени (Н-теорема Больцмана), совершим экскурсию в термодинамику, познакомимся с понятием энтропии. Затем познакомимся со специальным принципом относительности (4) Эйнштейна и четырехмерным миром (5) Минковского, а также некоторыми вопросами теории тяготения по Эйнштейну. Вспомним (6) о законах сохранения различных физических величин и их связь с симметрией пространства-времени. Далее будет идти речь (7) об основах современной Космологии – учения о происхождении и эволюции Вселенной, о зарождении органической жизни на Земле и (8) еще раз об объединении всех фундаментальных взаимодействий между микрочастицами.



2.1. Понятия пространства и времени в макрофизике, их топологические и метрические характеристики.

Ньютоновская картина абсолютного пространства-времени. Опыт Майкельсона-Морли и его отрицательный результат

Прежде всего остановимся на кратком описании современных физических представлений о пространстве и времени. В обиходе под пространством принято понимать «пустоту» как некую протяженность: она связана с определенным объемом, куда можно помещать различные предметы. Часто также употребляется термин «космическое пространство» как достаточно совершенная пустота, в которой помещаются различные небесные тела – Земля, Солнце, звезды, галактики, движущиеся во Вселенной.

Большинство людей понимает под пространством некоеместилище для тел, своеобразного типа некую «арену», в которую вложена наша Вселенная, где происходят все «события». На первый взгляд простому человеку не очень понятно, зачем ученые что-то придумывают про пространство, когда и так все ясно. Однако ученые не согласны с такой наивной точкой зрения и прежде всего рассматривают пространство не изолированно от материи, от тел, находящихся в пространстве и двигающихся в нем, а в тесной связи с этими телами. Для ученых пространство – реальная физическая сущность, что, между прочим, знали еще в античную эпоху греческие натурфилософы. В Новое время в научном понимании пространства важный шаг вперед был сделан Ньютоном, открывшим новые свойства пространства и создававшим свою динамику.

Точно так же обстоит дело и со временем. Для неискушенного в науке человека время – это элементарный аспект повседневного опыта: оно как бы заключено внутри нас и течет только в одну сторону – в будущее, а прошедшее безвозвратно уходит от нас, оставаясь только в памяти. Многие исследователи считают, что у человека, кроме пяти его чувств, есть еще и шестое чувство – чувство времени, кото-



рое непрерывно присутствует и действует в коре головного мозга человека. Знаменитый математик современности Норберт Винер, создатель кибернетики, полагает, например, что ритмическая активность человеческого мозга и есть основа чувства времени.

Между представлениями о пространстве и о времени есть вполне очевидное различие. В каком-то смысле пространство для нас более легкое понятие по сравнению с понятием времени. Во-первых, пространство мы можем видеть собственными глазами, а время только чувствуем. В пространстве можно свободно перемещаться во всех его трех измерениях. Эти свойства пространства фактически первыми пришли к нам из непосредственного опыта и, вместе с тем, они же привели ученых к строгому научному определению пространства. Уже в Ассирии и Вавилонии, в Египте, а соответственно и в античной науке люди обладали глубокими и точными сведениями о том, что такое линии, площади, объемы, и могли их измерять. Отметим, что особенно в этом преуспел математик Евклид.

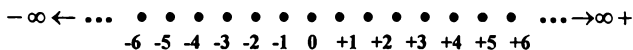
Естествоиспытатели нашего времени рассматривают пространство как некую структуру, состоящую из многих уровней. Они представляют себе Вселенную не как нечто, помещенное в пустое пространство, а как материю и пространство, зависящие друг от друга и связанные между собой. Для них пространство, как и материя, являются физической сущностью, обладающей конкретными свойствами и структурой, что в известной степени понимали уже античные натурфилософы. А многие годы спустя Исаак Ньютон открыл новые свойства пространства, изучая законы динамики – законы перемещения тел в пространстве под действием сил. Поэтому для Ньютона пространство было субстанцией, способной динамически воздействовать на тела.

И снова наблюдается различие между временем и пространством. Информацию о времени наше «я» получает с помощью *внутренних* физиологических часов, переносящих нас из прошлого в будущее, а информацию о пространстве – с помощью точных приборов и наших органов чувств, в повседневном опыте разделяя пространство и время, считая, что они представляют собой нечто абсолютно различное. Но современная наука, как мы увидим несколько позже, тесно связывает эти понятия и говорит о пространстве и времени как о некоем фундаментальном единстве.



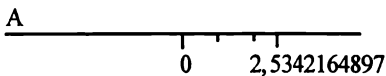
Теория пространства, как и все теории, предполагает существование определенной модели пространства. Математики рассматривают пространство как совокупность точек, т.е. объектов, не имеющих размеров. Любая структура в пространстве изображается совокупностью множества точек, а не отдельными точками. Для того, чтобы этот набор отражал свойства реального пространства, к нему нужно добавить еще несколько структурных уровней.

1. *Непрерывность.* Предполагается, что любой интервал в пространстве обладает бесконечной делимостью. Здесь важно различать бесконечную последовательность отдельных разделенных точек и их бесконечную совокупность в отрезке линии. Множество точек (а), если его продолжить направо или налево, состоит из бесконечного числа точек, которые можно изобразить, в принципе, бесконечным множеством целых чисел : $-6. -5. -4. -3. -2. -1. 0, 1. 2, 3, 4, 5, 6, \dots$



Множество а. Разделенная последовательность точек в пространстве

Множество (б) – это отрезок линии АВ, он также содержит бесконечное число точек, даже если длина этого отрезка конечна. Точки на нем расположены так плотно, что между ними нет просветов, и линия является непрерывным континуумом точек. Различие между множествами (а) и (б) не только масштабное: чтобы пронумеровать все точки линии, недостаточно взять все целые числа. В континууме точек больше, чем в раздельном множестве (а).



Множество б. Континуум точек в линии

В случае континуума при нумерации между целыми числами (см. *множество б*) надо было бы вводить все промежуточные дробные числа с определенной точностью (с определенным числом знаков, после запятой, как, например, в приведенном числе 2,5342164897). И опять мы приходим к понятию континуума точек и непрерывности пространства.



Каждая точка в линии имеет свою окрестность, тоже непрерывную, и для двух несовпадающих точек эти окрестности можно построить неперекрывающимися.

2. *Размерность.* На рассмотренный континуум точек следует распространить еще одно свойство реального пространства – его размерность. Реальное пространство трехмерно: вперед и назад одно измерение, направо и влево – второе измерение, вверх и вниз – третье измерение. Точки (а) образуют границы у одномерного пространства – линии, линии образуют границы у двумерного пространства – поверхности (б). И, наконец, поверхности образуют границы у трехмерного образования – объема (в) (рис. 43). Почему наше пространство трехмерно? С математической точки зрения число измерений пространства может быть любым. В физике рассматриваются пространства самых различных размерностей, а вот почему мы живем в трехмерном пространстве, до сих пор неизвестно. Понятно, что наша жизнь и вообще жизнь на Земле с точки зрения биологии не может быть в двумерном или одномерном пространствах, так как все существующие биологические процессы исчезли бы.

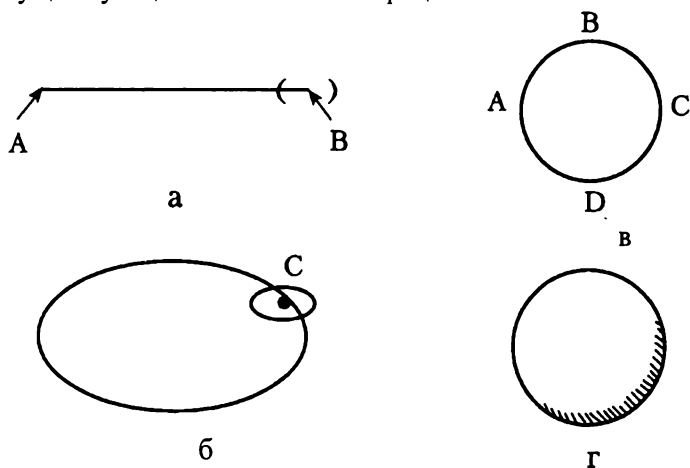


Рис. 43. Типы границ участков в пространстве различных размерностей. а) отрезок линии AB – участок одномерного пространства; б) участок окружности C – тоже одномерное образование, но без конечных точек; в) круг $ABCD$ – двухмерное образование; г) сфера (шар) – трехмерное образование, ограниченное сферой.



3. **Связность.** Сравним две геометрические фигуры (рис. 44) как части пространства, например, тор (бублик) и сферу. Каждая две различные точки на их поверхности можно соединить непрерывной линией, например, точки А и В.

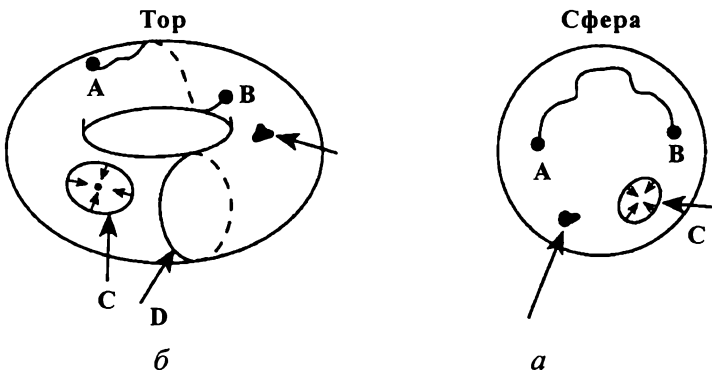


Рис. 44. а) Пример односвязной поверхности – сфера; б) пример двухсвязной или многосвязной поверхности – тор.

Здесь видно различие между поверхностью сферы и поверхностью тора. В первом случае на сфере можно любую замкнутую кривую стянуть в точку (рис. 44а). На поверхности тора (рис. 44б) это имеет место для замкнутой линии С и невозможно для линии типа D. По-видимому, наша Вселенная ближе по своим пространственным свойствам связности к сфере (сфера называется односвязной поверхностью, а поверхность тора – двухсвязной или многосвязной).

4. **Ориентируемость.** Из повседневной жизни мы знаем, что перчатка для правой руки не может быть никаким поворотом в пространстве (если только ее не вывернуть наизнанку) быть пригодной для левой руки. Но вот на поверхности, которую в честь ученого, ее придумавшего, называют лентой Мебиуса (рис. 45), его можно сделать простым перемещением перчатки по поверхности ленты. Такое свойство пространства и называют ориентируемостью.

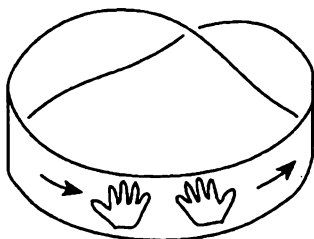


Рис. 45.

Рассмотренные выше четыре свойства пространства назы-



вают *топологическими* (от греческих слов «топос» – место и «логос» – наука). Топология – часть геометрии, изучающая свойства формы и взаимного расположения тел в пространстве, не зависящие от их размеров – длин, углов, площадей, а также от их прямолинейности. Однако для полного определения реального пространства дополнительно нужны еще другие характеристики, которые именуются *метрическими*. Здесь очень помогает математический метод изображения пространства с помощью сетки координат.

Например, между двумя любыми различными точками может быть определено кратчайшее расстояние. Различные типы расстояний и углов между линиями и есть метрические характеристики, а само пространство называется *метрическим*. До 1915 года считалось, что реальное пространство – трехмерное метрическое пространство, подчиняющееся геометрии Евклида, где сумма углов треугольника всегда равна 180° и всегда можно провести параллельные линии. После появления теории относительности Эйнштейна оказалось, что реальное пространство гораздо сложнее.

Время во многом обладает теми же свойствами, что и пространство, у него также есть метрическая структура, например, временной интервал между двумя событиями. Поэтому время можно рассматривать как математическое одномерное пространство. Более правильно рассматривать три измерения пространства вместе с еще одним измерением – временем – как единое четырехмерное пространство-время.

Метрические свойства пространства вблизи поверхности Земли в статическом случае были уже детально исследованы в античной натурфилософии. Но только Ньютон включил динамические свойства мира в стройную теорию пространства и времени, сформулировав законы движения материальных тел, согласно которым тело проходит путь в пространстве в течение определенного времени и тем самым связывает их. Но в модели Ньютона – это независимые абсолютные пространство и время, причем в учении Ньютона подчеркивается абсолютный характер *одновременности*. По Ньютону два события, происходящие одновременно в двух различных точках пространства для одного наблюдателя, будут также одновременны для всех других наблюдателей,двигающихся друг относительно друга прямолинейно и равномерно, т.е. для любых *инерциальных* систем отсчета. Возникает вопрос, как мы можем ощутить скорость



и движение? Об этом можно сделать определенное заключение только в том случае, когда движение неравномерно и существует ускорение. При равномерном и прямолинейном движении (если оно криволинейно, то обязательно появляется ускорение), все происходит так же, как и в состоянии покоя, законы движения не зависят от постоянной скорости, они зависят только от ускорения. Все равномерные и прямолинейные движения относительны, т.е. не существует способов, которые бы позволили обнаружить, что одна инерциальная система покоится, а другая прямолинейно и равномерно движется относительно первой.

Ускоренное движение абсолютно, и его легко определить на опыте. Второй закон динамики Ньютона гласит:

Сила = массе тела, умноженной на его ускорение:

$$f = ma.$$

Огромным достижением научной деятельности Ньютона было открытие им закона всемирного тяготения:

$$f = GM_1M_2/r^2, \quad (1.1)$$

где M_1 и M_2 – две притягивающиеся массы, находящиеся на расстоянии r , а G – универсальная гравитационная постоянная, величину которой нужно было найти из опыта. Сам Ньютон только оценил величину G . Зная объем Земли и прикинув ее среднюю плотность, он получил значение массы Земли M_3 . Из формулы (1.1) для силы всемирного тяготения для тела с массой M , лежащего на поверхности Земли, мы имеем по (1.1) и второму закону динамики Ньютона:

$$f = Mg = GMM_3/R_3^2 \quad (1.2)$$

где R_3 – радиус Земли, откуда

$$G = gR_3^2/M_3 \quad (1.3)$$

В 1787 году Генри Кавендиш проделал впервые в Англии опыт в земных условиях по точному определению постоянной G . На рис. 46 приведена схема опытной установки Кавендиша. Он взял два маленьких свинцовых шарика с массой m каждый, скрепленных твердым горизонтальным стержнем b , который был подвешен за свою середину на тонкой кварцевой нити a . Две большие сферические массы величиной M каждая подносились к массам m на определенное расстоя-



ние. Гравитационное притяжение между массами m и M заставляло стержень b поворачиваться, закручивая при этом нить a , причем по силе ее закручивания Кавендиш и определял гравитационную силу. Теперь понятно, почему опыт Кавендиша часто называют взвешиванием Земли, хотя сама Земля и не принимала участие в опыте. Величина гравитационной постоянной G в абсолютных единицах CGSE равна:

$$G = 6,672 \times 10^{-8} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1} \text{ с}^{-2}.$$

Ньютон считал, что открытая им сила всемирного тяготения действует, например, между Солнцем и Землей через пустое космическое пространство, причем это действие происходит мгновенно. Связав закон всемирного тяготения со своими законами динамики, Ньютон сумел решить всю проблему движения планет вокруг Солнца в солнечной системе.

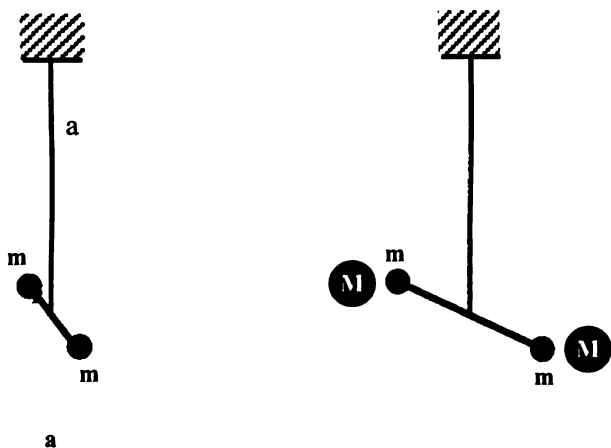


Рис. 46. Схема опытной установки для опыта Кавендиша по определению гравитационной постоянной G .

Однако ньютоновские представления о мгновенности распространения сил тяготения встретились с затруднениями при описании движения электрически заряженных тел. Прежде всего отметим, что между гравитационными и электромагнитными силами имеются три важных различия. Во-первых, электрическим зарядом обладают лишь некоторые тела, а гравитационной массой все тела в мире. Во-вторых, элект-



рические силы могут приводить как к притяжению, так и к отталкиванию, поскольку существует два типа зарядов (+ и -). Напротив, в гравитации существует только одна масса, что приводит всегда к притяжению. И, наконец, в-третьих, различны масштабы этих сил. Скажем, в пределах атомных размеров порядка 10^{-8} см сила электрического взаимодействия между электроном и протоном по закону Кулона равна:

$$f = e^2/r^2 = (4.8 \times 10^{-10})^2 / (10^{-8})^2 = 2,2 \times 10^{-4} \text{ дин},$$

а гравитационное взаимодействие этих частиц на том же расстоянии равно:

$$f = Gm_e M_p / r^2 = 6,6 \times 10^{-8} \times 9 \times 10^{-28} \times 1,6 \times 10^{-24} / 10^{-16} = 0,9 \times 10^{-42} \text{ дин},$$

т.е. гравитационная сила на 38 порядков слабее электрической силы. Поэтому в атомных масштабах расстояний гравитационными силами можно свободно пренебречь по сравнению с электрической силой. Но для макротел, например, для взаимодействия Земли и Солнца или для всех макротел на поверхности Земли гравитационная сила притяжения выходит на первый план, а электромагнитные силы могут играть основную роль только в исключительных случаях.

Попытка экстраполировать идею Ньютона о мгновенности распространения взаимодействий на электромагнитные силы потерпела полное фиаско, так как созданная Максвеллом теория электромагнитного поля привела к выводу, что электромагнитные взаимодействия распространяются с конечной скоростью, равной скорости света. Эту скорость еще в XVII веке измерил Ремер, она оказалась очень близкой по величине к 300000 км/с. С открытием электромагнитной природы световых волн физика получила мощный метод проверки ньютоновской модели абсолютного пространства и времени. Хотя по Ньютону положение и скорость тела в абсолютном пространстве невозможно определить никаким механическим опытом, появление эфира как будто позволяло определить скорость тел относительно эфира. Напомним, что эфир – невесомая среда, заполняющая все пространство и являющаяся абсолютной системой отсчета.

Для проверки реального существования эфира, начиная с 1880 года, производились специальные опыты Майкельсоном и Морли в США. Идея таких опытов может быть нагляд-



но понята на примере двух пловцов, которые плавают в реке в различных направлениях.

Рассмотрим сначала первого пловца, который плавает сперва вниз по течению, а потом возвращается назад вверх против течения. У него скорость относительно берега реки будет равна его собственной скорости передвижения по воде v . При его движении по течению реки к ней будет прибавляться скорость движения воды относительно берега v_1 , т.е. полная скорость пловца относительно берега будет $v + v_1$. При возвращении пловца назад в исходную точку A (рис. 47) его скорость относительно берега реки будет равна разности этих скоростей: $v - v_1$.

Пусть расстояние AB вдоль реки будет равно ширине реки AC , которое преодолет в обе стороны второй пловец. Он делает это с некоторым усилием, чтобы течение реки его не сносило с прямого пути, перпендикулярного к берегу AC , с той же скоростью v , как и у первого пловца. Течение реки при указанных условиях не помогает и не мешает его движению в воде. Таким образом, как легко сообразить, время на весь цикл для первого пловца равно:

$$\begin{aligned} t_1 &= AB/(v + v_1) + BA/(v - v_1) = \\ &= AB [1/(v + v_1) + 1/(v - v_1)] = \\ &= (2AB/v) \times (1 - v_1^2/v^2)^{-1}, \end{aligned}$$

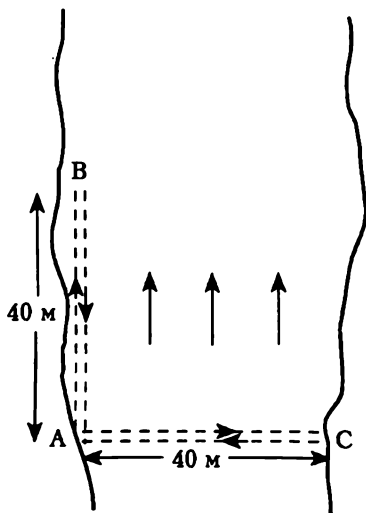


Рис. 47. Имитация опыта Майкельсона и Морли «состязанием» двух пловцов, плывущих вдоль и против течения (пути AB и BA) и поперек реки (пути $AC=CA=AB$). Скорость пловцов v и скорость реки $-v_1$.



а для второго пловца время

$$t_2 = 2AC/v = 2AB/v.$$

Отсюда видно, что $t_1 > t_2$.

В качестве «пловцов» Майкельсон и Морли использовали лучи света, которые «путешествовали» в неподвижном эфире назад и вперед, а также во взаимно перпендикулярных направлениях. Затем, после их возвращения в исходную точку испускания можно было точно определить разность времен их «путешествия». Результат опытов был совершенно неожиданным: исследователи не нашли никакого различия во времени, вопреки своим ожиданиям.

Только Эйнштейну удалось объяснить отрицательный результат опытов Майкельсона-Морли с помощью созданной им специальной теории относительности. Его теория постулировала тот факт, что скорость света всегда равна $c = 300\,000$ км/с, независимо от скорости наблюдателя и источника света. Именно в этом и заключается объяснение опытов Майкельсона-Морли.

Однако прежде чем перейти к изложению основных положений теории относительности Эйнштейна, мы часть времени уделим знакомству с некоторыми аспектами теории электромагнетизма Максвелла, а также физике магнитных явлений. Кроме того, мы рассмотрим некоторые применения квантовой механики к объяснению макроскопических свойств и знакомству с термодинамикой.



2.2. О теории электромагнетизма и магнитных свойствах вещества

Вспомним основные этапы развития физического учения об электромагнетизме. Простейшие явления электричества и магнетизма были известны еще в древности, хотя вначале эти два природных явления казались совершенно независимыми. Даже такой ученый, как У. Гильберт, полностью разграничивал их в 1600 году. Он много сделал в области магнетизма, открыв земной магнетизм, существование двух магнитных полюсов и их неотделимость друг от друга. Позже, в XVII и XVIII вв., проводились многочисленные опыты с наэлектризованными с помощью трения телами, построены первые электрические машины трения. Было установлено, что существует два типа зарядов – положительные и отрицательные (+ и –), открыта электропроводность металлов, изобретен первый электрический конденсатор – Лейденская банка, которая позволила накапливать достаточно большие количества электрического заряда. Далее, Франклин высказал первую последовательную научную гипотезу об электрических явлениях в металлах, о природе их электропроводности. Он объяснил электрическую природу молнии в земной атмосфере, изобрел громоотвод.

Во второй половине XVIII века появились первые измерительные приборы – электроскопы и электрометры. Г. Кавендиш в 1773 году и Ш. Кулон в 1785 году экспериментально установили закон взаимодействия между точечными электрическими зарядами – закон Кулона. Кулон также определил взаимодействие между точечными полюсами магнитных спиц и ввел понятие магнитного заряда. Итальянские ученые Гальвани и Вольтта исследовали «животное электричество», что в конце концов привело к изобретению гальванического элемента, который именовался «вольтовым столбом» – это был первый источник электрического тока. Русский ученый Петров в 1802 году построил гальванический элемент большой мощности и открыл явление *вольтовой дуги*. Дэви в Англии путем электролиза получил из водных растворов щелочей металлические щелочные химические элементы натрия и калий.



В 1826 году немецкий физик Ом сформулировал свой знаменитый закон, определяющий зависимость силы электрического тока от напряжения в электрической цепи, и ввел понятие электрического сопротивления, а Джоуль и Ленц независимо друг от друга вывели закон о выделении тепла в проводнике с током.

Но наиболее фундаментальное открытие в XIX веке, которое впервые со всей ясностью показало внутреннюю связь электричества и магнетизма, было сделано в 1820 году датским физиком Эрстедом, обнаружившим действие электрического тока на магнитную стрелку. Тем самым он показал, что вокруг проводника с электрическим током создается магнитное поле, как и в пространстве вокруг магнита. Тогда же французский физик А. Ампер установил свой закон взаимодействия электрических токов и впервые высказал идею, что свойства постоянных магнитов можно объяснить, если предположить, что в них циркулируют *молекулярные токи*. Таким образом, все магнитные явления свелись по существу к особому проявлению электрических токов, т.е. эффекту от движения электрических зарядов, а не от каких-то «магнитных зарядов». Открытия Эрстеда и Ампера можно считать рождением *единой науки электромагнетизма*, науки не о двух различных явлениях, а о едином явлении природы.

В 30-х и 40-х гг. XIX столетия большой вклад в развитие электромагнетизма внес знаменитый английский физик Майкл Фарадей, в своих исследованиях уже рассматривая электрические и магнитные явления с единой точки зрения. Он доказал, в дополнение к открытию Эрстеда, что не только электрический ток создает магнитное поле, но и переменный магнитный поток создает электрическое поле. Фарадей открыл явление *электромагнитной индукции*, которое состояло в появлении электродвижущей силы (ЭДС) индукции в проводящем электрическом контуре, помещенном либо в переменное магнитное поле, либо, если контур движется, в магнитное поле, при условии, что магнитный поток через площадь этого контура меняется по величине. Возникший электрический ток называется индукционным. Электродвижущая сила индукции в замкнутом электрическом контуре, согласно установленному Фарадеем в 1831 году закону, равна производной по времени t от магнитного потока Φ , пронизывающего этот контур, т.е.

$$\text{ЭДС} = - (1/c)d\Phi/dt. \quad (2.1)$$



Здесь элементарный магнитный поток $d\Phi$ равен произведению нормальной составляющей вектора магнитной индукции \mathbf{B} на элемент поверхности dS : $d\Phi = \mathbf{B}_n dS$. Магнитный поток Φ через конечную поверхность, охватываемую электрическим контуром, равен интегралу от этого произведения по всей поверхности S :

$$\Phi = \int \mathbf{B}_n dS.$$

Знак минус в правой части уравнения (2.1) определяет направление индуцированного электрического тока в контуре в соответствии с правилом Ленца: направление наведенного индукционного тока всегда таково, что создаваемое им магнитное поле противоположно изменению магнитного поля, которое вызвало индукцию.

Электромагнитная индукция лежит в основе многих практических применений электромагнетизма: динамомашин и электрического мотора, преобразующих механическую энергию в электромагнитную и обратно, трансформаторов, изменяющих напряжение, и т.д. В 1837 году Фарадей открыл электрическую поляризацию в непроводящих телах – диэлектриках. В 1845 году им были обнаружены два типа магнитных свойств тел – *диамагнетизм* и *парамагнетизм*. В первом случае тела, называемые диамагнетиками, приобретают магнитный момент, отрицательный по отношению к внешнему магнитному полю, его создающему. Во втором случае тела, которые называли парамагнетиками, наоборот, приобретают положительный магнитный момент по отношению к намагничивающему полю.

Фарадей, по существу, дал понятие электрического и магнитного *полей*, а также представление об электрических и магнитных *силовых линиях* как линиях напряжения в эфире. В дальнейшем проводились исследования электромагнитных явлений Ф. Нейманом, У. Томсоном, В. Вебером, Ф. Кольраушем и другими. В них впервые в качестве универсального отношения электростатических единиц измерения к электромагнитным была введена величина c , которая потом оказалась равной скорости света, что указывало, как уже говорилось выше, на глубокую внутреннюю связь явлений электромагнетизма и света.

Свое дальнейшее развитие и, в известном смысле, завершение электродинамика получила в 1861–1873 гг. в зна-



менитых теоретических работах Дж. Максвелла, предложившим систему дифференциальных уравнений электромагнитного поля, названных его именем, с помощью которых можно было решать различные задачи электромагнетизма. Подчеркнем, что Максвелл, следуя Фарадею, рассматривал явления электромагнетизма как некую механическую форму движения в эфире.

Одним из важных следствий его уравнений явилось предсказание о существовании электромагнитных волн и их тождественности со светом. В работах Г. Герца в 1886–1889 гг. была на опыте доказана справедливость этого важного вывода теории Максвелла. Тем самым была доказана реальность электромагнитной теории Фарадея-Максвелла и ее объяснения природы световых волн как электромагнитной. Г. Маркони в Италии и А. Попов в России применили полученный вывод теории электромагнетизма на практике, изобретя беспроволочный телеграф – началась эра радиосвязи.

Подробнее остановимся на вопросе о том, что представляет собой *магнетизм* как один из важнейших элементов современной технической цивилизации человеческого общества. В связи с этим заметим, что магнитные свойства вещества присущи буквально всему, что окружает нас в природе, в технике и в домашнем обиходе. В природе мы встречаемся с магнетизмом, начиная с элементарных микрочастиц материи, обладающих магнитными свойствами (вспомним магнетон Бора!), и кончая безграничными космическими просторами, заполненными электромагнитным полем, одной из основных компонент которого является магнитное поле. В технике и науке огромное число аппаратов и машин не обходятся без существенного участия магнитных деталей.

Универсальность магнитных свойств движущейся материи, их тесная связь с внутренней атомной и субатомной структурой вещества и объясняет то большое место, которое магнетизм занял в современном естествознании и в общественной практике человеческого общества. Именно изучение магнитных свойств атомных и субатомных микрочастиц и их магнитных полей позволяет использовать данные свойства как источник информации о внутреннем строении и самих микрочастиц, и их коллективов – макроскопических тел. Кроме того, эта универсальность открыла большие возможности и для применения магнетизма в технике, во-первых, для создания технических магнитных материалов и, во-вторых,



для получения детальной информации о других немагнитных физико-химических свойствах тел, менее доступных для непосредственного изучения, что лежит в основе методов магнитноструктурного анализа, магнитной дефектоскопии и магнитных измерений.

Если задать любому человеку, знакомому с физикой лишь по школьному курсу, вопрос – что такое магнетизм? – то у него сразу возникнут в памяти картинки подковообразных магнитов, магнитной стрелки компаса, полосатые осадки очень мелких железных опилок, обрисовывающих силовые линии магнитной индукции у полюсов постоянных магнитов, правила правой и левой руки и тому подобное. Они далеко не исчерпывают такого сложного явления природы, каким является магнетизм, и не в состоянии помочь глубокому научному разъяснению этого интереснейшего и важнейшего явления, прочно утвердившемуся в современной человеческой цивилизации, особенно в эпоху научно-технической революции, произошедшей в начале XX века.

Чтобы лучше и нагляднее понять огромное значение, которое приобрел магнетизм в жизни человека, представим себе на мгновение, что материя потеряла напрочь свои магнитные свойства. Во всем мире была бы полностью парализована вся энергетика, поскольку вышли из строя все электрические генераторы и электромоторы, действие которых основано на использовании магнитных материалов и магнитных свойств вещества. Пропала бы вся проволочная электро-связь; замолкли бы телефоны, радиоприемники, не действовали телевизоры; остановились бы сразу электропоезда, трамваи, тепловозы, автомашины, т.е. практически вышел из строя весь транспорт; перестали работать компьютеры. Современная цивилизация замерла, и человечество было бы отброшено в своем развитии на сотни лет назад.

Приведем некоторые данные из теории магнетизма и некоторые яркие практические возможности его применения.

Остановимся на объяснении магнитных свойств *макромел*. Выше уже отмечалось, что большинство веществ по своим магнитным свойствам делится на диамагнетики и парамагнетики, слабо магнитные вещества. Магнетизм проявляется в них только тогда, когда на них действует внешнее магнитное поле. Их намагниченность или результирующий магнитный момент M , отнесенный или к единице объема (1 см^3) или к единице массы (1 г), который возникает при



этом, оказывается прямо пропорциональным величине напряженности магнитного поля H , т.е.

$$M = \chi H,$$

где коэффициент χ называется магнитной восприимчивостью. У диамагнетиков она отрицательна ($\chi < 0$), а у парамагнетиков – положительна ($\chi > 0$). По величине восприимчивость слабо магнитных тел очень мала и лежит, как правило, в интервале 10^{-4} – 10^{-6} . Лишь в редких случаях она может быть большей, например, в парамагнитном соединении CoCl_2 , $\chi = 1,2$, причем магнитная восприимчивость слабо зависит от магнитного поля, и то только в очень сильных магнитных полях.

Наряду со слабыми магнетиками существует большой класс сильно магнитных веществ. Они имеют большое значение в науке и особенно стали незаменимыми в технике. К этой группе магнетиков в первую очередь относятся *ферромагнетики*: прежде всего три химических элемента из знакомых уже нам $3d$ переходных металлов: железо, никель и кобальт (отсюда и название: железо по-латински – феррум). Ферромагнетиками являются также редкоземельные металлы: гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий и тулий, а также огромное число различных сплавов и соединений с участием указанных химических элементов и без их участия (так называемые Гейслеровы сплавы, например, MnPt_3 или AlCMn_3 и др.), и некоторые соединения циркония (например, ZrZn_2 и др.) и актинидов (например, UH_3 и др.).

Ферромагнетизм – магнитоупорядоченное атомное состояние вещества, когда все атомные носители магнитного момента оказываются ориентированными параллельно, т.е. обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью. В железе, никеле, кобальте, гадолинии и множестве ферромагнитных сплавов и соединений этот спонтанный магнитный порядок оказывается *коллинеарным*, т.е. все атомные магнитные моменты взаимно параллельны и ориентированы вдоль одного направления, как показано на *рис. 48*. Но могут быть и неколлинеарные магнитоупорядоченные атомные магнитные структуры, например, спиральные или синусоидальные и т.п.

Магнитная восприимчивость ферромагнетиков положительна ($\chi > 0$) и достигает значений порядка 10^4 – 10^5 и, кроме того, сильно зависит от магнитного поля (*рис. 49*). При

нулевом магнитном поле $H = 0$ мы имеем так называемую начальную восприимчивость χ_0 .

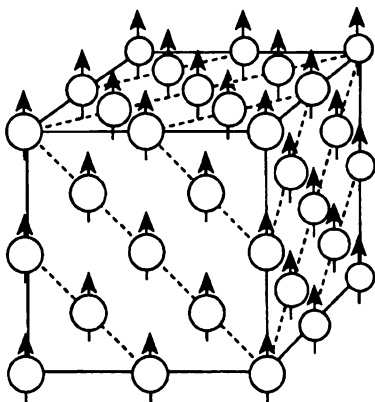


Рис. 48. Типичная картина атомной магнитной структуры ферромагнетика. Все атомные магнитные моменты (стрелки) взаимно параллельны и направлены в одну сторону (случай коллинеарной магнитной структуры).

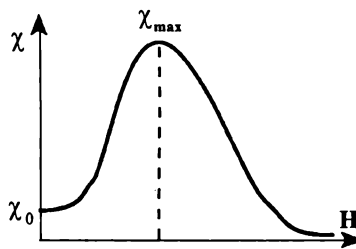


Рис. 49. Зависимость магнитной восприимчивости типичного ферромагнетика от напряженности внешнего магнитного поля H .

С увеличением поля восприимчивость растет, достигает максимума χ_{max} и затем вновь падает, а при очень сильных полях она становится столь же незначительной, как и у слабых магнетиков. Типичные значения начальной и максимальной восприимчивостей, например, для железа равны соответственно: $\chi_0 = 1100$ и $\chi_{max} = 22000$. Магнитная восприимчивость ферромагнетиков зависит также от температуры, имея резкий максимум вблизи точки Кюри T_K (закон Гопкинсона). Последняя отвечает той температуре, при которой спонтанная намагниченность I_s , вообще сильно зависящая от температуры (рис. 50), обращается в нуль.

Выше точки Кюри ферромагнетик в большинстве случаев превращается в парамагнетик с температурной зависимостью магнитной проницаемости, подчиняющейся закону Кюри-Вейсса. Но в некоторых случаях, например, в ряде

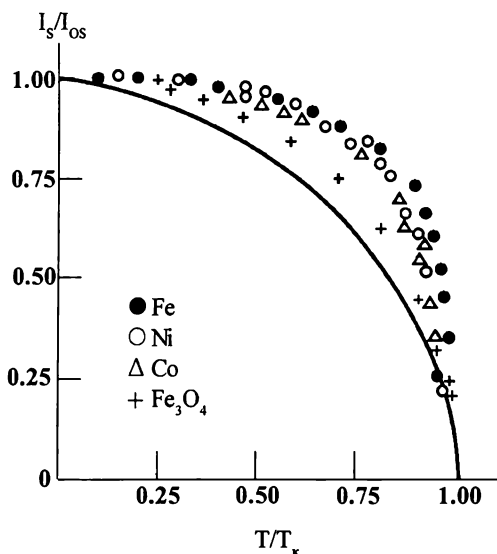


Рис. 50. Температурная зависимость относительной величины I_s/I_{os} самопроизвольной намагниченности. Жирная кривая – теоретическая, опытные точки даны для железа Fe, никеля Ni, кобальта Co и соединения Fe_3O_4 .

ферромагнитных редкоземельных металлов выше T_k возникает другая магнитоупорядоченная магнитная структура, так называемый *антиферромагнетик*. Для такого магнитного упорядочения характерна не параллельная ориентация атомных магнитных моментов, которую мы имеем в ферромагнетиках, а состояние вещества, когда атомные магнитные моменты соседних узлов кристаллической решетки вещества ориентируются антипараллельно. Поэтому в целом намагниченность кристалла оказывается равной нулю.

На рис. 51 показана типичная антиферромагнитная структура для двух коллинеарных эквивалентных магнитных подрешеток. Антиферромагнитный порядок также сильно зависит от температуры и пропадает при определенной температуре, которая, в отличие от точки Кюри ферромагнетиков, называется точкой Нееля T_N . Типичные значения для точки Нееля около 100 или несколько десятков градусов Кельвина. Например, у тербия $T_N = 230$ К, у соединения $CoSO_4$ $T_N = 18$ К и для NiO $T_N = 73,2$ К.

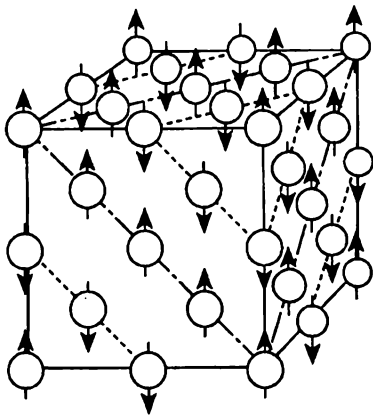


Рис. 51. Типичная картина атомной магнитной структуры антиферромагнетика. Атомные магнитные моменты (стрелки) образуют две магнитные подрешетки (штриховая и штрихпунктирная линии) с антипараллельными направлениями намагниченности – коллинеарная структура, случай полного компенсированного антиферромагнетизма

Заметим, что точки Кюри для типичных ферромагнетиков, как правило, – очень высокие температуры, например, для железа $T_K = 1043$ К, для кобальта $T_K = 1445$ К, для никеля $T_K = 508,8$ К, но могут быть и низкие точки Кюри, например у тупия $T_K = 25$ К.

Кроме ферромагнетизма и антиферромагнетизма, еще выделяют явление *ферримагнетизма*, которое наблюдается главным образом в так называемых *ферритах* – химических соединениях окиси железа Fe_2O_3 с окислами других металлов.

Ферримагнетизм – это магнитоупорядоченное состояние вещества, когда атомные носители магнетизма образуют две или более магнитные подрешетки со спонтанными магнитными моментами M_i , направленными навстречу друг другу, но не равными по абсолютной величине. Простейшая модель ферримагнитной упорядоченности вещества показана на рис. 52 для случая двух магнитных подрешеток с различными значениями атомных магнитных моментов. Для ферримагнетиков также существует точка Кюри, и это явление можно рассматривать как наиболее общий случай атомного магнитного порядка. В случае ферромагнетизма мы имеем одну магнитную подрешетку, а в случае антиферромагнетизма – полную компенсацию намагниченностей всех магнитных подрешеток.

Намагниченность I и магнитная индукция $B = H + 4\pi I$ (в ед. CGS) растут с ростом поля H нелинейно (рис. 53) и в

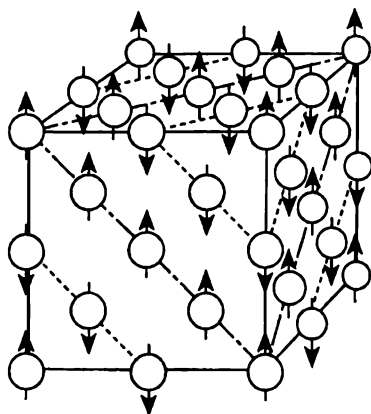


Рис. 52. Типичная картина атомной магнитной структуры ферримагнетика. Атомные магнитные моменты (стрелки) образуют две различные магнитные подрешетки (штриховая и штрихпунктирная линии) с неравными, но противоположно направленными намагниченностями (стрелки, направленные вниз, длиннее, чем направленные вверх), случай коллинеарного ферримагнетизма.

полях порядка 100 Э и меньших достигают предельного значения магнитного насыщения I_S и предельного значения индукции насыщения B_S . Величина намагниченности как функции поля H , т.е. $I(H)$, зависит от «магнитной предыстории» образца, что делает зависимость намагниченности от поля

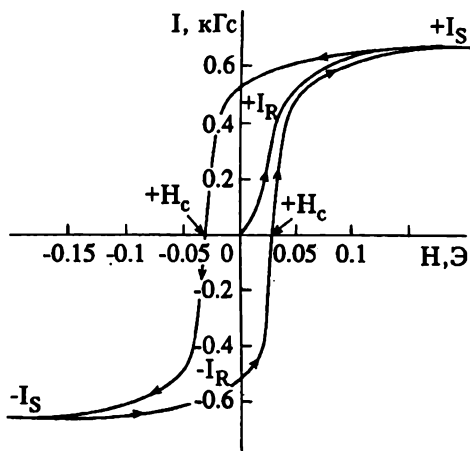


Рис. 53. Типичная зависимость намагниченности от внешнего магнитного поля — кривая намагниченности $I(H)$ и петля гистерезиса мягкого магнитного материала (супермаллоя). I_S — намагниченность насыщения. I_R — остаточная намагниченность, H_C — коэрцитивная сила.



неоднозначной, т.е. имеет место *магнитный гистерезис* (петля гистерезиса изображена на графике *рис. 53*). При $H = -H_C$ намагниченность обращается в нуль, такое обратное поле называется *коэрцитивной силой*. Намагниченность и индукция на петле гистерезиса при нулевом поле $H=0$ называются соответственно *остаточной намагниченностью* и *остаточной индукцией* и обозначаются как I_R и B_R .

Необходимым условием появления любого магнитного порядка (независимого от наличия внешнего магнитного поля) является прежде всего наличие в веществе спиновых или орбитальных атомных магнитных моментов. При этом различают четыре основных случая:

1. Металлические кристаллы чистых металлов, сплавов или соединений на основе переходных химических элементов с недостроенными d -оболочками (в первую очередь, $3d$ -оболочка металлов группы железа).

2. Редкоземельные металлы (РЗМ) и их сплавы с недостроенными $4f$ -оболочками.

3. Неметаллические кристаллические соединения при наличии в числе их компонент хотя бы одного d - или f -химического элемента.

4. Сильно разбавленные растворы переходных d - или f -металлов в диамагнитной металлической матрице.

Во всех перечисленных случаях появление магнитного порядка обусловлено так называемым *обменным* взаимодействием.

В отсутствие внешнего магнитного поля ферромагнетик в целом, как правило, не имеет результирующей намагниченности даже при температурах ниже точки Кюри, когда спонтанная намагниченность отлична от нуля, что связано с требованием минимума энергии системы.

Ферромагнитный образец при $T < T_c$ в нулевом внешнем магнитном поле спонтанно разбивается на малые, но все же макроскопические области, так называемые *ферромагнитные домены*, которые обладают спонтанной намагниченностью. Но векторы их намагниченностей по всему объему образца так распределены по направлениям, что их векторная сумма равна нулю, и весь образец оказывается размагниченным. Гипотеза спонтанного разбиения ферромагнетиков на домены была высказана еще в 1907 году французским физиком Пьером Вейссом, а ее теоретическое обоснование



дали в 1935 году советские физики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц.

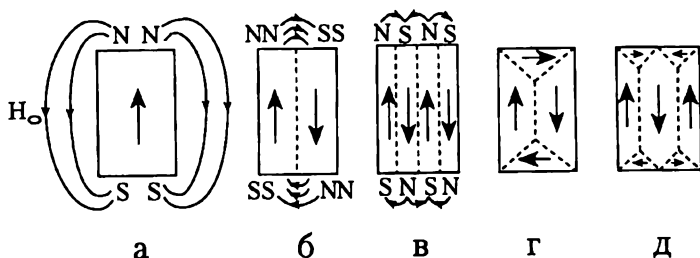


Рис. 54 а-д. Разбиение ферромагнитного образца на домены.

В простейшем случае доменная структура представляет собой чередующиеся слои с взаимно противоположными направлениями намагниченности. На рис. 54а показано, что при однородной результирующей спонтанной намагниченности образца вокруг него возникает магнитное поле, обладающее большой положительной энергией. Если разбить образец на домены (рис. 54 б, в), то чем их будет больше, тем слабее будет и магнитное поле вне образца, и, следовательно, тем меньше будет его энергия. Может возникнуть такая структура доменов (рис. 54 г, д), когда магнитный поток целиком замыкается внутри образца за счет появления *вторичной поверхностной структуры*, и вне образца магнитное поле практически исчезает, кроме очень небольших мест, где на поверхность выходят следы граничных слоев между доменами. Сам процесс образования ферромагнитных доменов есть результат конкуренции двух типов взаимодействия – обменного и магнитного. Первое – близкодействующее, оно стремится установить атомные магнитные моменты параллельно и потому ответственно за однородную спонтанную намагниченность доменов. Второе – магнитное взаимодействие – дальнедействующее, оно стремится расположить векторы спонтанной намагниченности домена так, чтобы в сумме магнитный момент образца был бы равен нулю (при отсутствии внешнего магнитного поля). Между доменами существуют *переходные слои* (границы или стенки) конечной толщины, в которых намагниченность непрерывно меняет свое направление – от направления в одном домене к направлению ее в соседнем (рис. 54е).

Размеры доменов (их толщина) d значительно больше толщины их граничных слоев δ ($d > \delta$). При некоторых критических малых размерах ферромагнитных образцов разбиение их на домены может становиться энергетически невыгодным, что происходит из-за положительной энергии, идущей на образование граничных слоев. Когда эта энергия становится сравнимой или даже большей, чем

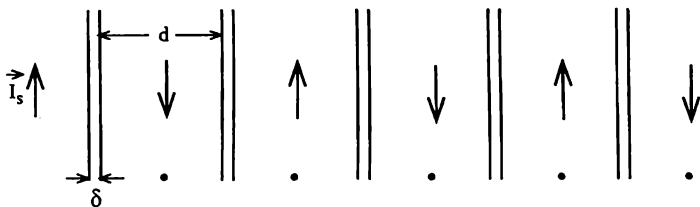


Рис. 54е. Соотношение размеров (d) ферромагнитных доменов и толщины слоев (δ) между ними.

энергия поля, возникающего в пространстве около спонтанно намагниченной малой ферромагнитной частицы, то такие мелкие ферромагнитные частицы оказываются при $T < T_K$ однородно спонтанно намагниченными, т.е. находятся в так называемом однодоменном состоянии.

Кривые намагниченности и петли гистерезиса в ферромагнетиках определяются изменением объемов доменов с различной ориентацией в них спонтанной намагниченности, близкой к ориентации и далекой от ориентации внешнего намагничивающего магнитного поля. Такое изменение объемов доменов происходит за счет смещения граничных слоев между доменами. Кроме того, происходят и процессы вращения векторов спонтанной намагниченности в доменах, не совпадающих по ориентации с направлением вектора напряженности магнитного поля. Поэтому магнитную восприимчивость ферромагнетиков можно приближенно представить как сумму:

$$\chi = \chi_{см} + \chi_{вр},$$

где $\chi_{см}$ ее часть, определяемая процессами смещения, а $\chi_{вр}$ — процессами вращения. Опыт показывает, что $\chi_{см} > \chi_{вр}$ в слабых полях, а в сильных полях после крутого подъема кривой $I(H)$ $\chi_{вр} > \chi_{см}$.

В ферромагнетиках, в особенности в ферромагнитных монокристаллах, резко проявляется явление *магнитной анизотропии* — неодинаковость магнитных свойств тел по различным направлениям кристалла. Причина магнитной анизотропии лежит в анизотропном характере магнитного взаимодействия между атомными носителями магнитного момента. Это явление в монокристаллических образцах ферромагнетиков проявляется в наличии кристаллических *осей легчайшего намагничивания*, т.е. осей симметрии кристалла, вдоль которых и ориентируются векторы спонтанной намагниченности в доменах. Теория кривых намагничивания в области процессов вращения в ферромагнитных монокристал-



лах количественно разработана, начиная с известных работ советского физика Н.С. Акулова.

За последнее время огромное значение приобрели *технические магнитные материалы* на основе ферромагнетиков – такие вещества, магнитные свойства которых обуславливают их широкое применение в электротехнике, автоматике, телемеханике, приборостроении (постоянные магниты, статоры и роторы электрических генераторов и электромоторов, детали запоминающих устройств и т.п.). Они разделяются на две большие группы: *магнитно-твердые* материалы и *магнитно-мягкие* материалы.

Первые из них (их также называют магнитно-жесткими или высококоэрцитивными) характеризуются высокими значениями коэрцитивной силы H_C (от десятков до несколько тысяч Эрстед), высокими значениями остаточной индукции B_R (порядка двух десятков тысяч Гаусс) и остаточной намагниченности I_R и, наконец, высокими значениями максимальной магнитной энергии на размагничивающем участке петли гистерезиса $(BH)_{max}$. Особенно большое распространение получили за последнее время сплавы РЗМ с переходными металлами группы железа и другими добавками, например, соединения Co_3Sm и другие. При нагреве до температур, близких к точке Кюри и выше, или резких механических нагрузках жесткий материал может потерять свои свойства, перейдя в устойчивое размагниченное состояние.

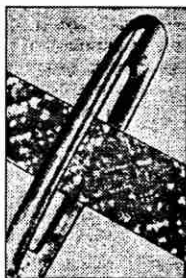
Магнитно-мягкие материалы характеризуются высокими значениями магнитной проницаемости. Начальная проницаемость χ_0 у них находится в интервале 10^2 – 10^5 , а максимальная χ_{max} в интервале 10^5 – 10^6 . Коэрцитивная сила, напротив, очень мала и составляет всего лишь величины от 10^{-2} до 10^{-1} Э. Потери энергии на магнитный гистерезис тоже небольшие – от 10 до 10^4 эрг/см³ за цикл перемагничивания. Наиболее распространенные магнитно-мягкие материалы изготавливаются на основе железоникелевого сплава – пермаллой, или железо-никель-кобальтового сплава – пермендюр. Особенно важным листовым магнитно-мягким материалом является сплав железа с кремнием (~3% Si) – это так называемая трансформаторная или динамная сталь. Ее годовое производство во всем мире составляет много миллионов тонн.

В современной технике используются разнообразные магнитные материалы с различными комплексами физико-

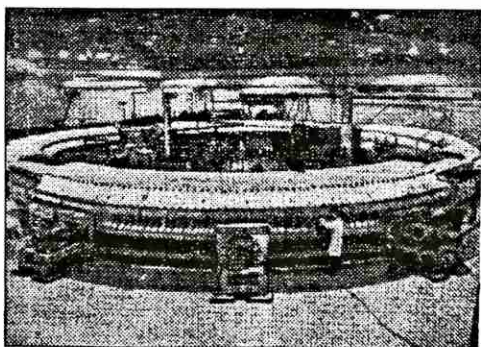


химических свойств, пригодные для решения самых разнообразных задач современной сложной техники. В качестве наглядной демонстрации диапазона такого разнообразия можно указать, что, например, значения коэрцитивных сил в уже используемых техникой магнитных материалах находятся в диапазоне от величин меньших 10^{-3} Э до нескольких десятков и даже сотен тысяч Эрстед, а максимальные восприимчивости могут отличаться в 10^6 раз.

Наглядным примером широты диапазона в применении магнитных материалов может служить сравнение размеров магнитных деталей от самых малых до самых больших. Если мы возьмем миниатюрный магнитный узел в устройстве компьютера, то он может подобно тонкой нитке пройти через ушко обычной штопальной иглки, как это показано на *рис.55а*. Используемые в современной магнитно-измерительной технике так называемые миниатюрные феррозондовые катушечки оказываются меньше спичечной головки (*рис. 5б*). В то же время, как видно из *рис.55б*, мы имеем дело с огромными магнитными системами, используемыми в ускорителях микрочастиц. Иногда их размеры сверхгигантские, достигающие, как это имеет место в упоминавшемся ускорителе микрочастиц *LEP*, трех десятков километров.



а



б

Рис. 55 а. Фотография, дающая наглядное представление о миниатюрности радиоэлектронных схем с использованием магнитных материалов.

б. Общий вид гигантского магнита-ускорителя микрочастиц в Брукхавене (США).



Рис. 56. Сердечник феррозонда в сравнении с величиной стичеченой головки.

Ввиду того, что основная масса технических изделий (в первую очередь машиностроения) изготавливается из ферромагнитных материалов (железо и сталь), открывается широкая возможность для применения магнитного контроля качества их структуры, т.е. магнитно-структурного анализа. Заметим, что магнитный контроль не требует разрушения проверяемых изделий, он является ярким примером *неразрушающего метода контроля* структуры проверяемых изделий и поэтому может пригодиться для сплошного контроля всех выпускаемых деталей, а не для выборочного.

Магнитный метод измерений может быть широко использован для обнаружения различных дефектов в деталях различных ферромагнитных изделий, для так называемой *магнитной дефектоскопии*. В его основе лежит измерение магнитных полей рассеяния, которые возникают у поверхности проверяемого изделия благодаря изменению у дефектных мест образца магнитного поля, прикладываемого к нему, что позволяет определять не только наружные, но и внутренние дефекты в изделиях без их разрушения. Магнитная дефектоскопия приобрела весьма широкое и успешное распространение. Важно, что в ней для измерения часто весьма слабых полей рассеяния от дефектов используются точнейшие способы современной магнитной измерительной техники.

Весьма интересны технические применения магнетизма в акустике. Прежде всего следует упомянуть *метод магнитной записи и воспроизведения звука*, с чем знакомо большинство людей, поскольку не только в технике, но и в быту получили широкое распространение магнитофоны. В них используется остаточная намагниченность магнитно-жесткого материала с достаточно большой коэрцитивной силой. Запись звука, его воспроизводимость, а также стирание звука производится с помощью магнитных головок. Послед-



ние имеют вид тороидальных магнитов с очень тонким зазором для записи и воспроизведения звука и более широким зазором для стирания звука.

На рис. 57 приведена схема установки магнитной звукозаписи. При записи в обмотку записывающей головки 2 поступает электрический звуковой сигнал частоты от микрофона 1. Магнитное поле, возникшее при этом в зазоре головки 2, замыкается через частицы ферромагнитного порошка в ленте 3, причем порошинки намагничиваются до состояния остаточной намагниченности различным образом в соответствии с записываемым звуком. Таким образом, записываемый сигнал сохраняется сколь угодно долго в виде остаточной намагниченности магнитного носителя в ленте.

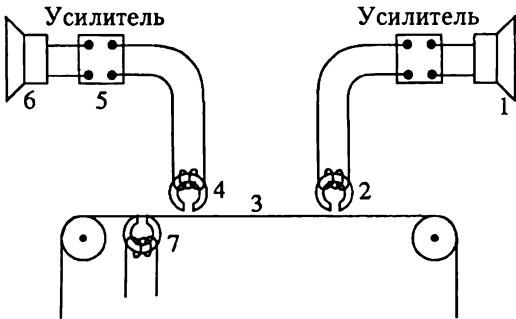


Рис.57. Схема устройства для магнитной звукозаписи и воспроизведения звука.

При воспроизведении звука магнитная лента движется мимо зазора у воспроизводящей магнитной головки 4. Магнитное поле узкого участка ленты замыкается через магнитопровод головки 4, возбуждая в нем магнитный поток, который повторяет в точности по форме ранее записанный звуковой сигнал с помощью головки 2. Индуцируемая при этом в обмотке головки 4 э.д.с. после усилителя 5 приводит в действие репродуктор 6. Если лента не подвергается каким-либо воздействиям, то запись сохраняется сколь угодно долго. Для подготовки ленты к новой записи ее помещают в убывающее по амплитуде переменное магнитное поле ультразвуковой частоты, создаваемое переменным током, поступающим в обмотку стирающей головки 7, что приводит к размагничиванию носителей записи и она стирается, лента



готова к новой записи. Такой метод звукозаписи, благодаря своей простоте и высокому качеству, используется очень широко.

В качестве другого примера приведем применение полупроводникового ферромагнитного материала (феррита с почти прямоугольной петлей гистерезиса) для *магнитного запоминающего устройства*. На рис. 58 изображены общая схема элемента памяти и его петля магнитного гистерезиса.

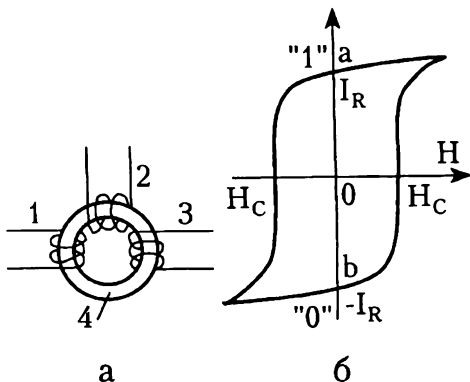


Рис. 58. Схема ячейки запоминающего устройства на ферритовых магнитных сердечниках (колечках) и петля гистерезиса ферромагнитного материала сердечника. Двоичная система: «1» – точка *a* и «0» – точка *b* на петле гистерезиса.

Если по выходной обмотке ферритового колечка 4 пропустить импульс электрического тока, то в нем создается остаточная намагниченность I_R (см. точку *a* на петле гистерезиса), так магнитный элемент «запоминает» полученный им сигнал. На колечке также нанесена обмотка 2 для считывания записанной информации. Если в обмотку поступает импульс тока такого направления, что колечко при этом перемагничивается, то в материале колечка создается остаточная намагниченность $-I_R$ соответствующая точке *b* на петле гистерезиса. Тогда в выходной обмотке 3 возникает сильный импульс тока за счет заметного изменения магнитного потока в ферритовом колечке при его перемагничивании. Если в считывающую обмотку кольца поступает импульс тока с магнитным полем, параллельным намагниченности колечка,



то изменение потока магнитной индукции в выходной обмотке практически не возникает. При считывании с любого элемента памяти получается только два ответа: да или нет, соответственно наличию или отсутствию импульса в выходной обмотке колечка, т.е. имеет место двоичная форма записи. Фактически в компьютерах содержится много колечек, но принцип работы у них такой же. Употребляются вместо колечек также ферритовые пластинки с множеством отверстий, через которые продернуты металлические провода. При пропускании по ним электрического тока происходит такая же запись по двоичной системе. В настоящее время в качестве магнитных элементов употребляют также тонкие ферромагнитные пленки.

Кроме мягких и высококоэрцитивных магнитных материалов, следует еще упомянуть о *магнитострикционных* материалах, из которых изготавливаются излучатели и приемники ультразвука и звука более низких частот. В этих устройствах используется явление *магнитострикции*, т.е. изменение размеров ферромагнитных тел при их намагничивании и размагничивании. Наряду с прямым магнитострикционным эффектом существует и *обратный* магнитострикционный эффект, который заключается в том, что если намагниченный ферромагнетик подвергнуть воздействию внешних напряжений, вызывающих механические деформации образца, то в нем будет происходить изменение его намагниченности.

Одним из наиболее важных применений прямого и обратного магнитострикционных эффектов являются так называемые *магнитострикционные преобразователи*. Основной частью такого преобразователя является магнитострикционный *вибратор*, в котором энергия переменного магнитного поля, создаваемого переменным электрическим током, преобразуется в энергию механических колебаний вибратора. Если же на сердечник вибратора действуют переменные механические напряжения, например, от ультразвуковых колебаний окружающей среды – воды или воздуха, то из-за изменения намагниченности сердечника, возникающего при этом, в обмотке вибратора индуцируется переменная э.д.с., и мы имеем дело с *приемником*. Наибольшее применение магнитострикционные преобразователи получили в качестве, например, эхолотов, предназначенных для определения глубин моря. Они также используются для обнаружения различных



гел на дне моря: затонувших судов, стай рыб и т.п. В электро- и радиотехнике широко используются магнитострикционные реле и фильтры, датчики механических напряжений или деформаций в деталях различных технических устройств – фермах мостов, подъемных кранов, различных деталей самолетов и т.п.

В последнее время на сцену вышел еще один класс магнитно-мягких материалов – *аморфные ферромагнетики*. Характерным признаком для них из-за беспорядоченного распределения атомов в пространстве, т.е. отсутствия кристаллической упорядоченной решетки, является отсутствие магнитной анизотропии. Опыт же показывает, что между магнитной анизотропией и мягкостью магнитного материала существует обратная связь, поэтому аморфные материалы – весьма хорошие кандидаты для создания мягких магнитных материалов.

Магнетизм также нашел интересные применения и в геологии, геофизике и горнодобывающей промышленности. Так, одним из эффективных методов поиска новых залежей железных руд является метод *магнитной разведки*. Из-за намагничивания железной рудной массы в недрах Земли, даже в слабом земном магнитном поле эта намагниченность накладывается на общее земное магнитное поле, в связи с чем у поверхности Земли над залежью железной руды возникает так называемая магнитная аномалия. Такая аномалия была обнаружена, например, еще в конце прошлого века вблизи Курска на одном из самых богатых разрабатываемых железорудных месторождений в России. Теперь магнитная разведка железных руд ведется даже с самолетов и с искусственных спутников Земли.

В горном деле применяются *магнитные сепараторы*, которые используют для обогащения полезных ископаемых. В измельченной, добытой из рудника железосодержащей руде, наряду с ценным, т.е. содержащим железо компонентом имеется и пустая порода. Измельченная руда проходит через пространство с сильным магнитным полем, создаваемым каким-либо внешним источником – постоянными магнитами или электромагнитами, в котором и происходит отделение ценной компоненты от пустой породы.

Магнетизм также привел к рождению пограничной области знания между физикой магнитных явлений и геологией, так называемого *палеомагнетизма* или «древнего магнетиз-



ма», где изучается направление остаточной намагниченности в различных вулканических и осадочных породах земной коры. Дело в том, что при извержении вулканов лава, обладающая высокой температурой, выбрасывается в расплавленном состоянии. При ее охлаждении все находящиеся в ней ферромагнитные соединения проходят через точки Кюри. При этом даже в сравнительно слабом магнитном поле Земли они могут легко намагнититься, поскольку магнитная восприимчивость ферромагнетиков вблизи точки Кюри высока даже в очень слабых полях. Направление остаточной намагниченности, которая сохраняется сколь угодно долго, если не происходит повторного нагрева выше точки Кюри, сохранит «в консервированном виде» существовавшую во время и месте извержения ориентацию земного магнитного поля. Таким образом, по направлению остаточной намагниченности вулканических магнитных пород можно судить об ориентации земного магнитного поля в прошлые времена, т.е. составить для даты извержения вулкана соответствующую историческую геомагнитную картину.

Аналогичная ситуация имеет место и при осаждении осадочных пород земной коры, которые находятся в процессе осаждения в мелкодисперсном состоянии. Тонкий ферромагнитный порошок в этих породах находится в спонтанно намагниченном однодоменном состоянии. В процессе осаждения однодоменные частички под влиянием земного магнитного поля будут ориентироваться вдоль направления земного магнитного поля. Поэтому остаточная намагниченность осадочных пород также фиксирует ориентацию земного магнитного поля, существовавшего в период интенсивного отложения пород. Возраст же горных пород, как осадочных, так и вулканических, можно определить из других геологических методов или с помощью радиоактивных измерений. С использованием палеомагнитных исследований удалось установить, что, например, северный магнитный полюс Земли за последние пятьсот лет совершил весьма солидное и сложное путешествие, двигаясь чуть ли не от самого экватора до своего современного «северного» местоположения.

В связи с проблемами физики магнитных явлений следует еще остановиться на вопросе получения и использовании очень сильных и сверхсильных магнитных полей с напряженностями до десятков и сотен тысяч эрстед. Пионером в получении сильных магнитных полей с H до 500 кЭ был



русский физик академик П.Л. Капица, который тогда работал в Кембридже в лаборатории Э. Резерфорда. Для получения таких полей он использовал короткое замыкание электрического тока от большого генератора переменного тока на маленькую катушку из одного витка. Это замыкание длилось очень короткое время, равное одному полупериоду тока, что составляло несколько тысячных долей секунды.

Стационарные сильные магнитные поля можно прежде всего получать с помощью постоянных магнитов. Они могут создавать постоянные магнитные поля с напряженностями до 10–30 кЭ. Но здесь, к сожалению, возникают две большие технические трудности, связанные с огромной плотностью электрического тока, которая необходима для создания сверхсильных магнитных полей с помощью соленоидов.

Первой технической проблемой является проблема необходимого охлаждения магнитных соленоидов из-за огромного выделения тепла, в силу эффекта Джоуля-Ленца. Вторая трудность возникает из-за появления большой механической силы, которая действует между витками соленоида с электрическим током со стороны создаваемого ими сильного магнитного поля. При полях уже, например, в 250 кЭ давление достигает предела прочности меди, из которой обычно изготавливаются провода для обмотки соленоидов, и медная обмотка соленоида начинает растекаться, словно жидкость. Поэтому удержать соленоид от разрушения при попытке создать с его помощью магнитное поле с напряженностью в один миллион Эрстед не менее трудно, чем сохранить его от взрыва тринитротолуола. Поиски выхода из создавшегося положения привели к использованию в конструкции соленоидов вместо медных проводов проводов из сверхпроводящих материалов, в которых нет выделения тепла Джоуля-Ленца. Еще в 1911 году в Голландии Х. Камерлинг-Оннес обнаружил, что при температурах, близких к абсолютному нулю температур, некоторые металлы не оказывают сопротивления протекающему по ним электрическому току, для них тепло Джоуля-Ленца равно нулю. Однако это полезное свойство исчезало, если такое сверхпроводящее тело находилось в своем магнитном поле, созданном пропускаемым по нему электрическим током или внешнем магнитном поле даже сравнительно небольшой интенсивности порядка десятков и сотен Эрстед.



Только в 1960 году были открыты сверхпроводники, которые сохраняли свои сверхпроводящие свойства до действия на них магнитных полей с напряженностями до 100–200 кЭ, что позволило создавать без потерь энергии на преодоление электрического сопротивления стационарные магнитные поля с большими H . В настоящее время проводятся усиленные исследования по комплексному использованию медных и сверхпроводящих соленоидов, особенно в связи с открытием так называемых высокотемпературных сверхпроводников.

«Наступление» на проблему получения сильных магнитных полей в соленоидах с медной обмоткой в МИТ начал в 1936 году Биттер. Его специальный метод конструкции соленоидов с такой обмоткой позволил создать источники стационарных магнитных полей как у него в лаборатории МИТ, так и у других исследователей в США и других странах, с H до 400–500 кЭ.

Весьма интересным является еще один метод получения импульсных сверхсильных магнитных полей, который у нас в России был инициирован работами А.Д. Сахарова и его сотрудников. Он состоит в том, что внутри цилиндра создается, например, сильное импульсное магнитное поле, и в этот момент взрывают расположенную заранее вокруг цилиндра взрывчатку. Тогда поперечное сечение магнитного потока внутри цилиндра резко уменьшается, а напряженность магнитного поля соответственно резко увеличивается. Таким образом, удалось получить сверхсильные магнитные поля с напряженностями до 25 миллионов Эрстед и производить в них некоторые физические опыты. Главным недостатком данного метода, как и у всех импульсных методов, является его кратковременность. Укажем, что в Космосе самые огромные магнитные поля существуют на поверхности так называемых нейтронных звезд, где напряженности магнитных полей достигают тысяч миллиардов Эрстед, т.е. 10^{13} Э. Однако нейтронные звезды или пульсары находятся слишком далеко от нас, поэтому изучение действия сверхсильных магнитных полей оказывается затруднительным.

В заключение можно с полным правом сказать, что магнетизм – это великое явление природы и его применения в практике человеческой цивилизации приобрели действительно огромное значение и необычайную широту.



2.3. Некоторые применения квантовой механики в макрофизике. Электронная теория твердых тел

Работа, в которой был сделан первый шаг по реабилитации классической электронной теории Друде-Лоренца, изложенной нами в п. 1.9, принадлежит советскому физику Я.И. Френкелю. Именно он в 1924 году разработал так называемую теорию «блуждающих» электронов. По его мнению, металлический пар в нормальном состоянии – это совокупность нейтральных атомов, испытывающих относительно редкие столкновения; электронов проводимости в металлическом газе нет, газ является диэлектриком. Однако наружные – валентные – электроны в атомах металла связаны с ионными остовами слабее, чем в атомах неметаллических твердых тел. По представлениям Бора-Зоммерфельда орбиты валентных электронов атомов металлов имеют форму вытянутого эллипса. При сближении атомов, которое происходит при конденсации металлического пара в жидкий металл, а потом и в кристалл, среднее расстояние между соседними атомами в кристаллической решетке металла становится по величине порядка большого диаметра эллиптических «орбит» валентных электронов или даже меньше. Поэтому эти орбиты могут сильно перекрываться и не остаются прочно связанными с каким-то одним ионным остовом. Появляется большая вероятность, что валентные электроны начинают легко переходить по перекрывающимся орбитам от одного ионного остова к соседнему и дальше.

Таким образом, валентные электроны при конденсации металлического пара превращаются в «блуждающие», которые Френкель отождествил с электронами проводимости. Он предположил, что каждый из них, освободившись от «опеки» отдельного ионного остова, сильнее связывается со всей кристаллической решеткой (здесь он впервые правильно подошел к объяснению металлической связи). Далее им был решен вопрос о скорости блуждающих электронов. В изолированных атомах скорость валентных электронов на орбите по теории Бора была порядка 10^8 см/сек. При превращении электронов в блуждающие скорость не уменьшается, а даже увеличивается, что связано со скрытой теплотой возгонки, которая, как показывает опыт, составляет порядка 20–40 ккал/моль К. На один атом это дает, после деления на число Авогадро,



энергию порядка 1 эВ. Поскольку энергия валентного электрона в атоме равна около 7 эВ, отсюда получается увеличение скорости для блуждающих электронов на 10% по сравнению с валентным электроном в изолированном атоме. Заметим, что такую скорость мы принимали в п. 1.9, когда рассчитывали среднюю длину свободного пробега электрона проводимости в классической теории Друде.

Главным положительным результатом теории блуждающих электронов по Френкелю была «ликвидация катастрофы» с теплоемкостью в классической электронной теории металлов. Дело в том, что блуждающие электроны, благодаря большой скорости уже при своем рождении, при 0 К оказывались эффективно «нагретыми» до очень высокой температуры порядка 10^4 – 10^5 К, а обычный нагрев металла до комнатных температур порядка 300 К и выше меняет их энергию всего лишь на несколько процентов. Блуждающие электроны поэтому практически не участвуют в тепловом движении внутри металла и не влияют заметно на его теплоемкость. Количественно этот вывод был строго подтвержден А. Зоммерфельдом в последующей квантовой электронной теории свободных электронов в металле, которую он разработал в 1928 году.

Исходя из своих представлений, Френкель вывел все формулы, которые ранее получил Друде. Из-за межэлектронного взаимодействия движения блуждающих электронов оказываются связанными, в результате чего место, освобожденное одним из них, сразу же замещается другим, так что плотность электронов проводимости остается постоянной. Электрон проводимости движется как бы по огромной «орбите», распространенной по всему объему кристалла. Нарушения правильности ионной решетки металла, например, из-за тепловых колебаний ионов при $T > 0$ К «ломают» эту орбиту на участки, в среднем равные средним длинам свободного пробега l . Френкель даже смог получить правильную температурную зависимость удельной электропроводности $\sigma(T)$ при комнатных температурах и правильно оценить порядок величины удельной электропроводности для типичных металлов. Более точная квантовая теория электронов проводимости была разработана через четыре года после работы Френкеля и им самим, и, главным образом, Зоммерфельдом, который учел требования принципа Паули и использовал основные положения квантовой статистики Ферми-Дирака.



Рассмотрим систему из N электронов проводимости как систему свободного газа невзаимодействующих фермионов. Тогда волновая функция электрона проводимости имеет вид плоской волны с энергией, которая является квадратичной функцией импульса p :

$$\varepsilon = p^2/2m \quad (3.1)$$

В достаточно большом кристалле импульс меняется практически непрерывно, и поэтому энергетический спектр свободного электрона (3.1) будет тоже непрерывным. Подсчитаем число состояний, в которых электроны проводимости обладают значениями импульса в пределах от p до $p + dp$, при всех возможных направлениях вектора p . Этим состояниям в p -пространстве соответствует совокупность фазовых точек, заполняющих шаровой слой объема $4\pi p^2 dp$ (Рис. 59а), который, в силу формулы (3.1), равен:

$$2^{5/2}\pi m^{3/2}\varepsilon^{1/2}d\varepsilon. \quad (3.2)$$

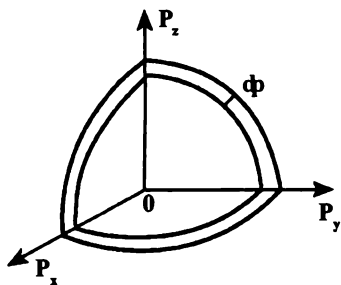


Рис. 59а. К расчету объема шарового слоя в пространстве импульсов.

Чтобы найти плотность состояний (число состояний, приходящихся на единичный интервал энергий) $g(\varepsilon)$, нужно разделить объем слоя на объем элементарной фазовой ячейки $\Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z$, определяемый из соотношения неопределенностей Гейзенберга, которое имеет вид:

$$\Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z \Delta x \Delta y \Delta z \sim h^3 \quad (3.3)$$

Неопределенность местоположения, т.е. $\Delta x \Delta y \Delta z$, в данном случае равна всему объему металла, в котором находится электрон проводимости, т.е. V . Поэтому точность определения импульса, т.е. величина элементарной фазовой ячейки в p -пространстве, согласно (3.3), будет равна:

$$\Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z = h^3/V. \quad (3.4)$$



Умножая частное от деления формулы (3.2) на формулу (3.4) и на 2 для учета спинового вырождения в отсутствии внешнего магнитного поля, будем иметь:

$$g(\epsilon) = 8\pi(2m)^{3/2}\epsilon^{1/2}V/h^3. \quad (3.5)$$

Для нахождения функции распределения $F(\epsilon)$ электронов проводимости по состояниям с различной энергией ϵ необходимо (3.5) умножить на среднее значение числа заполнения состояний с данным значением энергии при температуре T , которое мы обозначим через $\bar{n}(\epsilon)$. Эта величина в квантовой статистике Ферми-Дирака, которой подчиняются все фермионы, в том числе электроны проводимости, равна:

$$\bar{n}(\epsilon) = \{\exp[(\epsilon - \zeta(T))/k_B T] + 1\}^{-1}. \quad (3.6)$$

Таким образом, функция распределения (число электронов с данной энергией) равна

$$F(\epsilon) = 4\pi(2m)^{3/2}V\epsilon^{1/2}h^{-3} \{\exp[(\epsilon - \zeta(T))/k_B T] + 1\}^{-1}, \quad (3.7)$$

где $\zeta(T)$ называется *химическим потенциалом электронного газа*. Под этой величиной понимается термодинамическая функция состояния, определяющая изменения термодинамических функций при изменении числа частиц в системах на 1 и необходимая для описания свойств систем с переменным числом частиц. Ее можно определить из условия постоянства полного числа частиц, т.е. полного числа электронов проводимости в рассматриваемом образце металла:

$$N = \int F(\epsilon) d\epsilon.$$

Прежде всего рассмотрим случай абсолютного нуля температур, когда электроны проводимости находятся в основном состоянии с наименьшим значением энергии. В классической физике все электроны собрались бы в центральной ячейке, т.е. в начале координат p -пространства с нулевой энергией. Однако в квантовой статистике Ферми-Дирака это запрещено принципом Паули, и электроны могут лишь наиболее плотно заполнить ячейки в p -пространстве вокруг нулевой точки с $\epsilon = 0$, чтобы их суммарная энергия E была бы минимальной. Заполненный таким образом электронами проводимости объем в p -пространстве при квадратичном законе дисперсии (3.1) имеет вид шара с изоэнергетической сферической поверхностью, называемой *поверхностью Ферми*. При более слож-



ном законе дисперсии, чем квадратичный типа (3.1), форма Ферми-поверхности может быть отличной от сферической. Этой поверхности и соответствует предельная при $T = 0$ К энергия Ферми $\varepsilon_\phi = \varepsilon_{o,max}$, ее величина определяется плотностью электронов проводимости $n = N/V$. Действительно, объем сферы Ферми, занятый электронами проводимости по два в ячейке из-за спинового вырождения, равен $(4\pi/3)p_{o,max}^3$, где $p_{o,max}$ – наибольшая величина импульса электрона проводимости при $T = 0$ К, т.е. она равна импульсу Ферми p_ϕ . Разделив этот объем на объем ячейки (3.4), получим:

$$4\pi p_\phi^3 / 3\hbar^3 = N/2. \quad (3.8)$$

Тогда импульс Ферми

$$p_\phi = \hbar(3\pi^2 n)^{1/3},$$

а соответствующие значения энергии и скорости электронов

$$\begin{aligned} \varepsilon_\phi &= (\hbar^2/2m)(3\pi^2 n)^{2/3}, \\ v_\phi &= p_\phi/m = (\hbar/m)(3\pi^2 n)^{1/3}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Если для плотности электронов проводимости взять значение $n \sim 10^{22} \text{ см}^{-3}$, то для ε_ϕ получаем величину порядка 1–10 эВ, а для скорости $v_\phi \sim 10^8 \text{ см/сек}$.

Выясним теперь вид функций $F(E)$ и $\bar{n}(\varepsilon)$ при $T = 0$ К. Из (3.6) видно, что $\bar{n}(\varepsilon)$ будет существенно зависеть от знака разности $\varepsilon - \zeta_o$, где ζ_o – значение химического потенциала при $T = 0$ К:

$$\text{при } \varepsilon < \zeta_o \text{ имеем } \lim \exp[(\varepsilon - \zeta_o)/k_B T] = 0 \text{ и } \bar{n}(\varepsilon) = 1,$$

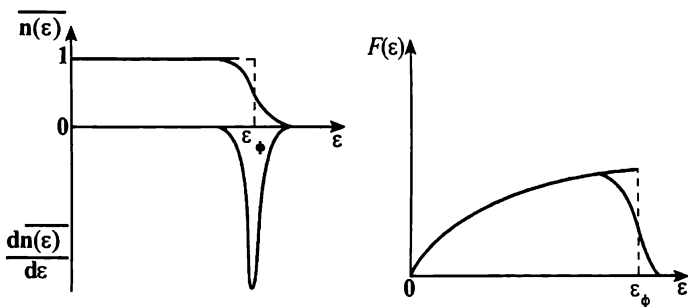
$$\text{при } \varepsilon > \zeta_o \text{ имеем } \lim \exp[(\varepsilon - \zeta_o)/k_B T] = \infty \text{ и } \bar{n}(\varepsilon) = 0.$$

Таким образом, при $\varepsilon = \zeta_o$ показатель степени у $\exp[(\varepsilon - \zeta_o)/k_B T]$ меняет знак и $\bar{n}(\varepsilon)$ скачком изменяется от 1 к 0 (рис. 59б). Соответствующую разрывную кривую называют *ступенькой Ферми*. Отсюда следует, что при $T = 0$ К химический потенциал ζ_o равен энергии Ферми: $\zeta_o = \varepsilon_\phi$. Функция распределения $F(\varepsilon)$ при $T = 0$ К, в силу (3.7), равна (рис. 59в)

$$F(\varepsilon) = \begin{cases} 0, & \text{при } \varepsilon > \zeta_o, \\ 4\pi(2m)^{3/2} V \hbar^{-3} \varepsilon^{1/2}, & \text{при } \varepsilon < \zeta_o. \end{cases} \quad (3.10)$$

Средняя энергия электрона проводимости может быть вычислена с помощью функции распределения $F(\varepsilon)$:

$$\bar{\varepsilon} = (3/5)\varepsilon_\phi = (3/5)\zeta_o. \quad (3.11)$$



б

Рис. 59 б, в. Зависимость от энергии среднего статистического числа состояний $\bar{n}(\epsilon)$ и функции распределения $F(\epsilon)$ при $T = 0$ К и $T > 0$ К.

Отметим, что в классической теории при $T = 0$ К эта энергия была бы равна нулю. Значение же энергии (3.11) можно достигнуть лишь при очень высокой температуре, так называемой эффективной температуре вырождения квантового электронного газа $\Theta_{эл}$, которая определяется по формуле:

$$\bar{\epsilon} = 3k_B \Theta_{эл} / 2.$$

Принимая для энергии Ферми величину порядка 10^{-11} – 10^{-12} эрг, получаем:

$$\Theta_{эл} \sim 10^4 - 10^5 \text{ К}.$$

Итак, благодаря принципу Паули и статистике Ферми-Дирака, при всех температурах, значительно меньших температуры вырождения $\Theta_{эл}$, наблюдается существенное отклонение в статистическом поведении газа электронов проводимости металла от предсказаний классической теории. Классическое поведение можно было бы ожидать лишь при условии, что $T \geq \Theta_{эл}$, однако $\Theta_{эл}$ превосходит для всех реальных металлов не только температуру плавления, но и температуру испарения металла. Только при малых концентрациях электронов проводимости, например, в полупроводниках при низких температурах, электроны проводимости можно приближенно описывать и классически.

Рассмотрим теперь случай низких температур, отличных от абсолютного нуля $T > 0$ К, но еще гораздо меньших, чем температура вырождения, т.е. $T \ll \Theta_{эл}$. Воспользуемся



математическим приемом разложения в ряд по степеням малого параметра $T/\Theta_{эл}$, который применяют при количественных расчетах. Выясним, как изменится вид функций $\bar{n}(\epsilon)$ и $F(\epsilon)$ по сравнению со случаем $T = 0$ К (рис. 596 и в). С ростом T электроны будут занимать свободные ячейки в p -пространстве вне поверхности Ферми, а под ней останутся пустые места («дырки»), так что поверхность Ферми начнет «размываться». Ширина слоя размытия поверхности (см. рис. 596, в) будет относиться к радиусу сферы Ферми, который был при $T = 0$ К, как T к $\Theta_{эл}$. Таким образом, при $T > 0$ К на кривых рис. 596 и в в местах разрыва при $\epsilon = \zeta_0$ появятся, хотя и резкие, но теперь уже непрерывные спады, которые называются «максвелловскими хвостами».

При температурах, отличных от абсолютного нуля, но еще достаточно далеких от температуры вырождения электронного газа, из простого анализа формул (3.6) и (3.7) следует, что кривые таких «хвостов» при $\epsilon \rightarrow \infty$ всегда стремятся к нулю. При $\epsilon = 0$ функция $\bar{n}(\epsilon) = 1$, а функция $F(\epsilon) = 0$ (если $\zeta > k_B T$). При $\epsilon = \zeta$ имеем $\exp(\epsilon - \zeta)/k_B T = 1$ и, следовательно, в точке перегиба на максвелловских хвостах обеих кривых имеем $\bar{n}(\zeta) = 1/2$ и $F(\zeta) = g(\zeta)/2$. Величина $\zeta(T)$ оказывается несколько меньше, чем ζ_0 .

По мере приближения температуры к температуре вырождения размытие кривых должно расти, а в пределе $T \rightarrow \Theta_{эл}$ обе кривые превращаются в функции классической статистики Максвелла.

Следуя Френкелю, можно ввести плотность возбужденных электронов проводимости над поверхностью Ферми n_T , которая в первом приближении относительно указанного выше малого безразмерного параметра равна:

$$n_T = (T/\Theta_{эл})n. \quad (3.12)$$

Функция распределения возбужденных электронов проводимости имеет вид максвелловских хвостов, и к ней можно применять классическую теорию. Проиллюстрируем это на примере расчета теплоемкости вырожденного газа электронов проводимости при $T > 0$ К, но гораздо ниже температуры вырождения, для чего в формуле Дюлонга и Пти $C_{кл} = 3nk_B/2$ вместо полной плотности электронов проводимости n подставим френкелевскую величину (3.12). Тогда:

$$C_{эл} = 3n_T k_B/2 = 3nk_B T/2\Theta_{эл}. \quad (3.13)$$



Отсюда видно, что в реальных металлах при комнатных температурах, где справедлив закон Дюлонга и Пти, отношение $T/\Theta_{эп} \sim 0,01 - 0,001$, и, следовательно, вклад электронов проводимости в теплоемкость составляет $0,1 - 1,0\%$ от ионного вклада, т.е. очень малую величину. Тем самым квантовая теория свободного электронного газа для металлов полностью разрешила «катастрофу» классической теории металлов Друде с теплоемкостью. Более строгие расчеты для случая $T > 0$ К, которые мы не будем здесь приводить, дают для электронного вклада в теплоемкость величину:

$$C_{эп} = \gamma T,$$

где коэффициент пропорциональности γ равен:

$$\gamma = \pi^2 k_B^2 g(\zeta_0)/3.$$

Опытное определение электронного вклада в теплоемкость при температурах, достаточно близких к 0 К, дает возможность непосредственно определить очень важную характеристику системы электронов проводимости – плотность состояний на уровне Ферми $g(\zeta_0)$.

Можно ли все-таки на опыте наблюдать изменяющуюся линейно с температурой электронную теплоемкость металла? Оказывается, такая возможность имеется. Дело в том, что закон Дюлонга и Пти о температурно независимой теплоемкости оказывается справедливым на практике лишь в ограниченной области температур, мало отличающихся от комнатных. По мере расширения интервала температур были замечены две тенденции: рост величины теплоемкости с повышением температуры по мере приближения к точке плавления и спад ее при охлаждении ниже комнатной. В последнем случае была обнаружена универсальная зависимость для всех тел: теплоемкость стремится к нулю при $T \rightarrow 0$, как видно, например, из *рис. 60*, что является простым следствием тепловой теоремы Нернста или *третьего начала термодинамики*.

Первый, кто объяснил общий ход кривой теплоемкости при низких температурах, изображенный на *рис. 60*, был Эйнштейн, который еще в 1906 году использовал для этого квантовую теорию твердого тела. Он рассмотрел ионный кристалл как совокупность $3N$ линейных квантовых осцилляторов, являющихся независимыми частицами (т.е. как идеальный газ). Его расчет, который мы не приводим, дал



общий ход кривой температурной зависимости теплоемкости при $T \rightarrow 0$ К в виде экспоненциальной кривой. Однако опыт давал не показательный спад, а степенной $\sim T^3$. Расчет Эйнштейна был улучшен Дебаем, который и получил в своей теории точно кубический закон, соответствующий опыту.

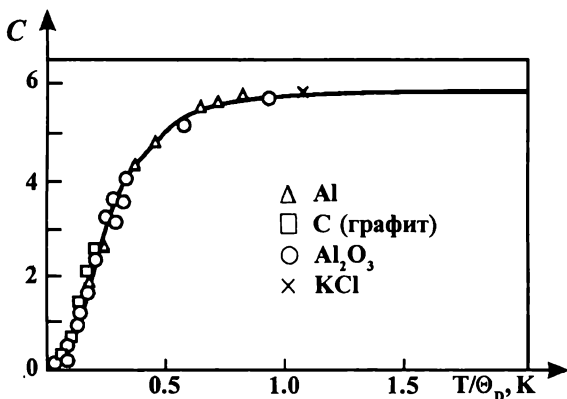


Рис. 60. Температурная зависимость теплоемкости при постоянном объеме по теории Дебая (сплошная кривая) и экспериментальные точки для различных веществ.

Для металлов при очень низких температурах в непосредственной близости к абсолютному нулю зависимость теплоемкости от температуры имеет вид суммы двух слагаемых – линейного и кубического:

$$C_{мет} = C_{реш} + C_{эл} = aT^3 + \gamma T. \quad (3.14)$$

В области температур около 1 К кубическое слагаемое в выражении (3.14) стремится к нулю быстрее линейного. Поэтому здесь электронный вклад в теплоемкость начинает преобладать над ионным и его можно ясно почувствовать на ходе опытной кривой, что подтверждают многочисленные эксперименты различных авторов.

Не будем останавливаться на дальнейших применениях квантовой теории свободного электронного газа для объяснения различных свойств металлов (магнитных, термоэлектрических и многих других). Только отметим, что для удельной электропроводности σ получено в точности такое же значение, как и в классической теории Друде, но вместо среднего



времени свободного пробега τ в аналогичной формуле для σ стоит ее значение для электронов проводимости с энергией, равной энергии Ферми $\tau(\xi_0)$. Более точных сведений теория свободного квантового электронного газа дать не может, поскольку в ней не рассматривается взаимодействие электронов проводимости с тепловыми колебаниями кристаллической ионной решетки. Не выясненным остается и вопрос о том, почему значения времени и длины свободного пробега электронов проводимости столь велики, несмотря на «тесноту» в реальных кристаллических решетках металлов.

Для разрешения этих трудностей нужно было построить последовательную квантово-механическую теорию движения электронов проводимости в периодическом потенциальном поле заряженной ионной решетки металлов и тем самым попытаться понять, почему, несмотря на сильное взаимодействие между электронами проводимости и ионными островами, первые обладают такой большой свободой и не испытывают столкновений с каждым встречным узлом ионной решетки. Она должна была также ответить на вопрос, почему одни из твердых тел являются металлами, а другие — полупроводниками или изоляторами. Вышеуказанные затруднения удалось разрешить, хотя и не совсем в полной мере, следующему этапу квантовой теории твердых тел, именуемому *зонной моделью*, к краткому рассмотрению которой мы и приступаем.

Решая задачу о движении электрона в периодическом потенциальном поле ионной решетки, Ф. Блох установил, что его поведение в этом случае мало отличается от поведения свободного электрона. Электроны проводимости в такой идеальной решетке с правильным расположением ионов распределяются совершенно свободно, как бы не «замечая» их, несмотря на тесное расположение последних.

Сопротивление движению электронов проводимости в металле оказывают статические или динамические дефекты решетки (примеси, деформация решетки, тепловые колебания ионов).

Но возникает обратная трудность: все твердые тела должны являться металлами. Для ее разрешения рассмотрим характер энергетического спектра электронов проводимости в ионной кристаллической решетке. Детальные исследования Ф. Блоха, Р. Пайерлса и других авторов показали, что каждому дискретному уровню энергии электрона в изолированном



атоме соответствует в кристалле твердого тела некоторая непрерывная полоса возможных значений энергий. Внутри этой полосы энергия зависит от импульса, т.е. имеет место некий закон дисперсии $\epsilon(p)$. Между отдельными полосами могут возникать разрывы – области *запрещенных* значений энергий. Образование энергетических полос разрешенных значений энергий из отдельных дискретных энергетических уровней изолированного атома показано схематически на *рис. 61* в зависимости от расстояния a между атомами в кристалле.

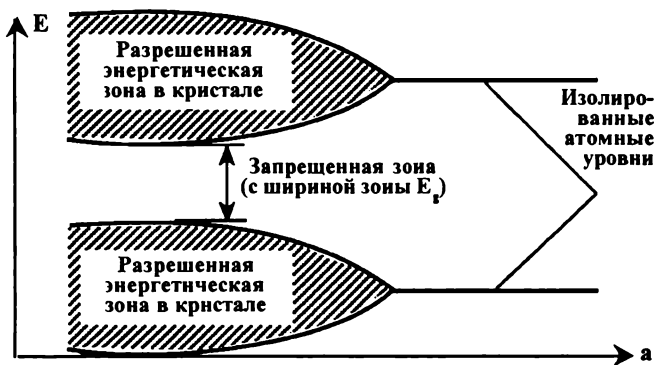


Рис. 61. Образование энергетических полос разрешенных значений энергий из отдельных дискретных уровней изолированного атома, в зависимости от расстояния между атомами в кристалле.

В каждой полосе разрешенных значений энергий имеется Ng мест, где N – общее число атомов, образующих кристаллы, а g – вес данного (в общем случае вырожденного) атомного состояния. Если атом металла или, в общем случае, любого кристалла имеет все электронные оболочки заполненными, то и в кристалле все нижние полосы энергетического спектра, по крайней мере при $T = 0$ К, будут заполнены. Если такой кристалл поместить во внешнее электрическое поле, то распределение электронов проводимости по различным состояниям полосы не может измениться по той простой причине, что свободных мест для ускоренных в поле электронов нет. Электрическое поле ничего не изменит в



состоянии электронов и поэтому не может вызвать электрического тока, и кристалл будет вести себя как изолятор.

Если нагревать такой кристалл, то у некоторых электронов в заполненной верхней энергетической полосе появится возможность, получив от нагретой ионной решетки энергию, перейти на свободные места в ближайшей сверху пустой полосе разрешенных энергий. Число таких «перепрыгнувших» в запрещенную полосу электронов будет пропорционально множителю $\exp(-\Delta E/k_B T)$, где $\Delta E = E_g/2$ – половина ширины полосы запрещенных энергий, т.е. полосы, которая находится над верхней заполненной полосой разрешенных значений энергий (рис. 62).

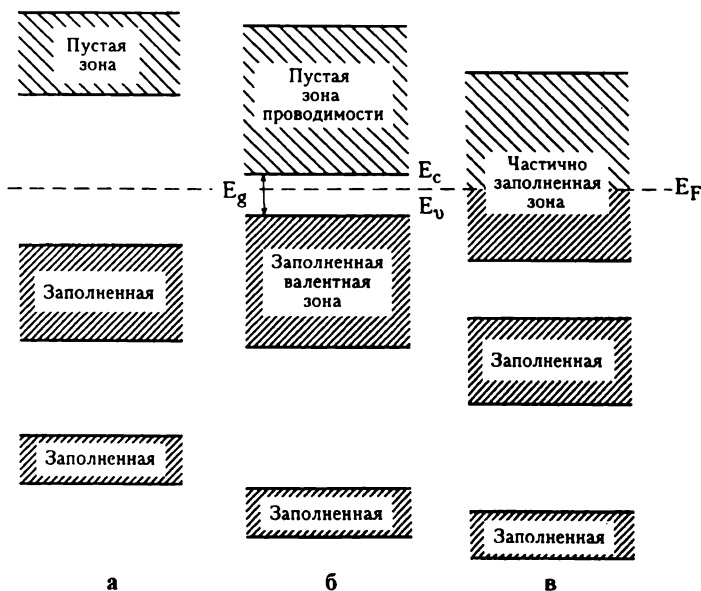


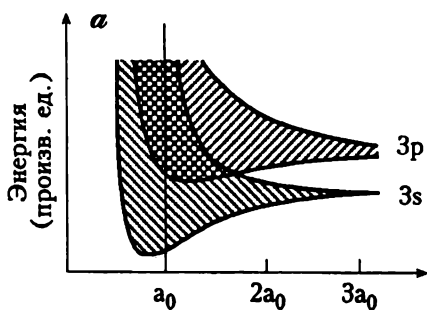
Рис. 62. Картина энергетических полос в кристалле. а) для изолятора; б) для полупроводника; в) для металла.

Здесь под числом электронов проводимости необходимо понимать их число вне полностью заполненных полос плюс число «дырок», которые они оставляют после своего перехода в верхнюю пустую разрешенную энергетическую полосу. Но полосы с дозволёнными значениями энергий в реальных трехмерных кристаллах могут перекрываться и между ними



не будет запрещенной полосы. Поэтому критерий металла и неметалла в зонной теории в общем виде можно сформулировать так: неметаллами – изоляторами или полупроводниками – являются те кристаллы, в которых самая верхняя полоса разрешенных значений энергий заполнена полностью и отделена полосой запрещенных значений энергий от следующих, более высоких, разрешенных полос. Если ширина первой запрещенной полосы не очень большая (порядка $\Delta E \sim 1 - 3$ эВ), то это будет полупроводник, если же $\Delta E \geq 7$ эВ, то – изолятор.

Если верхняя занятая электронами полоса заполнена не полностью, то кристалл будет металлическим. Металлическим будет и всякий кристалл, в котором



верхние полосы разрешенных энергий, где есть электроны, перекрываются, что показано на рис. 62. На рис. 63 изображены случаи образования перекрывающихся энергетических полос для металла натрия и перекрывающихся для кристалла алмаза.

Рис. 63. Расщепление дискретных энергетических уровней в кристаллах в зависимости от расстояния между ближайшими соседними атомами, a_0 – параметр решетки. а) случай кристалла натрия; б) случай кристалла алмаза.

Таким образом, в зонной теории критерий металлического и неметаллического состояний зависит от характера заполнения разрешенных энергетических полос электронами, а также от характера взаимного расположения полос разре-



шенных значений энергии – без их перекрытия и с перекрытием.

Зонная теория твердых тел, несмотря на свою приближенность, позволила правильно понять и объяснить большую совокупность как статических, так и динамических (кинетических) свойств металлов и полупроводников, и тем самым дала возможность упорядочить и объяснить огромный экспериментальный материал. Успехи зонной теории кажутся удивительными, ибо трудно понять, почему при почти полном пренебрежении межэлектронным взаимодействием зонная теория дает хорошие результаты. Правда, есть еще много явлений в физике твердого тела, которые не поддаются объяснению в рамках зонной модели, например, описание многих свойств металлов переходных групп и особенно РЗМ, где учет межэлектронного взаимодействия совершенно необходим.

Здесь мы только назовем еще находящиеся в развитии и не завершенные попытки учета межэлектронного взаимодействия. В самой зонной модели делались довольно многочисленные попытки как-то его учесть. В частности, Ландау предложил общий метод трактовки системы электронов проводимости не как газа, а как квантовой жидкости, который оказался, в общем, весьма плодотворным. Особенно такой подход показал свои преимущества в области очень низких температур.

Первой квантово-механической работой, в которой с самого начала был предложен многоэлектронный подход, явилась работа В. Гейзенберга 1928 года, где он предпринял попытку объяснить явление ферромагнетизма. В ней было проведено обобщение квантово-механической задачи молекулы водорода H_2 на случай кристалла. Предполагалось, что у каждого узла решетки кристалла имеется один активный (валентный) электрон со своим спином, который мог совершать только процессы обмена с электронами соседних атомов. Поэтому многоэлектронная модель Гейзенберга не могла объяснить электрические свойства металлов, т.к. она исключала процессы переноса электронов от одного узла решетки к другому.

Рассмотренная так называемая *гомеополярная* модель Гейзенберга была в 1934 году обобщена С. Шубиным и С. Вонсовским, которые предложили полярную модель. В ней, в отличие от модели Гейзенберга, кроме простых узлов



ионной решетки с одним валентным электроном учитываются отрицательно заряженные узлы с двумя электронами с противоположно направленными спинами, т.е. «двойки». Кроме того, появляются и положительно заряженные узлы или «дырки» с отсутствием валентного электрона. Наличием в основном состоянии двоек и дырок при условии их свободного распространения по кристаллу можно в принципе объяснить электропроводность металлов.

Тот факт, что при наличии двоек и дырок и их свободного движения по кристаллу последний не обязательно будет металлом, связан с тем, что из-за электростатического кулоновского притяжения между двойкой и дыркой возможно образование из каждой такой пары атомоподобного нейтрального электрически образования, не способного переносить электрический заряд по кристаллу, т.е. создавать электрический ток.

Отсюда следует, что даже при наличии в кристалле двоек и дырок мы будем иметь дело с диэлектриком или полупроводником. В общем случае полярная модель при учете различных взаимодействий в электронной системе четырех типов квазичастиц: двоек, дырок и простых узлов двух типов с правым и левым спином может объяснить в принципе многие эффекты в кристаллах различного типа – металлах, полупроводниках и изоляторах. Полярная модель дает и уточнение критерия металлического и неметаллического состояния, объясняя его как появление двоек и дырок, свободных или связанных в нейтральное образование, и их отсутствие в кристалле в основном состоянии.

Развитию исследований такого рода мы обязаны работам английского физика Н. Мотта, который первый попытался выяснить вопрос, почему зонная модель в некоторых случаях неправильно предсказывала «решение спора между металлическим и неметаллическим состояниями». Ввиду исторической важности этой проблемы остановимся на ее описании. В 1937 году физики д-р Бур и Фервей, исследуя неметаллическую окись никеля NiO , указали, что по зонной теории она должна быть металлом, поскольку восемь $3d$ -электронов иона Ni^{2+} могут заполнять d -энергетическую полосу разрешенных энергий лишь частично. Как указал Пайерлс, указанный эффект связан именно с неучетом межэлектронного взаимодействия.



2.3. Некоторые применения квантовой механики....

Количественную оценку влияния эффектов межэлектронной корреляции впервые произвел Мотт, который показал, что правильный учет допускает существование состояния изолятора и при неполностью заполненной электронами разрешенной энергетической полосе кристалла. Если межатомное расстояние a оказывается меньше некоего критического расстояния a_0 , то кристалл обладает металлическими свойствами, при $a > a_0$, он является изолятором. Идеи Мотта далее развивались в работах М.Свирского и С.Вонсовского, а также Н.Боголюбова, С.Тябликова и других. Начиная с 1963 года, в литературе по квантовой теории твердого тела широко используется модель английского физика Дж. Хаббарда, которая является частным случаем общей полярной модели Шубина-Вонсовского. Наконец, еще упомянем, что для описания свойств электронной системы переходных металлов, в особенности РЗМ, также Шубиным и Вонсовским, и независимо от них Зинером, предложена гибридная $s-d$ или $s-f$ модель. В ней система d и f электронов описывается по гомеоплярной модели Гейзенберга, а система s -электронов – по зонной модели.



2.4. Несимметричность времени.

Термодинамика и ее основные понятия

В разделе 2.1 уже говорилось об особенностях восприятия времени в нашем сознании: психологически мы представляем время как нечто, текущее только в одну сторону. Постараемся теперь связать данное представление с несимметричностью течения времени и с реальным протеканием процессов в мире. Приведем один простой пример, следуя книге Девиса «Пространство и время в современной картине Вселенной».

Пусть мы сфотографировали на киноленту, например, процесс горения спички от начала процесса горения, возникшего от трения ее головки о коробок, и до конца, когда остается только уголек и дым. Такой фильм можно рассматривать как физическую модель реального процесса в природе. Далее Девис предлагает разрезать ленту с заснятым фильмом на отдельные кадры и перетасовать их в полном беспорядке, а потом дать кому-нибудь, кто не видел фильма, собрать кадры в правильном порядке. И любой разумный человек это сделает, потому что процесс горения спички проходил однонаправленным путем, т.е. в данном случае существует только одна правильная последовательность кадров, соответствующая реальному течению во времени процесса горения спички.

В качестве второго примера Девис предлагает фильм, изображающий незатухающие колебания математического маятника в виде грузика, подвешенного на вертикальной нити. Здесь, оказывается, подбор разрезанных кадров будет неоднозначным. Можно ведь их собрать, считая, что в начальный момент движения маятника он отклонился от вертикали влево или вправо, все равно кадры покажут возможное незатухающее движение маятника правильно.

На основании различия результатов в аналогичных примерах можно сказать, что асимметрия времени, которая продемонстрирована на первом примере, не есть свойство самого времени, а свойство реального процесса горения спички. Для таких однонаправленных процессов можно говорить о *стреле времени*, направленной из прошлого в будущее (рис. 64). Фактически несимметрия времени имеется также



и для тех процессов, к которым относятся рассмотренные колебания маятника. Если отбросить слово *незатухающие* и предоставить маятнику колебаться самому по себе, то вследствие трения в его подвесе и сопротивления воздуха при его движении в конце концов он остановится, и процесс его колебаний также будет однонаправленным.

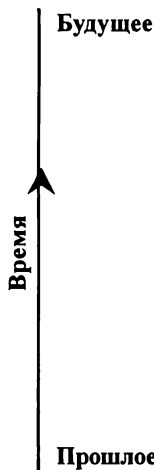


Рис. 64. Стрела времени

Для сохранения слова «незатухающие» надо обязательно учесть, что при этом в окружающем маятник пространстве должно происходить что-то однонаправленное, что и дает ему возможность колебаться с постоянной незатухающей амплитудой.

Физическую природу однонаправленных во времени процессов можно понять, если обратиться к одной важной отрасли современной физики – термодинамике. Хотя она первоначально была разработана для анализа процессов *теплообмена* между телами и решения задач конструирования и эксплуатации паровых машин, но теперь она вместе со своим микроскопическим обоснованием – *статистической физикой* – охватывает огромный круг проблем, включая и микрофизику. Поэтому мы и остановимся на кратком изложении ее основных понятий и фундаментальных законов.

Согласно основным представлениям термодинамики, состояние любой макросистемы может быть *равновесным* и *неравновесным*. Сначала будем рассматривать термодинамическое поведение только изолированных систем, отключенных от взаимодействия с их окружением. Если такая система в начальный момент была в неравновесном состоянии, то лишь через некоторое время, возможно и очень большое, она постепенно достигнет равновесного состояния. Это время называется *временем релаксации*.

Термодинамически равновесное состояние характеризуется заданием небольшого числа физических макропараметров, прежде всего, температуры T , т.е. степени нагретости тела или, как мы теперь знаем из первой части курса, величины, определяемой средним значением кинетической энергии



гии движущихся или колеблющихся атомов тела; она постоянна по всему объему V тела. Для однородных тел в отсутствие внешних электрических, магнитных и других полей равновесное состояние системы полностью определяется заданием двух параметров из трех: температуры T , объема V и давления p , между ними существует связь, называемая уравнением состояния системы. Для разных агрегатных состояний тел – газов, жидкостей и твердых тел – оно различно. В случае идеальных газов, как мы уже знаем, для моля любого такого газа имеем уравнение Клапейрона:

$$pV = RT.$$

В более сложных случаях, для неоднородных систем и при различных внешних полях, в уравнение состояния кроме указанных трех величин могут входить концентрации разных компонент, из которых состоит система: напряженности электрического и магнитного поля и т.д.

При процессах перехода из одного равновесного состояния в другое, которое может происходить под влиянием различных внешних воздействий, система проходит через непрерывный ряд состояний. Они могут быть равновесными и неравновесными. Процессы, когда эти промежуточные состояния являются равновесными, называются *обратимыми*, они могут идти и в обратном направлении точно так же, как и в прямом. Обратимые, или *квазистатические* процессы, как правило, происходят достаточно медленно во времени. Термодинамика дает полное количественное описание для обратимых процессов. В случае же необратимых процессов обычная термодинамика дает лишь неравенства, которые указывают только на направление течения необратимого процесса.

Приступим к краткому изложению фундаментальных законов термодинамики – ее *Начал*.

В механике, как известно, система может обладать кинетической и потенциальной энергией, так что

$$E_{\text{полн}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}. \quad (4.1)$$

Закон сохранения энергии для замкнутой механической системы утверждает: полная энергия такой системы постоянна во времени:

$$E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = \text{const} \quad (4.2)$$



Обобщим закон на случай механической системы, когда, кроме внутренних сил, действуют еще внешние силы произвольного вида. Тогда изменение энергии системы равно работе внешних сил A_{21} :

$$E_{\text{полн}2} - E_{\text{полн}1} = A_{21}. \quad (4.3)$$

Теперь можно перейти к термодинамике и включить в наше рассмотрение *теплоту*. Из опыта известно, что практически при всех реальных процессах, происходящих с макротелами в природе, всегда неизбежно появляется или поглощается теплота. Прямые опыты (Румфорда, Дэви) убедительно показывают, что теплота – это особый вид энергии.

Тщательные опыты Джоуля в 1842–1850 годах позволили установить соотношения между единицами, которыми измеряли количество теплоты, и единицами, принятыми для измерения механической энергии, т.е. определить *механический эквивалент теплоты*.

В замкнутой системе изменение полной энергии системы равно сумме подведенной к системе теплоты Q и работе всех сил (механических, электромагнитных и т.д.), совершенной над системой:

$$E_2 - E_1 = Q + A. \quad (4.4)$$

Если не учитывать механического движения системы как целого и потенциальной энергии ее взаимодействий с внешними телами, то $(E_2 - E_1)$ можно заменить на изменение той части полной энергии, которая зависит только от внутреннего состояния системы. В. Томпсон назвал ее внутренней энергией системы U . Тогда можно записать

$$U_2 - U_1 = Q + A. \quad (4.5)$$

Это и есть Первое начало термодинамики. В частности, для идеального газа U определяется только температурой газа и количеством его частиц (атомов и молекул).

Уже из опытов Джоуля и Майера можно прийти к формулировке закона сохранения энергии как обобщению закона (4.2), сформулированного выше для чисто механических систем, на случай, когда в процессе эволюции макросистемы участвует и тепло. Окончательно такой обобщенный закон был сформулирован в работе Гельмгольца в 1847 году для всех видов процессов в природе.



Второе начало термодинамики, как и Первое, является обобщением опытных фактов. В частности, нельзя создать машину, которая бы извлекала тепло из одного источника и нацело бы превращала его в работу. Тогда, например, воды океана были бы неисчерпаемым источником получения работы. Поэтому Оствальд предложил для подобной комбинации машин удачный термин – перпетуум мобиле, или вечный двигатель *второго* рода.

Итак, мы пришли к словесной формулировке Оствальдом Второго начала термодинамики: *в природе невозможен вечный двигатель второго рода*. Можно также дать этому принципу и другую формулировку, предложенную Клаузиусом: *никогда тепло не может переходить от холодного тела к теплому само собой, т.е. без каких-либо других изменений в природе*.

Постараемся теперь количественно оформить Второе начало термодинамики, т.е. дать правило, по которому мы сможем отличать начальное состояние системы от его конечного, достигаемого при любом реальном процессе в природе. Это можно сделать так: указывается некоторая функция состояния S , которая в конечном состоянии естественного процесса всегда имеет иное значение, чем в начальном, например, в конечном состоянии она всегда больше, чем в начальном.

Можно показать, что изменение S при обратимом процессе

$$S_2 - S_1 = \frac{\Delta Q}{T}, \quad (4.6)$$

где ΔQ – подведенное к системе количество теплоты, причем отношение $\frac{\Delta Q}{T}$ называется приведенной теплотой. Клаузиус назвал новую функцию состояния S энтропией. Строгий расчет, на котором мы не будем останавливаться, показал, что в замкнутой системе энтропия всегда возрастает, и реальные процессы в природе для замкнутых систем всегда идут с возрастанием энтропии.

В предельном случае, когда процесс оказывается обратимым, будет стоять знак равенства нулю, и, таким образом, в общем случае имеем объединенное равенство-неравенство

$$S_2 - S_1 \geq 0 \quad (4.7)$$

Уменьшение энтропии может произойти только в «открытой» системе, которая взаимодействует каким-то обра-



зом со своим окружением. Но если в общую систему включить и участников со стороны, то для этой «большой» системы энтропия будет только расти при любых природных процессах.

Применяя общий вывод Второго начала термодинамики ко всей Вселенной, Клаузиус пришел к выводу, что она стремится к своей «смерти», когда ее общая энтропия достигнет максимума. Однако вопрос о возможности применения термодинамики ко всей Вселенной не такой простой.

Второе начало имеет всеобщее значение и описывает необратимые процессы, несимметричные во времени, самой различной природы. Рассмотрим качественные физические истолкования энтропии.

Прежде всего заметим, что эту функцию состояния макросистем трактуют как *меру беспорядка* в них. Если макросистема имеет четкую структуру, например, правильное геометрическое расположение атомов в кристаллах твердых тел, то говорят, что в кристаллах царит порядок и их энтропия мала. Напротив, те макросистемы, в которых царит атомный беспорядок и наблюдается хаотичность в положениях и скоростях атомных частиц, как в жидкостях и особенно в газах при высоких температурах, то в них энтропия высока.

То же самое будет иметь место для двух тел макроскопических размеров, расположенных рядом друг с другом, причем одно из них теплее, чем другое. Такая общая система двух тел обладает меньшей энтропией, чем если бы они были в тепловом контакте и температура у них оказалась одинаковой. Это обусловлено тем, что в тепловом отношении система более «упорядочена», когда теплота сосредоточена в «горячем углу», а не распределена равномерно по всей системе. Иначе говоря, система с меньшей энтропией обладает большей степенью организованности.

Пользуясь понятием энтропии, можно подчеркнуть, что состояние термодинамического равновесия системы – состояние с максимумом энтропии, и сформулировать Второе начало термодинамики как принцип, по которому порядок уступает место беспорядку, т.е. *в природе все стремится к беспорядку*. Данный принцип хорошо нам известен из повседневной жизни. Скажем, легко разрушить дом, превратив его в беспорядочную кучу битого кирпича, однако трудно построить новый дом.



Но часто наблюдаются системы, в которых упорядоченная структура как будто превалирует и возникает сама по себе, что, на первый взгляд, противоречит принципу стремления к беспорядку с возрастанием энтропии: широкое распространение упорядоченных атомных кристаллических структур, вырастающих из неупорядоченных структур жидкостей и газов; существование бесчисленных типов биологических систем, которые непрерывно рождаются на Земле. Однако более детальный анализ подобных процессов показывает, что за всем этим стоит внешняя среда, влияние которой и обеспечивает создание порядка. Вместе с тем, в окружающей среде растет беспорядок, так что в целом верен принцип роста суммарного беспорядка. Достаточно вспомнить, что биологические процессы рождения растений и животных одновременно с ростом порядка в них сопровождаются ростом беспорядка (и энтропии) солнечного излучения, которое является источником энергии для всего живущего на Земле.

Первая попытка объяснить теоретически, почему порядок уступает место беспорядку, была предпринята в 1866 году австрийским физиком Людвигом Больцманом (1844–1906).

Больцман изучал частную систему – газ, заключенный в адиабатические стенки. Любому макросостоянию газа с данной температурой, давлением и т.д. в замкнутом сосуде будет отвечать огромное множество различных направлений скоростей у разных молекул газа. Одни макросостояния могут быть достигнуты при большем числе таких микрокомбинаций, чем другие. К примеру, равномерное распределение молекул газа в сосуде можно достичь большим числом способов, чем собрать их в одном углу сосуда. Меньшим числом способов можно осуществить одинаковую направленность скоростей молекул по сравнению с состоянием при хаотическом распределении направлений их скоростей, т.е. чем более упорядоченное состояние системы, тем меньше способов его реализации. Состояния с большей энтропией реализуются с большей, как мы говорим, *вероятностью*, чем состояния с меньшей энтропией. Состояние, которое реализуется с максимально большим числом способов, – единственное состояние с наибольшим беспорядком. Оно является абсолютно равновесным в системе, реализуясь с максимальной вероятностью и обладая максимальной величиной энтропии.

Работа Больцмана, рассматривающая процесс приближения газа к состоянию термодинамического равновесия,



представляет собой комбинацию законов механики Ньютона и модели кинетической теории газа. Именно в ней и была установлена знаменитая *H-теорема Больцмана* (от первой буквы в английском слове *heat* – тепло).

Перераспределение молекул, которое происходит в газе, чтобы достичь, в конце концов, хаотического равновесного состояния, происходит благодаря столкновениям молекул друг с другом, что приводит к перемешиванию молекул в микромасштабе. Поэтому Больцман и выдвинул гипотезу о статистическом характере молекулярных столкновений, назвав свою гипотезу постулатом *молекулярного хаоса*, причем он дал этой гипотезе строгую математическую формулировку. В ходе своих рассуждений Больцман ввел особую функцию, которую назвал *H-функцией*, связав ее со степенью упорядоченности молекул, и установил закон ее изменения со временем: *она, как и энтропия, может только возрастать*.

Основной результат математического оформления идей Больцмана состоит в том, что он установил связь между энтропией и вероятностью W соответствующего состояния системы:

$$S = k \ln W + \text{const.} \quad (4.8)$$

Заметим, что коэффициент k , как было показано Больцманом, равен известной постоянной его имени.

Выводы Больцмана вызвали большой шум среди ученых, потому что они приводили к очередному глубокому парадоксу, который до сих пор вызывает непрекращающиеся споры в науке. Дело в том, что, согласно законам механики Ньютона (а Больцман ею и пользовался), должна наблюдаться полная обратимость механических процессов, в том числе и обратимость движений молекул в газе. Поэтому почти сразу после появления работы Больцмана немецкий физик Лошмидт первым указал на тот факт, что если в газе в некий момент изменить все скорости на обратную величину, то в газе произойдет обратный процесс, и газ возвратится в первоначальное состояние с меньшей энтропией.

Другое возражение, не менее убийственное, высказал физик Цермело. Он опирался на известную теорему, доказанную французским математиком Анри Пуанкаре, согласно которой все механические системы, даже и изолированные, сколько угодно раз могут возвращаться очень близко к любо-



му заданному состоянию, в частности, и к начальному состоянию с меньшей энтропией. Все эти возражения были очень существенны, но вместе с тем, мы должны признать все же реальность того факта, что все процессы в природе являются необратимыми.

Можно в какой-то мере снять указанные возражения, поскольку в природе не существует абсолютно изолированных систем – имеет место так называемый «внешний шум», и в первую очередь, «тепловой шум». В качестве примера можно привести игру в бильярд. Если бы мы захотели повернуть все движения бильярдных шаров в обратном направлении по Лошмидту, то, отражаясь от бортов бильярдного стола, шары, хотя и на очень небольшую величину, но обязательно из-за «шума борта» будут при отражении все же как-то менять свои скорости и тем самым нарушать точную механическую обратимость. Заметим, что это нарушение будет накапливаться при каждом последующем соударении шара с бортом. Точно так же и в случае теплового равновесия: «тепловой» шум стенок сосуда, в котором, например, содержится больцмановский газ или излучение, приведет с неизбежностью к необратимости всякого реального процесса.

Проблема объяснения сущности *необратимости* волнует физиков до сих пор. В 1995 году, вышла из печати очень интересная статья известного физика-теоретика академика Б.Б. Кадомцева, в которой автор рассмотрел вопрос о необратимости как в классической, так и в квантовой физике. В случае классической физики он взял в качестве модели разреженный газ слабо взаимодействующих частиц и показал при этом, что даже слабое влияние внешних возмущений может привести к необратимости в поведении газа. Любопытно, что внешние «шумы» получают своего рода резкое «усиление хаоса» из-за обычной молекулярной динамики атомных столкновений газовых *частиц*. В квантовом варианте Кадомцев связал эту проблему с особенностями расплывания волновых пакетов под влиянием слабых внешних «шумов». Здесь надо согласиться с автором и с заключительной фразой в его статье: «Надо полагать, что более точная квантовая теория необратимых процессов будет развита в скором времени».

Очень интересен вопрос о распространении Второго начала термодинамики на проблемы *информации*, с учетом



представления об энтропии информации. Когда физическая система находится в высоко упорядоченном состоянии, то для ее описания требуется больше информации. Напротив, беспорядочная система содержит мало информации. В качестве примера может служить расположение букв на данной странице. Когда буквы расставлены в должном порядке и из них слагаются слова, образующие грамматически и синтаксически правильные фразы, то страница несет с собой большую информацию. Беспорядочный набор тех же букв практически не дает читателю никакой полезной информации. Следовательно, информацию можно связать с отрицательной энтропией или *негэнтропией* – при росте энтропии или убытии негэнтропии информация утрачивается.

Информация всегда играла важную роль в жизни людей. Первоначально под информацией понимали передачу сведений от одних людей к другим устным, письменным или каким-либо другим способом (условными сигналами, с применением особых технических средств и т.п.). Однако в середине XX века вследствие социального прогресса и бурного развития науки и техники роль информации еще более возросла, произошел своеобразный «информационный взрыв». Поэтому для определения информации пришлось ввести два принципиальных изменения. Во-первых, в ее определение включили обмен сведениями не только между людьми, но также между человеком и автоматом, между автоматами, обмен сигналами между животными и растениями. В это определение включалась и передача признаков от клетки к клетке живого организма в биологических системах – генетическая информация. Во-вторых, была предложена и количественная мера информации и тем самым создана теория информации.

В заключение раздела подчеркнем, что мы не можем получить абсолютную величину энтропии, а только узнаем ее разность для различных термодинамических состояний. Вопрос об определении абсолютной величины энтропии был впервые рассмотрен немецким физико-химиком Нернстом, который в 1906 году на основании анализа большого экспериментального материала пришел к выводу, что разность энтропий, соответствующих любым двум состояниям вещества, стремится к нулю при стремлении температуры к абсолютному нулю, т.е.



$$S_2 - S_1 \rightarrow 0 \text{ при } T \rightarrow 0 \text{ К.}$$

Это означало, что для любой равновесной термодинамической системы при $T = 0 \text{ К}$ энтропия является постоянной величиной, не зависящей от значений термодинамических параметров системы. Таким образом,

$$S = \text{const при } T = 0 \text{ К.}$$

Позднее Планк придал результату Нернста еще более определенную форму:

$$S \rightarrow 0 \text{ при } T \rightarrow 0 \text{ К.}$$

Данное утверждение, основанное на детальном анализе многочисленной совокупности опытных фактов, получило общепринятое название *теоремы Нернста* или *Третьего начала термодинамики*. Его теоретическое обоснование дала квантовая статистическая механика. Из этой теоремы также следует, в частности, что теплоемкость всех тел при $T \rightarrow 0 \text{ К}$ стремится к нулю.



2.5. Колебания кристаллической решетки. Сверхпроводимость и сверхтекучесть

Рассмотрим, как современная физика описывает тепловую жизнь *ионной решетки* твердых тел. При кристаллизации жидкости возникает упорядоченное распределение центров равновесия атомов в виде кристаллической решетки того или иного типа, а атомы или ионы совершают тепловые колебания около положений равновесия в узлах решеток. Средняя амплитуда этих тепловых смещений $\langle u \rangle_T$ при температурах, не очень близких к точке плавления кристалла $T_{\text{пл}}$, как правило, мала по сравнению с постоянной решетки кристалла d , равной расстоянию между центрами равновесия ближайших соседних атомов. При таких температурах появляется малый безразмерный параметр в виде отношения:

$$\xi_T = \langle u \rangle_T / d \ll 1. \quad (5.1)$$

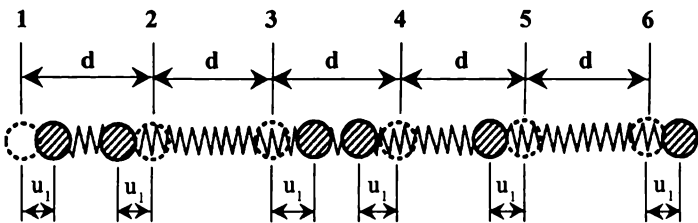


Рис. 65. Одномерная модель одноатомного кристалла из атомов массы m ; d – параметр решетки, u_i – тепловые смещения.

На рис. 65 показана линейная цепочка эквидистантных атомов массы m с параметром d , она может моделировать кристалл любого одноатомного вещества. Упругие силы взаимодействия изображены пружинками. Поскольку смещения атомов u_i малы, то, в силу (5.1), потенциальную энергию межатомного взаимодействия в первом приближении можно представить разложением в ряд по степеням малого параметра (5.1), причем разложение начинается с квадратичных членов, которыми обычно и ограничиваются. Это так называемое *гармоническое приближение*. Не останавливаясь на решении соответствующих уравнений динамики Ньютона,



мы просто укажем, что результат для частоты тепловых колебаний атомов в такой модели имеет действительно вид гармонических колебаний осцилляторов с частотой:

$$\omega_q = 2(\alpha/m)^{1/2} \sin(qd/2), \quad (5.2)$$

где α – упругая постоянная, а величина волнового вектора q заключена в пределах:

$$-\pi/d < q < \pi/d. \quad (5.3)$$

На рис. 66 приведен график зависимости частоты (5.2), из которого видно, что при малых значениях q частота ω_q растет линейно с q .

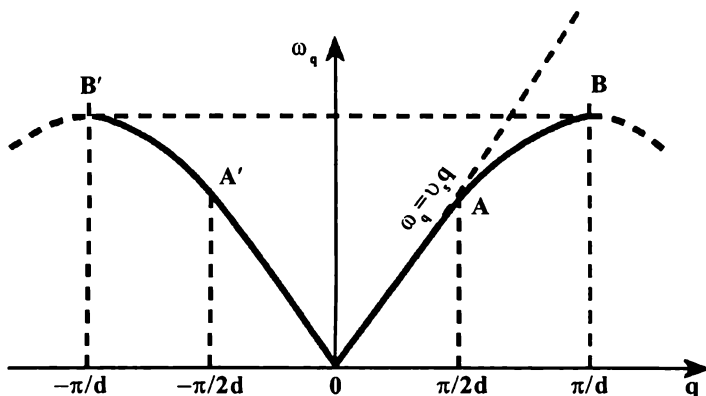


Рис. 66. Зависимость частот колебаний одноатомной одномерной цепочки атомов от волнового вектора q .

Далее рассмотрим линейную двухатомную цепочку, которая моделирует двухатомный кристалл. Одномерная цепочка теперь состоит из двух типов частиц – разноименно заряженных ионов с различными массами $M > m$ (Рис. 67). В этом случае решение задачи дает две ветви для частот осцилляторов (Рис. 68): одна, совпадающая со случаем одноатомной цепочки, носит название *акустической ветви*, а вторая называется *оптической ветвью*. Колебания на акустической ветви происходят так же, как и в случае одноатомной цепочки, когда два соседних разноименных иона колеблются в одной фазе. Колебания же разноименных ионов на оптической ветви происходят в противофазе, т.е. в каждой ячейке действительно происходят оптически активные коле-

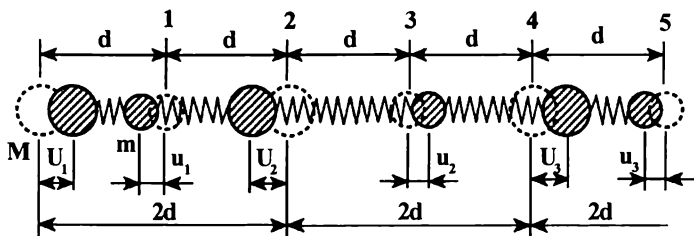


Рис. 67. Одномерная модель двухатомного кристалла из атомов двух сортов с массами M и m , и заряженных разноименно.

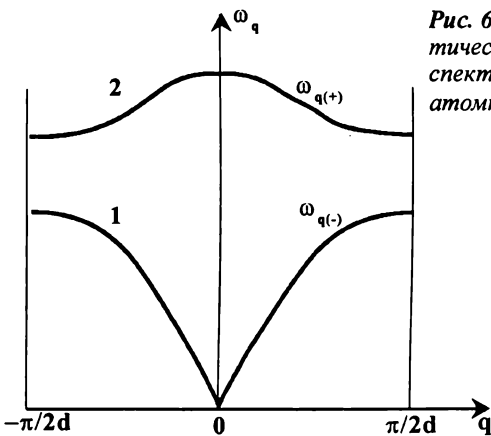


Рис. 68. Две ветви (акустическая и оптическая) в спектре колебаний двухатомной решетки.

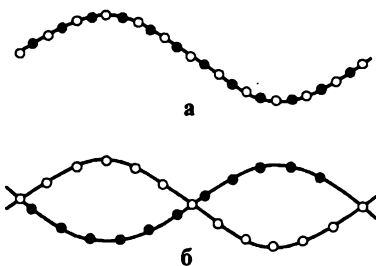


Рис. 69 а, б. Колебания атомов двухатомной цепочки в одинаковой фазе (а) и противофазе (б).

бания электрического дипольного момента, что наглядно видно из рис. 69 а, б. В реальных трехмерных ионных кристаллах частоты оптической ветви лежат в области инфра-



красных световых лучей. При переходе от одномерных цепочек к реальным трехмерным кристаллам все, конечно, усложняется – увеличивается число как акустических, так и оптических ветвей, но общий характер движения остается тем же.

Постараемся теперь дать качественное квантово-механическое описание задачи тепловых колебаний в кристаллических решетках. Предварительно остановимся на рассмотрении общей постановки задач многих сильно взаимодействующих микрочастиц в квантовой механике. Именно такими задачами и являются большей частью те проблемы, которые возникают при расчетах многоэлектронных атомов и молекул в физике конденсированных систем и даже газов, далеких от идеальности.

Разработанный математический аппарат квантовой механики в принципе позволяет сформулировать любую такую задачу, но при любых конкретных попытках до конца довести многочастичную задачу мы сталкиваемся с большими вычислительными трудностями, которые лишают нас возможности довести решение до приемлемого конца.

Поэтому приходится прибегать к использованию различных приближенных методов решения, в частности, так называемого *одноэлектронного приближения*. Теперь каждой отдельной частице приписывается своя индивидуальная волновая функция, а энергетический спектр системы ищется как спектр одной изолированной частицы. Подобная трактовка таит в себе опасность не только неточности количественных выводов, но и возможности ошибок принципиального характера, т.к. в системе многих сильно взаимодействующих частиц каждая отдельная частица теряет свою «свободную индивидуальность», становясь неотъемлемой частью единого коллектива частиц. В этом случае в квантовой механике имеет смысл только волновая функция, зависящая от координат и квантовых чисел всей системы, что относится и к ее энергии.

Можно, конечно, поставить задачу о выделении в системе какой-нибудь одной частицы и попытаться рассматривать ее движение в «поле» других частиц и во внешних полях. Однако необходимо учитывать, что движение такой частицы непрерывно меняет движение других частиц, в «поле» которых она движется. Потенциал введенного *самосогласованного* поля зависит от волновых функций отдельных частиц,



и вместо одного линейного волнового уравнения многих частиц приходится решать систему нелинейных интегродифференциальных уравнений. Естественно, что трудности решения такой задачи заставляют опять-таки идти по пути разных приближений и упрощений, например, используя линеаризацию уравнений с помощью подбора квазивнешних полей вместо самосогласованных и т.п. Метод самосогласованного поля может быть успешно внедрен только в случае простейших атомных систем, например, отдельных многоэлектронных атомов. Этот подход был с успехом разработан английским физиком Хартри и усовершенствован академиком В.А. Фоком. В случае же более сложном, в частности, в квантовой теории твердого тела, пришлось идти другими путями.

Одним из таких путей явился метод так называемых *квазичастиц*. Мы, по существу, уже имели дело с одним из вариантов этого подхода, когда рассматривали описание тепловых колебаний ионных решеток твердых тел. Действительно, соотношение (5.2) для частоты гармонических осцилляторов, имитирующих колебания ионной решетки, и есть, строго говоря, введение квазичастиц, а гармонические осцилляторы и есть соответствующие квазичастицы, что особенно ярко проявляется в квантовом варианте описания теплового движения решетки. В самом деле, можно уравнение (5.2) превратить в квантовое, если умножить обе части этого равенства на величину $\hbar/2\pi$:

$$\hbar\omega_q = 2\hbar(\alpha/m)^{1/2}\sin(qd/2), \quad (5.4)$$

т.е. мы получили закон дисперсии для энергии квазичастицы, имитирующей тепловые колебания ионной решетки. При малых волновых числах q , когда в правой части соотношения (5.4) можно синус заменить его аргументом, имеем:

$$\hbar\omega_q = (\alpha/m)^{1/2}\hbar qd = d(\alpha/m)^{1/2}p, \quad (5.5)$$

где $p = \hbar q$ – квазиимпульс соответствующей квазичастицы, которую по предложению И.Е. Тамма стали называть *фононом* – квантом звуковых колебаний.

В зонной теории электрон тоже можно трактовать как квазичастицу, тем самым подчеркнув, что в кристалле электрон уже не похож на свободный. Это отличие прежде всего сказывается в том, что закон дисперсии для него перестает иметь вид простого квадратичного закона:



$$\varepsilon = p^2/2m. \quad (5.6)$$

Как предположили харьковские физики И.М. Лифшиц, М. Азбель и М. Каганов, для электрона имеет место *произвольный* закон дисперсии, т.е. он является квазичастицей и его энергия связана с вектором квазиимпульса не по квадратичному закону вида (5.6), а произвольной функцией:

$$\varepsilon = f(p). \quad (5.6a)$$

Квазиимпульс p , как и вектор импульса свободной частицы, характеризует состояние квазичастицы, например, электрона проводимости в металле или фонона в ионном кристалле. По своим свойствам он очень похож на импульс свободной частицы. Однако при столкновении квазичастиц закон сохранения квазиимпульса оказывается сложнее, чем обычный закон сохранения импульса: квазиимпульс либо сохраняется, либо изменяется на дискретную величину, связанную с параметром кристаллической решетки.

Выясним еще вопрос о массе квазичастицы. Из обычного квадратичного закона дисперсии для свободной частицы (5.6) вытекает, после двойного дифференцирования по импульсу, соотношение:

$$1/m = \partial^2\varepsilon/\partial p^2. \quad (5.7)$$

Полученная связь остается справедливой и при произвольном законе дисперсии, поэтому эффективная масса квазичастицы, определяемая соотношением (5.7), может быть совершенно непохожей на массу свободной частицы. Она может отличаться от нее по величине, знаку и не быть постоянной, а зависеть от состояния квазичастицы, т.е. от ее квазиимпульса, что подтвердилось при сравнении зонной теории для электрона проводимости с произвольным законом дисперсии с экспериментальным определением целого ряда характеристик движения электрона, например, во внешних магнитных полях.

Теперь мы рассмотрим два важных *низкотемпературных явления* – *сверхпроводимость* металлов и *сверхтекучесть* жидкого гелия. Сначала познакомимся с тем, как удалось физикам проникнуть в область очень низких, а потом и сверхнизких температур.

Низкими или *криогенными* температурами следует называть температуры ниже 120К (или – 157°C), а область температур от 0,3 К и ниже называется областью *сверхниз-*



ких температур. Для получения и поддержания низких температур обычно пользуются сжиженными газами (хладагентами). В основе процесса сжижения газов лежит явление адиабатического расширения газа, при котором совершается работа против внутренних сил взаимодействия между молекулами или атомами. Обычно эти сжиженные газы помещают в сосуд Дьюара с двойными стенками, которые обеспечивают уменьшение теплообмена между веществом, находящимся внутри этого сосуда, и окружающей средой. В сосуде, содержащем сжиженный газ, хорошо поддерживается постоянная температура кипения T_k хладагента при испарении под атмосферным давлением. Практически применяют как хладагенты воздух ($T_k = 80$ К), азот ($T_k = 77,4$ К), неон ($T_k = 27,1$ К), водород ($T_k = 20,4$ К), гелий ($T_k = 4,2$ К). Для получения сжиженных газов используют специальные установки – сжижители. Откачивая испаряющийся газ из герметизированного сосуда, можно уменьшить давление над жидкостью и тем самым понизить температуру ее кипения и перекрыть широкий диапазон температур от 80 К до 1 К.

Сверхнизкие температуры от 0,3 К до 10^{-3} К получают, применяя другой метод – *адиабатического размагничивания парамагнитных солей*. Если воспользоваться еще и методом адиабатического размагничивания ядерного парамагнетика в системе атомных ядер, то удастся достичь температур до 10^{-6} К. Этот магнитный метод был предложен Дебаем и Джиоком в 1926 году и начал применяться с 1933 года. Для магнитного охлаждения используют соли редкоземельных химических элементов (например, сульфат гадолиния и т.п.) и применяют достаточно сильные внешние намагничивающие поля до нескольких десятков килоэрстед, которые намагничивают соль с хаотически ориентированными спинами магнитноактивных атомов. Последние упорядочиваются во внешнем магнитном поле, а после адиабатического размагничивания в условиях термоизоляции их температура существенно понижается. Конечно, перед всей этой операцией температура исследуемого тела понижается с помощью жидкого гелия до 1 К. Большие достижения в области криогенной техники, особенно это касается методов сжижения гелия и воздуха, внес академик П.Л. Капица.

Голландский физик Х. Камерлинг-Оннес, изучая электрические свойства образца металлической ртути, в 1911 году обнаружил, что при температуре жидкого гелия в 4,15 К его



электросопротивление скачком упало до нуля, как изображено на рис. 70. Позже открытое им явление было названо *сверхпроводимостью*. Оно было обнаружено у большого числа

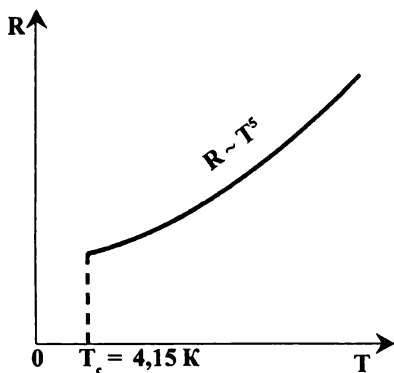


Рис. 70. К открытию явления сверхпроводимости ртути.

других чистых металлов, металлических сплавов и соединений, а также в некоторых полупроводниках и даже полимерах.

Определенные на опыте критические температуры наступления этого явления у разных веществ составляют: Hg — $T_c = 4,15 \text{ K}$ (1911 г.), Pb — $T_c = 7,2 \text{ K}$ (1913 г.), Nb — $T_c = 9,2 \text{ K}$ (1930 г.), Nb₃Sn — $18,1 \text{ K}$ (1954 г.), Nb₃Ge — $T_c = 23,2 \text{ K}$ (1973 г.). Таким

образом, для наблюдения сверхпроводимости всегда приходилось использовать в качестве охлаждения жидкий гелий.

Но в 1986 году на «фронте» сверхпроводимости произошел «взрыв». Два швейцарских физика Дж. Беднорц и К. Мюллер в оксиде состава $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ обнаружили сверхпроводимость с критической температурой $T_c = 36 \text{ K}$ (за свое открытие они в 1987 году получили Нобелевскую премию). После их работы появился целый поток исследований по обнаружению высокотемпературной сверхпроводимости, сокращенно ВТСП. Был открыт сверхпроводник с критической температурой больше ста градусов Кельвина — $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ с $T_c = 125 \text{ K}$. Позже, в 1990 году открыли ВТСП из системы $\text{Tl} - \text{Sr} - \text{V} - \text{O}$ с критической температурой $T_c = 132 \text{ K}$. Исследования такого рода продолжаются и по сей день, и есть надежда получить сверхпроводники, у которых критическая температура может достигнуть комнатных температур. Согласно терминологии академика В.Л. Гинзбурга, они будут называться КТСП, т.е. комнатно-температурные сверхпроводники.

Остановимся на перечислении некоторых физических

свойств обычных низкотемпературных сверхпроводников, сокращенно НТСП, в частности, на их своеобразных и очень важных магнитных свойствах. Влияние внешних магнитных полей на состояние сверхпроводимости заключается прежде всего в смещении с ростом напряженности внешнего магнитного поля критической температуры T_c в сторону ее понижения, она становится функцией напряженности H внешнего магнитного поля: $T_c = f(H)$. При $H = 0$ T_c максимальна, а при некотором критическом магнитном поле H_k критическая температура сверхпроводника понижается до абсолютного нуля $T_c = 0$ К. Это значит, что при внешних магнитных полях с напряженностью $H \geq H_k$ сверхпроводимость пропадает. Схематически кривая фазового перехода из сверхпроводящего состояния в нормальное изображена на рис. 71.

Кроме того, В. Мейснер и Р. Оксенфельд в Германии, Л.В. Шубников и Я.Н. Рябинин в России, показали, что при переходе в сверхпроводящее состояние из образца, находящегося во внешнем магнитном поле, последнее «выталкивается» из объема сверхпроводника, т.е. внутри него магнитная индукция B становится равной нулю. Поскольку $B = H + 4\pi I$, то на первый взгляд может показаться, что намагниченность рав-



ная равна $I = - (1/4\pi)H$, т.е. сверхпроводник одновременно является и «сверхдиамагнетиком» с огромной магнитной проницаемостью $- (1/4\pi)$, которая гораздо больше обычного значения 10^{-6} . Однако более тщательные опыты по измерению магнитных свойств

Рис. 71. Кривая фазового перехода из сверхпроводящего состояния в нормальное в зависимости от величины напряженности внешнего магнитного поля.

$$I = - (1/4\pi)H,$$

т.е. сверхпроводник одновременно является и «сверхдиамагнетиком» с огромной магнитной проницаемостью $- (1/4\pi)$, которая гораздо больше обычного значения 10^{-6} . Однако более тщательные опыты по измерению магнитных свойств

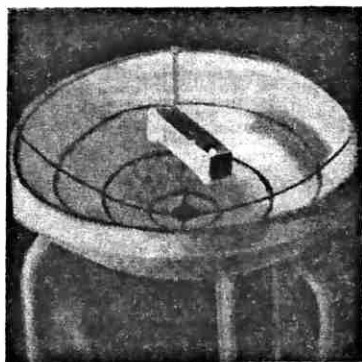


Рис. 72. Фотография экспериментального устройства Аркадьева с парящим магнитом.

сверхпроводников и теория сверхпроводимости показали, что это не так. Оказывается, внешнее магнитное поле проникает на некоторую, хотя и очень малую глубину под поверхность сверхпроводника порядка 10^{-4} – 10^{-5} см. В таком

тонком поверхностном слое при $T < T_c$ циркулируют незагущающие электрические токи, магнитное поле которых и экранирует внутренний объем сверхпроводника от проникновения в него внешнего магнитного поля. Все же, как отмечает академик В.Л. Гинзбург, в хлориде меди (CuCl) и сульфиде кадмия (CdS) как будто открыли «сверхдиамагнетизм». Имеются также некоторые указания, что могут существовать полупроводники со спонтанными молекулярными токами орбитального типа, у которых диамагнитная восприимчивость приближается к максимально возможной величине $-1/4\pi$, но проблема сверхдиамагнетизма пока еще далека от завершения.

Явление выталкивания магнитного потока из объема сверхпроводника можно весьма наглядно показать с помощью опыта с «парящим» магнитом над поверхностью сверхпроводника, помещенного во внешнее магнитное поле. Этот изящный опыт предложил и осуществил в 1945 году русский физик В.К. Аркадьев (рис. 72). Он состоит в следующем: в свинцовую чашку при температуре выше критической $T > T_c$ кладут небольшой постоянный магнит. При охлаждении свинцовой чашки ниже T_c происходит выталкивание магнитного потока из объема свинцовой чашки, магнит начинает от нее отталкиваться как от диамагнетика и поднимется на некоторую высоту, при которой наступает равновесие между силой тяжести магнита и силой отталкивания. Экспериментальное устройство с таким «парящим» магнитом показано на рис. 72. Весь опыт проводится в замкнутом стеклянном сосуде в атмосфере гелия.

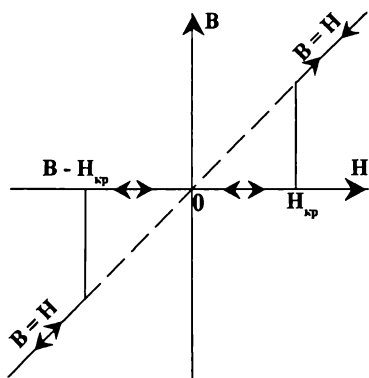


Рис. 73. Кривая намагничивания для сверхпроводящего образца в виде тонкого и очень длинного цилиндра.

Зависимость магнитной индукции B от напряженности внешнего поля H для сверхпроводника в виде тонкого и очень длинного цилиндра – спицы (чтобы избежать эффекта размагничивания от полюсов на концах образца) при ориентации внешнего магнитного поля вдоль оси цилиндра, показана на рис. 73. При намагничивании сверхпроводника другой формы, например, в виде сферы, из-за того, что внутри ее объема магнитная индукция равна нулю, будет искажаться и внешнее магнитное поле. Так, на рис. 74 видно, что густота линий индукции поля вдоль меридиана сферы $b - b$ увеличилась, а это соответствует росту напряженности внешнего магнитного поля. Расчет показывает, что напряженность магнитного поля на меридиане будет равна $(3/2) H$, где H – напряженность внешнего однородного магнитного поля. Поэтому именно на меридиане внешнее магнитное поле раньше всего достигнет своего критического

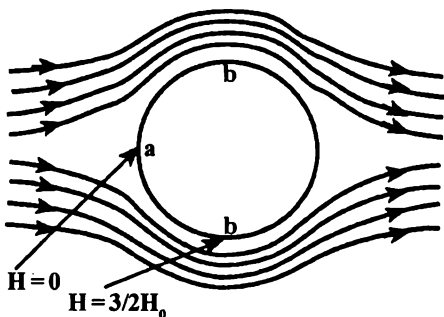


Рис. 74. Картина силовых линий магнитной индукции вблизи сверхпроводящего шара.

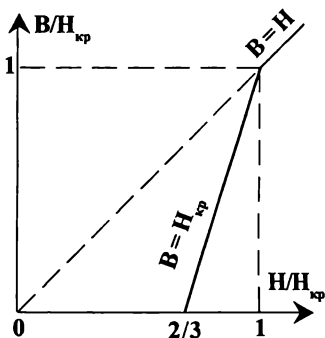


Рис. 75. Кривая намагничивания сверхпроводящей сферы.

здесь наблюдается просто смесь обычных сверхпроводящих и нормальных областей или доменов (подобно ферромагнитным доменам), как это изображено на рис. 76.

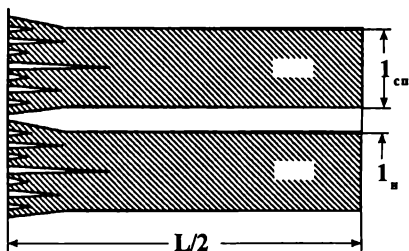


Рис. 76. Чередование сверхпроводящих и нормальных слоев (доменов) по Ландау.

Познакомимся с фактическими данными о величинах напряженностей критических магнитных полей $H_{кр}$ в типичных сверхпроводниках. Для чистых сверхпроводящих металлов критические магнитные поля, снимающие их сверхпроводимость, составляют десятки и сотни Эрстед. Только в ванадии, технеции и ниобии они превышают тысячу Эрстед. Выше, когда мы говорили о способах получения сильных стационарных магнитных полей, отмечалось, что в некоторых сверхпроводящих сплавах $H_{кр}$, снимающие сверхпроводимость, могут достигать значений напряженностей в сотни килоэрстед. Так, например, для сплава Nb_3Pb $H_{кр} = 245$ килоэрстед. Мы уже отмечали, что такие сверхпроводники широко применяются в технике получения сильных стационарных,



а не импульсных магнитных полей. Они также с успехом используются в конструкциях ускорителей микрочастиц, например, в известном Женевском ускорителе LEP, а также его будущей модификации LEP-2.

Выясним теперь физический механизм возникновения сверхпроводящего состояния в твердых телах. В металлических кристаллах (а сверхпроводниками в основном являются металлы) при низких температурах мы имеем дело с двумя системами элементарных возбуждений, т.е. двумя типами квазичастиц: *электронами проводимости* и *фононами*. Первые образуют фермиевский газ, или, при более точной формулировке, фермиевскую жидкость по Ландау, а вторые – бозе-газ. Между ними может возникать существенное *электрон-фононное* взаимодействие, которое определяет характер многих свойств твердых тел при низких температурах, в том числе и металлов. К таким свойствам относится, например, температурная зависимость электрического сопротивления металлов, поскольку главной причиной возникновения электросопротивления в них является неупругое (с потерей энергии) рассеяние электронов проводимости на фононах.

К этому же классу физических явлений относится образование в кристаллах квазичастиц – *поляронов*. Под поляроном понимается электрон проводимости, движущийся в кристалле внутри энергетической потенциальной ямы, возникшей («выкопанной» им самим) вследствие поляризации и деформации ионной кристаллической решетки под влиянием его электрического заряда. Другими словами, полярон – составная квазичастица, являющаяся «суммой» электрона проводимости и связанных с ним фононов ионной решетки. Эффективная масса полярона может быть значительно больше, чем у электрона проводимости. Теория поляронов была наиболее тщательно разработана в исследованиях советских ученых С. Пекаря, Л.Д. Ландау, Н.Н. Боголюбова, С.В. Тябликова, Я.И. Френкеля и американца Р. Фейнмана.

Наконец, электрон-фононное взаимодействие приводит к сильному эффективному притяжению между электронами проводимости. При анализе теории близкого действия с помощью Фейнмановской диаграммы, мы иллюстрировали электрическое взаимодействие между двумя электронами в вакууме. Повторяя его, но теперь относя к электронам проводимости, находящимся в ионном кристалле, можно сказать,



что первый из двух взаимодействующих электронов проводимости рождает виртуальные фононы (которые в предыдущем рассмотрении были фотонами), а затем второй электрон проводимости поглощает этот виртуальный фонон. Такое взаимодействие может вызвать радикальную перестройку энергетического спектра вблизи основного состояния подсистемы электронов проводимости, а именно переход в сверхпроводящее состояние. Американский физик Л. Купер в 1956 году рассмотрел строго математически неустойчивость состояний в системе квазичастиц электронов проводимости, вызванную эффективным межэлектронным взаимодействием. Согласно рассмотрению Купера, электроны проводимости, находящиеся в состояниях, близких к поверхности Ферми, и имеющие противоположно направленные векторы импульсов и спинов, могут объединяться в *пары* благодаря этой связи.

Таким образом, *куперовские пары* имеют нулевой, т.е. целочисленный спин, и поэтому, в отличие от не связанных в пары электронов проводимости – фермионов, являются бозеквазичастицами. Как мы увидим при рассмотрении низкотемпературных свойств бозе-систем, они обладают сверхтекучестью, а поскольку пары Купера представляют собой заряженные электрически квазичастицы (с зарядом, равным $-2e$), эта сверхтекучесть и проявляется как сверхпроводимость. Опыт также подтвердил, что носителями тока в сверхпроводнике действительно являются квазичастицы с отрицательным электрическим зарядом, равным $-2e$, как и у куперовской пары. Энергия связи пары равна примерно $3,5k_B T_K$, т.е. величина, очень малая для обычных сверхпроводников НТСП. Она определяет величину щели в энергетическом спектре электронной подсистемы сверхпроводника, т.е. величину энергетического расстояния первого возбужденного уровня от энергии основного состояния.

Достаточно подробную и строгую количественную микроскопическую квантовую теорию сверхпроводимости в 1967 году в США разработали Дж. Бардин, Л. Купер и Дж. Шриффер, а в России академик Н.Н. Боголюбов с сотрудниками. Дальнейшее развитие теории принадлежит российскому физическому Г. Элиашбергу. В связи с открытием ВТСП появилось много попыток рассмотреть в качестве основной причины создания куперовских пар взаимодействие электронов проводимости не только с фононами, но и с другими квазичас-

тицами, например, *экситонами* (элементарными возбуждениями в самой подсистеме электронов проводимости) или *магнонами* (элементарными возбуждениями в спиновой подсистеме) и т.п.

Практическое использование явления сверхпроводимости непрерывно расширяется. Кроме уже упоминавшихся выше сверхпроводящих магнитов для получения сильных стационарных магнитных полей и использования в конструкциях ускорителей микрочастиц, внедряются сверхпроводящие магнетометры и целый ряд других технических устройств и измерительных приборов, основанных на использовании различных свойств сверхпроводников. Можно сказать, что создана новая ветвь техники – *криоэлектроника* со множеством различных приборов.

Теперь мы остановимся на более подробном знакомстве с основными свойствами *жидкого гелия* при низких температурах от 4,2 К и ниже. Когда Х.Камерлинг-Оннес в 1908 году впервые ожил гелий, он не смог при атмосферном давлении получить твердую фазу кристаллического гелия. Затем было показано, что даже при абсолютном нуле (т.е. при самых сверхнизких температурах) к жидкому гелию надо приложить внешнее давление не менее 24 атмосфер и выше, чтобы получить твердую кристаллическую фазу гелия.

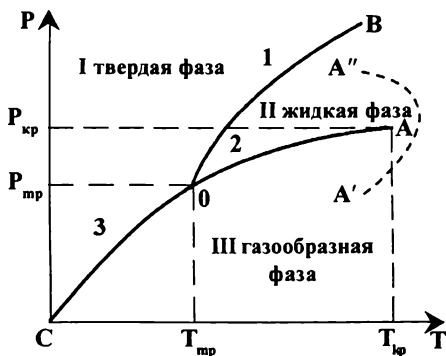


Рис. 77. Диаграмма агрегатных состояний обычного однокомпонентного вещества.

Напомним, как выглядит диаграмма трех агрегатных состояний газа – жидкости – кристалла для обычного однокомпонентного вещества. Она изображена на *рис. 77*. Мы видим, что на диаграмме существует особая *тройная точка* O , в которой находятся в равновесии все три фазы с одинако-



выми температурой $T_{тр}$ и давлением $p_{тр}$. Эта тройная точка является пересечением трех кривых равновесия: линии OC – кривой сублимации или возгонки, на которой встречаются газовая фаза и кристалл, линии OB – кривой плавления или затвердевания, где контактируют жидкость и кристалл, и, наконец, линии OA – кривой кипения или конденсации, где контактируют между собой газ и жидкость. Отметим, что обычно кривая возгонки OC начинается в начале координат диаграммы при $T = 0$ и $p = 0$. Другой конец кривой OC лежит в тройной точке O . В этой же тройной точке O начинается кривая кипения OA . Она кончается в так называемой *критической точке* A с критическими значениями давления $p_{кр}$ и температуры $T_{кр}$.

Существование последних показывает, что перейти из жидкого состояния в газообразное и обратно, меняя давление и температуру, можно и непрерывным путем, минуя кривую кипения со скрытой теплотой парообразования и скачкообразным изменением удельного объема (пунктирная линия $A'A''$). Кривая плавления OB начинается в тройной точке O и нигде не оканчивается, уходя на бесконечность. Из-за трудностей с опытной проверкой, для которой требуются сверхвысокие давления и температуры, это заключение пока является, строго говоря, гипотезой. Отсутствие критической точки на кривой OB плавления указывает на тот факт, что между жидкой и твердой фазами переход всегда происходит со скачкообразным изменением их симметрии. Неупорядоченная изотропная жидкость переходит в упорядоченный анизотропный кристалл, что исключает из твердых тел, находящихся в термодинамическом равновесии, *аморфные* твердые тела, которые следует, строго говоря, причислить к жидкостям, находящимся в метастабильном переохлажденном состоянии.

Диаграмма состояний изотопа гелия – He^4 заметно отличается от приведенной на *рис. 77* диаграммы состояний обычного однокомпонентного вещества. На *рис. 78* показана (по Тамману) такая диаграмма для He^4 . Здесь мы не находим тройной точки одновременного равновесия для газовой, жидкой и твердой фаз. Имеется лишь тройная точка λ' между кристаллом и двумя жидкими фазами – гелием I (HeI) и гелием II ($HeII$), а также вторая тройная точка λ между этими двумя жидкими фазами и газообразной фазой. И если на обычных диаграммах состояний наиболее низкотемпе-



ратурной фазой является кристалл даже при нулевом давлении, то в гелии таковой является жидкая фаза *HeII*. Поскольку амплитуда нулевых квантовых колебаний атомов в жидком гелии II составляет около 30% от расстояния между ближайшими соседними атомами в жидкости, необходимо приложить извне давление в 24 атмосферы или больше, чтобы получить твердый кристаллический гелий.

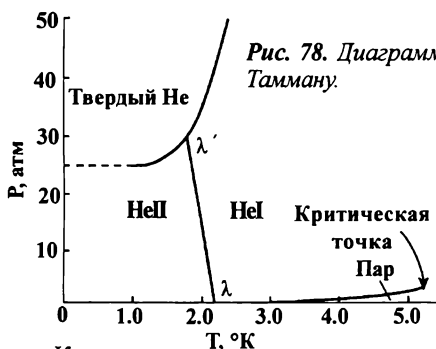


Рис. 78. Диаграмма состояний для He^I по Тамману.

Кривая испарения у гелия также начинается в начале координат и оканчивается в критической точке *B*. Голландский физик В. Кеезом измерил соответствующие точке *B* критическую температуру $T_{кр} = 5,2$ К и критическое давление $p_{кр} = 2,26$ атм. Температура кипения гелия при нормальном атмосферном давлении равна $T_{кип} = 4,21$ К.

Необычные свойства жидкого гелия первыми открыли Х. Камерлинг-Оннес и Дж. Бокс, которые нашли, что максимум плотности жидкого гелия достигается при 2,18 К под давлением насыщающих его паров $p = 0,1462$ г/см³. Ниже этой температуры плотность сначала медленно уменьшается, а начиная с температуры 1,15 К, снова очень медленно возрастает. В 1932 году Кеезом и Клазиус обнаружили острый максимум на температурной зависимости теплоемкости жидкого гелия под давлением своих паров при той же температуре, что и максимум плотности (рис. 79). При повышении давления указанный максимум в виде лямбда-точки смещается в сторону более низких температур и образует на диаграмме состояний почти прямую линию $\lambda\lambda'$, которая показана на диаграмме состояний рис. 78 и которая разделяет области двух жидких модификаций гелия – HeI и HeII. Линия $\lambda\lambda'$ пересекает кривую плавления гелия при темпера-

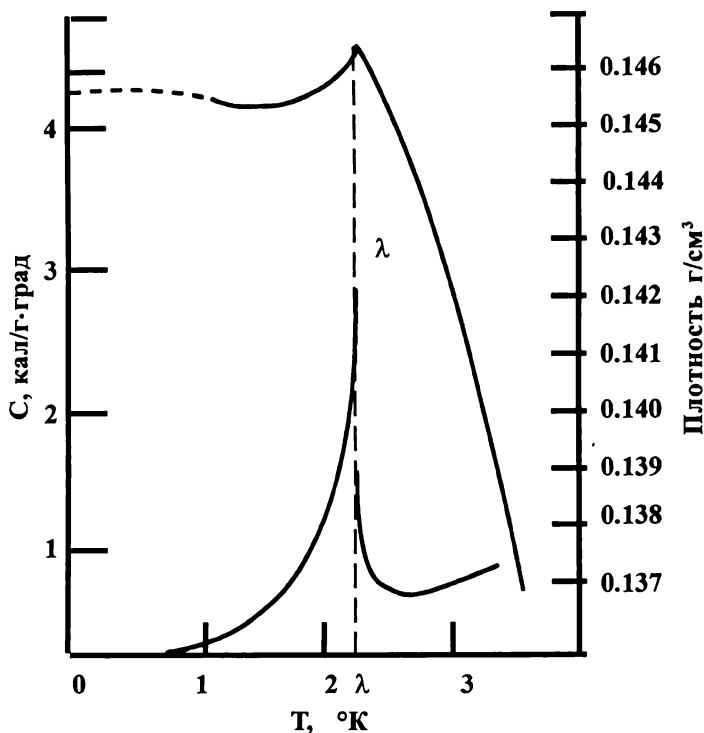


Рис. 79. Температурная зависимость теплоемкости и плотности жидкого гелия He^4 .

туре $T = 1,77$ К. На этой фазовой линии не было обнаружено скрытой теплоты превращения и изменения удельного объема, в связи с чем фазовый переход между двумя жидкими фазами гелия HeI и HeII является так называемым фазовым переходом *второго рода*.

Кратко остановимся на рассмотрении существующей классификации фазовых переходов, впервые выполненной П. Эренфестом еще в 1933 году и затем обобщенной М. Фишером в 1967 году.

Представим себе, что имеются две фазы a и b какого-нибудь вещества. Пусть такая система описывается каким-нибудь термодинамическим потенциалом F , который для определенности мы будем рассматривать только как функ-



цию единственного термодинамического параметра, например, температуры T , т.е. $F(T)$. Тогда в точке линии равновесия между фазами a и b , определяемой температурой T_n , $F_a(T_n) = F_b(T_n)$. В непосредственной близости от точки перехода T_n оба потенциала можно разложить в ряд по степеням малого параметра $(T - T_n)$, т.е.

$$\Phi_\alpha = \Phi_0 + (\partial\Phi_\alpha/\partial T)_{T=T_n}(T - T_n) + (\partial^2\Phi/\partial T^2)_{T=T_n}(T - T_n)^2 + \dots$$

$$\Phi_\beta = \Phi_0 + (\partial\Phi_\beta/\partial T)_{T=T_n}(T - T_n) + (\partial^2\Phi/\partial T^2)_{T=T_n}(T - T_n)^2 + \dots$$

где $\Phi_0 = \Phi_\alpha(T_n) = \Phi_\beta(T_n)$. Если первые производные от потенциалов обеих фаз в точке перехода не равны между собой, т.е. $(\partial\Phi_\alpha/\partial T) \neq (\partial\Phi_\beta/\partial T)$ при $T = T_n$, то, хотя потенциалы обеих фаз при этом равны, в точке перехода происходит скачок энтропии и удельного объема, и мы имеем переход *первого рода*.

Если же первые производные не терпят разрыва и остаются в точке перехода равными для обеих фаз, а не равны между собой только вторые производные при $T = T_n$, т.е.

$$(\partial^2\Phi_\alpha/\partial\theta^2) \neq (\partial^2\Phi_\beta/\partial\theta^2),$$

то мы будем иметь фазовый переход *второго рода*. Ландау подчеркнул, что последний переход, в частности, всегда имеет место, если контактирующие фазы – одна упорядоченная и анизотропная, а другая – неупорядоченная и изотропная. Это происходит при переходе из ферромагнитного состояния в парамагнитное или из упорядоченного сплава в неупорядоченный и т.п. Такой переход наблюдается и в случае фазового перехода между двумя жидкими фазами гелия He⁴ – HeI и HeII.

Самое удивительное свойство жидкого гелия HeII было открыто в 1938 году одновременно академиком П.Л. Капицей в России и Дж.Ф. Алленом и В. Мейснером в Англии – явление *сверхтекучести*, при котором жидкость протекала через узкие щели или капилляры без всякого трения. Указанные авторы для He I наблюдали его истечение, которое продолжалось несколько минут, в то время как жидкий HeII вытекал из сосуда за несколько секунд. Заметим, что это явление не связано с отсутствием в HeII вязкости. Опыты с крутильными колебаниями диска внутри HeII показали, что вызываемое вязкостью затухание колебаний при температурах,

не слишком далеких от T_p мало отличается от затухания аналогичных колебаний в жидком HeI.

В 1941 году Л.Д. Ландау показал теоретически, что свойство сверхтекучести следует из постулированного им энергетического спектра элементарных возбуждений, т.е. закона дисперсии $\epsilon(p)$, показанного на рис. 80. При малых квазиимпульсах p энергия возбуждения ϵ зависит линейно от импульса, как и в случае фонованного энергетического спектра колебаний решеток твердых тел, и при малых p квазичастицы – это обычные фононы. С увеличением энергии возбуждения она достигает сначала максимума, а затем уменьшается, достигает минимума при p_0 , а затем снова увеличивается. Вблизи p_0 энергию можно разложить в степенной ряд по степеням малой разности $(p - p_0)$:

$$\epsilon = \epsilon(p_0) + (d\epsilon/dp)_0(p - p_0) + (1/2)(d^2\epsilon/dp^2)_0(p - p_0)^2 + \dots$$

В точке минимума $(d\epsilon/dp)_0 = 0$ и, вводя обозначения $\epsilon(p_0) = \Delta$ и эффективную массу $\mu = (d^2\epsilon/dp^2)$, получаем:

$$\epsilon = \Delta + (1/2\mu)(p - p_0)^2.$$

Элементарные возбуждения с таким энергетическим спектром называются *ротонами*. Поскольку энергия ротона больше или равна Δ , то число ротонных пропорционально множителю $\exp(-\Delta/k_B T)$, и при низких температурах их мало, поэтому там преобладают фонованые возбуждения. Ротонные

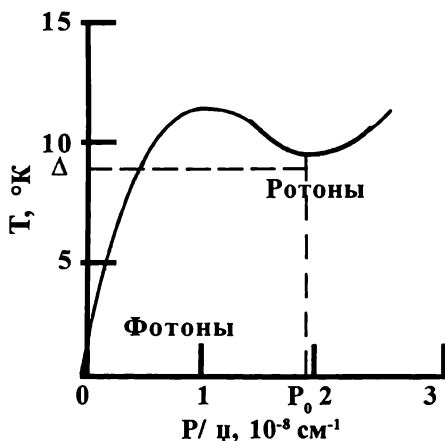


Рис. 80. Закон дисперсии Ландау элементарных возбуждений – фотонов и ротонных – для сверхтекучего гелия.



могут преобладать лишь при высоких температурах. Указанный на *рис. 80* закон дисперсии был экспериментально полностью подтвержден с помощью наблюдений эффекта рассеяния нейтронов в жидком *HeII*.

Рассмотрим теперь тело с массой M , которое движется со скоростью v в жидком *HeII* при $T = 0$ К. При наличии вязкости в жидкости движение тела замедляется благодаря возникновению в жидкости элементарных возбуждений с импульсом p и энергией ϵ . Тогда по закону сохранения импульса:

$$Mv = Mv_1 + p,$$

где $v_1 < v$ скорость тела после появления возбуждения в *HeII*. Закон же сохранения энергии имеет вид:

$$Mv^2/2 = Mv_1^2/2 + \epsilon.$$

Из законов сохранения получаем после элементарных преобразований:

$$\epsilon = vp - p^2/2M.$$

Поскольку $vp = vpcos\theta$, где θ — угол между векторами v и p , из последнего соотношения находим:

$$v = (\epsilon/p + p/2M) / \cos\theta.$$

Так как $|\cos\theta| \leq 1$, то из последнего равенства мы получаем:

$$v \geq \epsilon/p + p/2M.$$

Из этого равенства, при условии, что масса тела достаточно велика, а именно: $M > p^2/2\epsilon$, следует, что элементарные возбуждения будут образовываться, если скорость тела удовлетворит неравенству:

$$v \geq \epsilon/p.$$

Отношение, которое стоит в правой части последнего неравенства по размерности, есть некая критическая скорость тела v_k и можно определить величину ее минимального значения из спектра соответствующих квазичастиц. Если $v_k = 0$, то при любых скоростях тела будут образовываться элементарные возбуждения, т.е. такая жидкость не будет сверхтекучей. Если же $v_k \neq 0$, то при скоростях тела меньше v_k будет наблюдаться сверхтекучесть. Для спектра Ландау (*рис. 80*) минимальное значение v_k , отличное от нуля, соответствует минимуму на его дисперсионной кривой при $p = p_0$. Следо-



вательно, закон дисперсии Ландау действительно приводит к свойству сверхтекучести жидкого гелия HeII.

Изложенные выше соображения применимы также и при $T > 0$, поскольку при выводе условия для сверхтекучести использовались только законы сохранения импульса и энергии, но не принималось во внимание равенство нулю температуры жидкого HeII. Случай $T \neq 0$ отличается от рассмотренного тем, что в жидком гелии диск, подвергающийся крутильным колебаниям, хотя и медленнее, но все же останавливается. Таким образом, при температуре выше нуля в жидком HeII имеются фононы, возбуждаемые тепловым движением согласно закону дисперсии Ландау. Однако при движении тела или вытекании жидкости через щель или капилляр со скоростями меньше критической новых элементарных возбуждений не возникает. Поэтому жидкий гелий HeII при температурах до T_λ рассматривается как смесь двух жидкостей: сверхтекучей и нормальной. Согласно двухжидкостной модели, полную объемную плотность HeII ρ можно представить как сумму плотности сверхтекучей части ρ_s и нормальной части ρ_n . В зависимости от температуры эти плотности ведут себя так, что при $T = 0$ К $\rho_s = \rho$, а $\rho_n = 0$, а при $T = T_\lambda$ имеем $\rho_s = 0$, а $\rho_n = \rho$, как это изображено на *рис. 80*.



2.6. Элементы специальной теории относительности

В конце XIX и начале XX века электродинамика Максвелла трудами Г. Лоренца и Дж.Дж. Томсона была соединена с электронной микроскопической теорией. Однако при попытке применить эту классическую теорию к исследованию процессов, протекающих в движущихся средах, она натолкнулась на принципиальные трудности, которые пришлось преодолевать Эйнштейну.

Затруднения с разработкой электродинамики движущихся сред, неудача опыта Майкельсона-Морли привели Эйнштейна в 1905 году к разработке новой главы современной физики – построению *специальной теории относительности*. Она появилась не случайно, а в результате попыток найти выход из очередного парадокса в физике.

Еще Галилей сформулировал в классической механике принцип относительности: законы механики должны быть одинаковыми для всех наблюдателей, которые движутся друг относительно друга с постоянной по величине и направлению скоростью. Иными словами, он утверждал, что не существует привилегированной системы отсчета, т.е. невозможно определить абсолютную скорость.

Представим себе двух наблюдателей A и B , движущихся с относительной скоростью между ними, равной v . Выберем ось координат x в системе наблюдателя A $S(A)$, направленную вдоль этой скорости. В системе второго наблюдателя $S(B)$ координаты обозначим через x' . Пусть в начальный момент координаты x и x' будут совпадать. Со временем координатная система второго наблюдателя сместится вдоль оси x на величину vt , где t – время от начального момента $t = 0$ (рис. 81). Между их координатами существует очевидная связь:

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z,$$

что приводит к соотношениям между скоростями v и v' соответственно в системах отсчета $S(A)$ и $S(B)$

$$v' = v - v,$$



где

$$u = dx/dt, \quad u' = dx'/dt.$$

Как легко видеть, ускорения в обеих системах координат

$$a = d^2x/dt^2 = du/dt, \quad a' = d^2x'/dt^2 = du'/dt$$

равны друг другу, ибо скорости постоянны. Закон динамики Ньютона

$$F = ma,$$

для обоих наблюдателей будет неизменен, потому что и масса, и ускорение не меняются при переходе из системы $S(A)$ к системе $S(B)$. Таким образом, мы получили математическое выражение принципа относительности Галилея.

Но именно в связи с приведенными выше преобразованиями и возникла первая брешь в принципе относительности Галилея после появления теории электромагнетизма Максвелла. Оказалось, что при одном и том же электромагнитном опыте, проведенном покоящимся и движущимся наблюдателями, получается два различных ответа.

Проиллюстрируем это на некоторой вполне конкретной электродинамической задаче. Пусть точечный электрический заряд $+e$ расположен в точке A на расстоянии r от прямой проволоки, заряженной электрическим зарядом того же знака с линейной плотностью величиной ρ (рис. 82б). На заряд в точке A действует электростатическая сила $f = eE$, где E — напряженность электрического поля, созданного заряженной

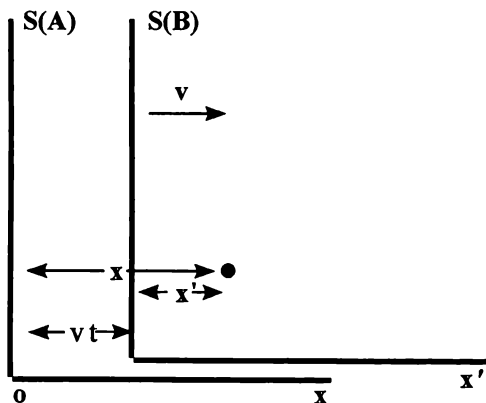


Рис. 81. Системы координат для двух наблюдателей.



проволокой. Из электростатики известно, что напряженность этого поля $E = 2\rho/r$, где r – расстояние от оси проволоки до точки A . Следовательно, для силы, действующей на заряд $+e$, получаем для первого наблюдателя:

$$f = 2e\rho/r. \quad (6.1)$$

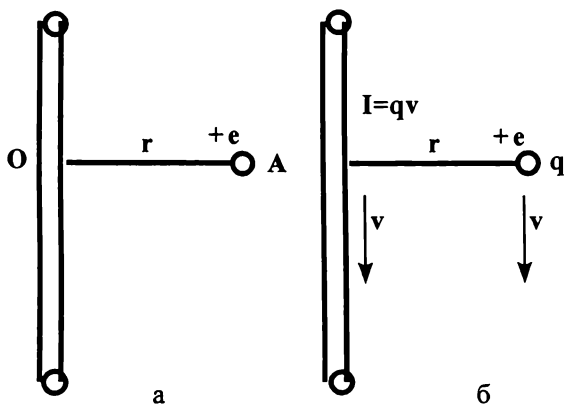


Рис. 82. К нарушению принципа относительности Галилея в электродинамике движущихся тел.

Выясним теперь, какую же силу будет измерять второй наблюдатель, который движется с постоянной по величине и направлению скоростью v параллельно проволоке (рис. 82б). Для него вдоль проволоки потечет электрический ток силой:

$$I = 2e\rho v, \quad (6.2)$$

а заряд $+e$ будет двигаться параллельно проволоке со скоростью v вниз. Тогда, поскольку суммарный заряд на длине l участка проволоки равен ρl , при умножении равенства (6.2) на l получим:

$$Il = 2e\rho lv.$$

Из электродинамики известна сила, действующая на элемент тока I длиной l в магнитном поле напряженности H , она равна:

$$f = IlH/c,$$



где c – скорость света. Тогда магнитная сила притяжения, действующая на заряд $+e$, с точки зрения второго наблюдателя, будет равна:

$$f_{\parallel} = (2ep/r)(v^2/c^2) \quad (6.3)$$

и она должна вычитаться из электростатической силы отталкивания (6.1). Поэтому второй наблюдатель, движущийся со скоростью v относительно первого, обнаружит, что результирующая сила, действующая на заряд $+e$, должна быть равна по (6.1) и (6.3) величине:

$$f = (2ep/r)(1 - v^2/c^2). \quad (6.4)$$

Таким образом, из сравнения формул (6.4) и (6.1) мы видим, что для второго наблюдателя сила, действующая на заряд $+e$, будет меньше, чем для первого.

Рассмотренная типичная задача электродинамики Максвелла для электродинамики движущихся тел показала, что принцип Галилея оказался *нарушенным*, т.е. несовместимым с теорией Максвелла. Здесь были возможны три способа разрешения этой трудности – очередного парадокса физики:

1. Считать, что принцип Галилея правилен для механики, но не справедлив для электромагнетизма.

2. Считать, что принцип относительности Галилея справедлив и в механике, и в электродинамике, но при этом признать, что законы последней, как их сформулировал Максвелл, неправильны и их надо изменить.

3. Считать, что существует другой принцип (относительности), отличный от галилеевского, который должен выполняться и для механики, и для электродинамики, но тогда надо видоизменять не электродинамику, а механику.

Именно третий вариант и был выбран Эйнштейном. Дело в том, что первые два варианта после отрицательного результата в опыте Майкельсона и Морли и полной неудачи всех многочисленных попыток объяснить его в рамках первых двух вариантов, оставили для Эйнштейна только такой путь, по которому он с завидной смелостью и пошел.

Первое, что сделал Эйнштейн, – провозгласил постулат о том, что скорость света всегда одинакова во всех системах отсчета. Скорости всех остальных, не световых движений, не могут быть больше скорости света. Например, ракета никогда не сможет догнать свет! Это полностью объясняло,



как уже отмечалось выше, отрицательный результат опыта Майкельсона-Морли.

Отсюда мы приходим к полному краху ньютоновских представлений об абсолютном пространстве и времени.

Здесь исторически очень важным явился вывод Эйнштейна об относительности понятия одновременности событий в разных точках пространства. При рассмотрении данной проблемы Эйнштейн опередил всех других ученых, и поэтому именно он считается главным автором теории относительности. С решения проблемы об одновременности событий в разных точках пространства и начинается история специального принципа относительности Эйнштейна.

Опять-таки рассмотрим опыт с двумя инерциальными наблюдателями. Пусть один из них стоит на платформе железнодорожной станции (назовем его наблюдателем A), а другой наблюдатель (назовем его наблюдателем B) находится в вагоне поезда, который быстро движется мимо станции (рис. 83). Оба они наблюдают за испущенным наблюдателем B световым импульсом, который распространяется от него в противоположные стороны вдоль длины вагона. Они оба видят этот эффект, но один стоит неподвижно на станции, а другой едет в вагоне движущегося поезда. Наблюдатель B зажигает лампу, а его коллега A на платформе станции ждет, когда сверхскорый поезд промчится мимо него.

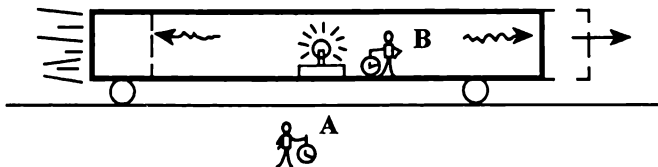


Рис. 83. К вопросу об относительности одновременности событий в двух разных точках пространства.

В некий момент в руках наблюдателя B на мгновение вспыхивает лампа в середине вагона, т.е. посылаются короткий импульс света в оба конца вагона. Наблюдатели A и B одновременно регистрируют момент вспышки лампы, а затем регистрируют и моменты времени для каждого из двух сигналов, летящих в разные стороны вагона, когда они достигают двух его противоположных стенок в правой и левой стороне.



Наблюдатель B видит, что сигналы доходят до противоположных стенок вагона *одновременно*. Наблюдатель же A видит, что левой стенки свет достигает раньше, чем правой, из-за движения вагона поезда слева направо. Таким образом, наблюдатели A и B регистрируют *разные варианты одних и тех же событий*. Кто из них прав? По теории относительности Эйнштейна правы оба наблюдателя. Одновременность двух пространственно разделенных событий не есть *абсолютное* свойство самих событий, а лишь следствие *способа их рассмотрения*. Еще удивительнее будет результат с третьим наблюдателем C , который едет во втором вагоне поезда, по параллельному пути. Если он движется быстрее второго наблюдателя B , так что относительно C наблюдатель B будет двигаться налево, то, воспользовавшись прежними рассуждениями, получим последовательность событий, обратную той, что отмечал наблюдатель A .

Таким образом, теория относительности, не нарушая последовательность событий, которые происходят в одном месте пространства, для событий в разных точках пространства дает неодинаковый ответ. Поскольку сигналы не могут распространяться быстрее скорости света c , то ни один наблюдатель не сможет настолько изменить свое состояние так, чтобы в другой системе отсчета с его точки зрения время пошло бы в обратную сторону. Единственно на чем может сказаться существенно состояние его движения – на наблюдаемой скорости хода его часов. Хотя порядок во времени двух событий, происходящих в одном и том же месте пространства (например, боя часов), инвариантен, интервал времени между ними относителен.

Вернемся вновь к наблюдателям A и B , которые движутся относительно друг друга со скоростью v , направленной по оси x (рис. 81). Наблюдатель A в своей системе отсчета измеряет координату x в некоторой точке, а наблюдатель B в своей (штрихованной) координату x' в этой же точке, связанные так:

$$x = x' + vt'. \quad (6.5)$$

Теперь учтем, что скорость света всегда и везде постоянна и равна c , и нет абсолютной одновременности, т.е. надо положить, что времена у различных наблюдателей различны: $t' \neq t$. Простейшее обобщение соотношения (6.5), учитывающее эти изменения и гарантирующее переход к галилеевой



механике для скоростей, очень малых по сравнению с предельной скоростью c , будет иметь вид:

$$x = \gamma(x' + vt'), \quad (6.6)$$

где множитель γ должен стремиться к единице при $v \ll c$, т.е. при малых скоростях, когда справедлива механика Галилея-Ньютона. Системы отсчета (A) и (B) равноправны, поэтому для наблюдателя B

$$x' = \gamma(x - vt). \quad (6.7)$$

Математически требование равенства скорости света c в системах отсчета (A) и (B) имеет вид:

$$x = ct \text{ и } x' = ct'.$$

Подставляя эти величины в (6.6) и (6.7), получаем:

$$ct = \gamma(ct' + vt') = \gamma(c + v)t', \quad 1 = \gamma(1 + v/c)t'/t,$$

$$ct' = \gamma(ct - vt) = \gamma(c - v)t, \quad 1 = \gamma(1 - v/c)t/t'.$$

Перемножая два последних правых равенства друг на друга, находим

$$1 = \gamma^2 \{1 - (v/c)^2\},$$

откуда

$$\gamma = 1/(1 - v^2/c^2)^{1/2}. \quad (6.8)$$

Этот множитель действительно обращается в единицу, когда скорость тела гораздо меньше скорости света, т.е. $v \ll c$.

Для выяснения роли множителя γ в связи со значениями интервалов времени, измеряемых наблюдателями A и B , нужно из (6.6) и (6.7) исключить координаты x и x' через отношения t/c и t'/c , что дает:

$$t' = (t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}. \quad (6.9)$$

Равенство (6.9) дает связь времени t' , измеренного наблюдателем B , со временем t , измеренным наблюдателем A в точке пространства x . Для события в определенной точке в системе отсчета (A) координата x постоянна. Это означает, что интервал времени между двумя событиями 1 и 2, равный $t'_2 - t'_1$, при измерении их наблюдателем B , связан с соответствующим интервалом $t_2 - t_1$, измеряемым наблюдателем A , равенством:



$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \gamma(t_2 - t_1) = \gamma \Delta t,$$

которое иначе запишется так:

$$\Delta t' = \Delta t(1 - v^2/c^2)^{-1/2} \quad (6.10)$$

Из выражения (6.10) видно, что интервалы времени будут разными при $v \neq 0$, т.е. наблюдатели A и B получают различные результаты для определения промежутков времени между различными событиями.

Рассмотренный эффект очень мал. Даже для ракеты, которая движется со скоростью в 50 000 км/час, $v/c = 0,00005$, а величина $\gamma = 1,000\ 000\ 001$ – наблюдатель на ракете будет констатировать, что интервалы времени на Земле удлинлись лишь на одну десятиллионную долю процента. Часы на быстрой ракете для наблюдателя на Земле замедляют свой ход по сравнению с аналогичными часами, которые находятся на Земле, что является свойством пространства-времени и не зависит от механизма часов. Эффект замедления часов проявляется лишь тогда, когда наблюдатель исследует другие системы, относительно которых он движется. Из соотношения (6.10) видно, что при $v = c$ величина γ установится равной бесконечности, т.е. для наблюдателя, путешествующего со скоростью света c , все другие часы в других системах отсчета бездействуют – течение времени полностью останавливается. Поэтому говорят, что световой луч не «чувствует» времени.

Течение любого физического процесса, включая и распады атомных частиц, например, радиоактивный распад атомных ядер, для наблюдателя, движущегося со скоростью v , должны *замедляться* в $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ раз.

Этот эффект проявляется также в увеличении времени жизни микрочастиц, которое можно наблюдать непосредственно на опыте, что и измеряли фактически, на пучке стабильных пионов. Пион в неподвижном состоянии имеет время жизни t , равное $1,8 \times 10^{-8}$ с, а пучок движущихся пионов можно получить в ускорителе. Пусть скорость пионного пучка будет равна $v = 0,6 c$. Наблюдаемое время жизни для пионов пучка $t' = t/(1 - 0,6^2)^{1/2} = 1,25$, т.е. время жизни неподвижного пиона t' увеличится на 25%, оно равно $t' = 2,25 \times 10^{-8}$ с, за которое пионы успевают пройти путь $d = ct' = 4,05$ м, что и измеряется на опыте в камере Вильсона.



Любопытно отметить, как пишет в одной своей статье В. Гейзенберг, что подобные опыты с мюонами не только помогли решить фундаментальный научный вопрос, но и одновременно сняли фашистский запрет на теорию относительности, наложенный гитлеровским государством. Поэтому, говорит Гейзенберг, «я всегда чувствую признательность к мюонам».

Весьма интересным является так называемый «парадокс близнецов», который возникает, когда один из наблюдателей улетает с Земли почти со скоростью света, а потом возвращается с той же скоростью и оказывается гораздо моложе, чем оставленный им на Земле брат близнец.

Рассмотрим этот эффект более детально. Предположим, что двум близнецам было перед началом эксперимента по 20 лет. Тогда для земного наблюдателя часы и все физические процессы, которые он наблюдает на космической ракете, летящей со скоростью v , должны замедляться в $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ раз. Пусть космический путешественник-близнец B летит к звезде Арктур со скоростью $v = 0,9 c$. Расстояние от Земли до нее равно 40 световым годам. С точки зрения оставшегося на Земле наблюдателя, близнеца A , путешествие его брата B займет на 1% больше времени, чем это требуется свету, чтобы достичь Арктура и вернуться обратно на Землю без остановки, что составляет 80,8 лет. Когда B вернется на Землю, возраст близнеца A будет равен $20 + 80,8 = 100,8$ лет.

Наоборот, с точки зрения путешественника близнеца B , часы на ракете будут идти медленнее в $(1 - 0,99^2)^{1/2} = (0,02)^{1/2} = 0,141$ раза. Значит, для близнеца B это время будет равно 80,8 года умноженному на 0,141, т.е. всего 11,4 года. При возвращении на Землю близнец B будет в возрасте $20 + 11,4 = 31,4$ года, т.е. моложе своего брата A на 64,4 года. Путешествующий близнец B не чувствует, что его время идет медленнее, но расстояние до Арктура кажется близнецу B укороченным благодаря лоренцевскому сокращению размеров (см. несколько ниже). По измерениям близнеца B расстояние от Земли до Арктура равно $40(1 - 0,99)^{1/2}$ световых лет или 5,64 световых года. Кроме того, ему кажется, что Земля удаляется от него с той же относительной скоростью $v = 0,99 c$. Поэтому, согласно расчетам близнеца B , чтобы достичь Арктура, понадобится время на 1% больше, чем свету, т.е. 5,7 световых лет, а чтобы вернуться обратно на Землю без останов-



ки на Арктуре, необходимо 11,4 года. Полученный результат согласуется с вычислениями близнеца A .

И снова возникает кажущийся парадокс. Дело в том, что наблюдения близнеца B покажут, что близнец A , оставшийся на Земле, тоже жил 11,4 года. Действительно, если космонавт взглянет на Землю, то он увидит, что земные часы идут медленнее, чем его часы. Казалось бы, близнец A в конце путешествия окажется моложе B , что противоречит предыдущим расчетам. В самом деле, если скорость действительно относительна, то как вообще можно прийти к асимметричному результату? Разве из симметрии задачи не следует, что оба брата должны остаться в одном и том же возрасте?

Но этот парадокс, который якобы указывает на противоречия в теории относительности Эйнштейна, устраняется, если мы сообразим, что фактически данная ситуация с близнецами *не* симметрична по своей природе. Близнец A на Земле все время находится в покое в *одной и той же* инерциальной системе отсчета, а его путешествующий брат B переходит из одной системы в другую, когда он поворачивает в обратную сторону у Арктура, возвращаясь назад на Землю. При этом ему приходилось двигаться с замедлением, когда он достиг Арктура, а потом с ускорением, когда он после мгновенной остановки с прежней скоростью возвращается назад. Учет данного обстоятельства все ставит на свои места и полностью снимает парадокс. Однако, к сожалению, реально провести такой эксперимент с близнецами практически невозможно, т.к. столь большой скорости в 99 % от величины скорости света, которую мы предполагали для близнеца B , мы пока не можем достичь технически.

Аналогичные соотношения можно получить и для пространственных интервалов, измеряемых различными наблюдателями, двигающимися друг относительно друга со скоростью v . Воспользуемся преобразованиями не временной, а пространственных координат из преобразований Лоренца, который их открыл еще до появления теории относительности Эйнштейна. Из формул (6.7), (6.8), (6.9)) следует, что

$$\begin{aligned}x' &= (x - vt)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}, \\y' &= y, z' = z, \\t' &= (t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)^{1/2},\end{aligned}\tag{6.11}$$



где штрихованные пространственные и временная координаты относятся к системе наблюдателя B , а нештрихованные к системе отсчета наблюдателя A . Такие же соотношения между координатами пространства-времени можно написать и для случая, когда мы считаем B неподвижным, а наблюдателя A — движущимся со скоростью $-v$ относительно B , т.е.

$$\begin{aligned}x &= (x' + vt')/(1 - v^2/c^2)^{1/2}, \\y &= y', z = z', \\t &= (t' + vx'/c^2)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}.\end{aligned}\tag{6.12}$$

Если измеряется длина некоторого стержня, то теория относительности утверждает, что результат этого измерения получится разным у наблюдателей A и B , т.к. стержень покоится в системе отсчета наблюдателя B и движется относительно наблюдателя A . Пусть у наблюдателя B координата начала стержня равна x'_1 и конца стержня x'_2 . Тогда длина стержня вдоль оси x будет равна $x'_2 - x'_1 = l_0$. Наблюдатель A одновременно измеряет длину этого стержня, которая в его системе равна $x_2 - x_1 = l$. С учетом формул (6.10) и (6.11) находим:

$$x'_2 - x'_1 = (x_2 - x_1)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

или

$$l = l_0(1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

Таким образом, длина стержня l , измеренная наблюдателем A , будет меньше, чем длина этого стержня l_0 , измеренная наблюдателем B . Полученное сокращение размеров было, как уже говорилось, известно Лоренцу до создания теории относительности из электродинамики Максвелла. Лоренц считал его результатом действия электромагнитных сил, но Эйнштейн показал, что это просто следствие принципа относительности.

Точно так же можно показать, что в теории относительности закон сложения скоростей таков, что суммарная скорость не может оказаться больше скорости света.

Вся механика Ньютона поэтому должна быть пересмотрена, но мы рассмотрим только два вопроса: релятивистский закон сложения скоростей и связь между энергией и массой.

Для рассмотрения первого вопроса введем три инерциальные системы отсчета: A , B и C . Пусть система B имеет



скорость v относительно системы A , а система C скорость w относительно системы B . Выберем нештрихованные координаты для системы A — x, y, z, t . Один раз штрихованные — x', y', z', t' — для системы B и два раза штрихованные для системы C — x'', y'', z'', t'' . Тогда релятивистские преобразования, связывающие систему B с A , имеют вид:

$$x' = (x - vt)/(1 - v^2/c^2)^{1/2},$$

$$t' = (t - vx/c^2)/(1 - v^2/c^2)^{1/2},$$

а преобразования, связывающие систему C с B , будут:

$$x'' = (x' - wt')/(1 - w^2/c^2)^{1/2},$$

$$t'' = (t' - wx'/c^2)/(1 - w^2/c^2)^{1/2}.$$

Подставляя первые преобразования во вторые после простых вычислений, получим:

$$x'' = (x - ut)/(1 - u^2/c^2)^{1/2},$$

$$t'' = (t - ux/c^2)/(1 - u^2/c^2)^{1/2},$$

где мы видим, что связь между первой системой A (нештрихованной) и третьей системой C (дважды штрихованной) такая же, как и первые две, и поэтому u есть скорость третьей системы C относительно первой системы A , которая, как легко видеть, равна:

$$u = (v + w)/(1 + vw/c^2). \quad (6.13)$$

Данное соотношение и является законом сложения скоростей в теории относительности Эйнштейна. Из (6.13) следует, что суммарная скорость u не равна просто сумме складываемых скоростей v и w , а меньше ее, так как делится на величину, большую единицы. Если одна из слагаемых скоростей является скоростью света c , то суммарная скорость все равно равна скорости света; она также равна скорости света, когда обе складываемые скорости равны c .

Приведем без вывода формулу для кинетической энергии частицы с массой m и скоростью v . В механике Ньютона она равнялась

$$E_{кин} = mv^2/2,$$

а в механике специальной теории относительности полная энергия тела, движущегося со скоростью v , имеет вид:



$$E = m_0 c^2 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}.$$

Следовательно, при $v = 0$ тела обладают так называемой энергией покоя

$$E_0 = m_0 c^2, \quad (6.14)$$

величину m_0 называют массой покоя. Кинетическая энергия равна разности между полной энергией и энергией покоя:

$$E_{\text{кин}} = E - E_0 = m_0 c^2 / (1 - v^2/c^2)^{1/2} - m_0 c^2.$$

При достаточно малых значениях отношения v/c после разложения корня в ряд по степеням этого отношения и удержания первых двух членов разложения мы получаем классическую формулу:

$$E_{\text{кин}} = m_0 v^2 / 2.$$

Первая точная количественная проверка соотношения (6.14), полученного теоретически Эйнштейном, была проведена в опытах Резерфорда по расщеплению атомного ядра лития ядрами атома водорода, т.е. протонами. Приведем точный расчет этой реакции, уравнение которой имеет вид: ${}_1\text{H}^1 + {}_3\text{Li}^7 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + \text{кинетическая энергия атомных ядер } {}_2\text{He}^4$.

Масса в а.е.м. в левой части этого уравнения равняется

$$1,00758 + 7,0165 = 8,02408,$$

масса в правой части уравнения от двух атомных ядер гелия составляет:

$$2 \times 4,00280 = 8,00560.$$

Таким образом, в результате реакции произошла потеря массы величиной 0,01848 а.е.м., далее были определены скорости двух разлетевшихся альфа-частиц и вычислена их кинетическая энергия. Она оказалась эквивалентной потерянной массе в полном соответствии с формулой Эйнштейна (6.14).

Из выражения для нулевой энергии видна полная эквивалентность массы и энергии, что привело ко многим новым фундаментальным открытиям в физике и технике.

Итак, любой форме энергии должна отвечать своя масса $M = E/c^2$. Например, свет, обладающий энергией, должен обладать и массой. В принципе массу света можно измерить и почувствовать, используя ящик с абсолютно непрозрач-



ными стенками, заключающий внутри себя излучение. Однако из-за большого переводного множителя c^2 изменение веса между пустым ящиком и ящиком с излучением мы не почувствуем даже при взвешивании на самых точных весах. И все же можно наблюдать эффект массы света в астрономических масштабах. Лучи света, как всякое тело, обладающее массой, должны притягиваться Солнцем, проходя мимо него. Это искривление световых лучей в направлении Солнца приводит к заметному смещению кажущихся положений звезд, наблюдаемых вблизи края Солнца во время его затмения (рис. 84). Кроме того, масса тела M возрастает при движении, что мы знаем из приведенных выше формул:

$$M = M_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}, \quad (6.15)$$

где M_0 – масса покоя. В частности, из соотношения $E_0 = M_0 c^2$ следует, что, например, 1 кг песка обладает энергией $E_0 = 1 \times (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{16}$ джоулей, но мы ее не можем никак использовать.

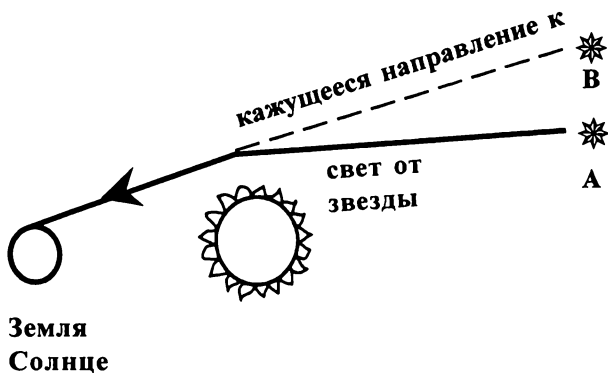


Рис. 84. К действию тяготения на свет – отклонение луча света от звезды под действием притяжения Солнца.

В процессах образования микрочастиц кинетическая энергия протонов в ускорителях часто превращается в массу покоя новых частиц. И наоборот, самопроизвольный распад некоторых из этих микрочастиц может привести к тому, что их масса покоя может снова превратиться в кинетическую энергию продуктов распада. Таким образом, по формуле Эйнштейна, кинетическая энергия немислима без массы,



поэтому по существу выполняется закон сохранения энергии-массы.

Полная энергия Вселенной остается постоянной, точно так же постоянна и сумма ее массы движения и массы покоя. Последняя в различных процессах может частично или полностью превращаться в кинетическую энергию и обратно, что, в частности, относится и к обоим типам нуклонов – протонам и нейтронам, т.е. нейтроны могут превращаться в протоны и обратно. Однако при всех возможных ядерных взаимодействиях полное число протонов и нейтронов сохраняется постоянным, и мы не можем использовать энергию, связанную с их массами покоя. Возможно только извлекать ограниченное количество энергии ядер атомов в таких процессах, как деление тяжелых атомных ядер или синтез легких атомных ядер, где часть массы покоя атомных ядер превращается в кинетическую энергию микрочастиц и продуктов их распада или синтеза. Эту энергию и получают в ядерных реакторах, атомных и водородных бомбах.

В заключение изложения теории относительности отметим, что немецкий ученый Г. Минковский в 1908–1909 годах разработал детально математическую модель четырехмерного пространства-времени. Еще со времен Пифагора в Греции было известно, что квадрат интервала длины в евклидовом пространстве r^2 равен сумме квадратов трех пространственных координат:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2. \quad (6.16)$$

Однако в теории относительности (6.16) не является инвариантом, т.е. неизменной величиной. Инвариантом при любых преобразованиях пространства-времени теперь является другая величина s , квадрат которой равен следующему выражению:

$$s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2, \quad (6.17)$$

здесь вместо квадрата четвертой временной координаты в соответствии с требованиями размерности стоит мнимая величина ict , где i – мнимая единица (ее квадрат равен -1), поэтому $(ict)^2 = -c^2 t^2$.

Из приведенных *рис. 85* и *рис. 86* можно сравнить диаграммы пространства-времени для ньютоновской механики и по Минковскому. Горизонтальные срезы на *рис. 85* изобра-



жают на плоскости x все трехмерное пространство Ньютона в данный момент времени t . События, изображаемые точками A и B на этой же диаграмме, по механике Ньютона являются одновременными, т.е. происходящими в данный момент, но в разных точках пространства. Поэтому такие срезы на ньютоновской диаграмме одинаковы для всех инерциальных систем, т.е. наблюдателей, двигающихся друг относительно друга с постоянной по величине и направлению скоростью v . На рис. 86 по Минковскому для ict и x выбраны одинаковые единицы измерения: сантиметры и временные «сантиметры». Там же нанесены линии, проходящие под углом в 45° к вертикали через точку P данного события с пространственной координатой x и временной ict . Для другого инерционного наблюдателя надо провести другие линии в другой точке x' под углом 45° к вертикали.

Линии под углом 45° к вертикали – это линии, по которым от наблюдателя распространяется свет со скоростью c . При выбранном масштабе, действительно, все, что движется со скоростью света, будет в трех измерениях двигаться по поверхности конуса с раствором угла в 45° , а сам конус поэтому называется *световым конусом*. Скорость света – инвариант в теории относительности, и вместе с тем, предельная скорость, вследствие чего мировые линии всех движений со скоростями, не превышающими скорости света, будут лежать внутри светового конуса.

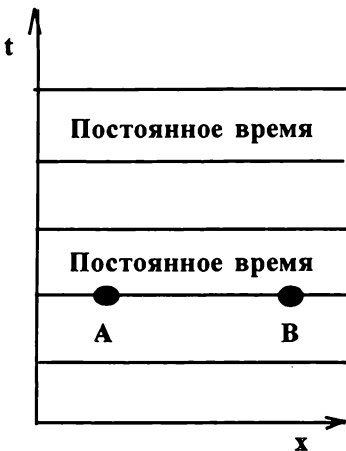
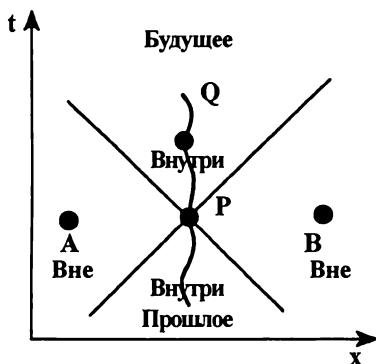


Рис. 85. Диаграмма пространства-времени в ньютоновской механике.



Рис. 86. Диаграмма пространства-времени по Минковскому.



Итак, пространство-время Минковского делится на две области: «внутри» и «вне» двух линий. Все допустимые мировые линии материальной точки, двигающейся со скоростью не большей c , всегда лежат внутри светового конуса, так как вне его любая мировая линия соответствует точке, двигающейся с запрещенной скоростью, большей скорости света. «Низ» раствора светового конуса относится по времени к прошлому, а «верх» – к будущему. Вся область пространства-времени «вне» светового конуса недоступна для движения любых частиц.



2.7. Теория гравитации (общая теория относительности), ее опытная проверка

Кратко изложим теорию гравитации Эйнштейна, которую не совсем правильно (например, по мнению академика В.А. Фока) называют общей теорией относительности. Начнем прежде всего с обсуждения опытов Галилея, которые показали, что все тела под действием силы тяготения движутся одинаково. Он производил свои опыты, бросая тела с высоты Пизанской башни в Италии. Опыты Галилея показали, что тяжелые и легкие тела при сбрасывании их с высоты башни достигали поверхности Земли одновременно во всех случаях, конечно, если не будет сильного сопротивления падению, скажем, сопротивления воздуха земной атмосферы. А оно всегда будет, если наблюдать движение тел не в откачанном от воздуха сосуде, например, этот эффект очень заметен для легчайшей «пушинки».

Любопытно отметить, что в свое время Аристотель считал, что скорость падающего тела зависит от его веса, например, трехфунтовый шар будет падать втрое быстрее, чем однофунтовый. Авторитет Аристотеля был настолько велик, что никто не интересовался, как он пришел к этому выводу, а тем более никто не осмеливался опровергать его. И вот молодой профессор Пизанского университета Галилео Галилей решил заняться проверкой выводов Аристотеля. Как говорит легенда, ему пришлось, бросая пушечное ядро и маленькую пульку с высоты башни в Пизе, наглядно доказать свое утверждение, что все тела падают с одинаковой скоростью. Мы можем с полным правом после опытов на Пизанской башне назвать Галилея подлинным отцом экспериментальной физики.

Остановимся на опытах Галилея несколько подробнее ввиду их принципиальной важности. Из формулы для пройденного пути s при равноускоренном движении с ускорением a при начальной скорости v_0 мы имеем:

$$s = v_0 t + at^2/2.$$

В опытах Галилея начальная скорость была равна нулю и время падения

$$t = (2s/a)^{1/2}.$$



Поскольку путь был один и тот же во всех случаях и равен высоте Пизанской башни, то значения времен t будут для разных тел одинаковыми, если ускорение a будет одинаковым. Оно совпадает с ускорением силы тяжести у поверхности Земли, равным

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2. \quad (7.1)$$

Введем наряду с инертной массой M , которая входит во второй закон динамики Ньютона и связана с ускорением a и силой F по формуле

$$a = F/M, \quad (7.2)$$

еще и гравитационную массу M_G и гравитационную силу F_G

$$F_G = M_G g. \quad (7.3)$$

Используя закон Ньютона для гравитационной силы $F_G = Ma$, получаем после сравнения этой формулы с (7.2) выражение:

$$a = (M_G/M)g. \quad (7.4)$$

Из формулы (7.4) мы видим, что только при условии $M_G = M$ все тела будут падать с одинаковым ускорением, т.е. $a = g$.

Чтобы сравнить массы M_G и M , рассмотрим движение гармонического маятника в виде грузика с инертной массой M , нитью длиной l и с наибольшим амплитудным отклонением x (по горизонтальной оси), связанным с максимальным отклонением нити от вертикали углом θ (рис. 87 а, б). На грузик действуют две силы: во-первых, сила тяжести $F_G = gM_G$ и сила реакции нити T . Результирующая сила равна их векторной сумме (рис. 87б):

$$f = F_G + T.$$

Треугольник сил на рис. 87б подобен треугольнику, показанному на рис. 87а. Поэтому из подобия треугольников:

$$f/F_G = x/l,$$

но $f = Ma$, $F_G = gM_G$. Тогда:

$$a = (M_G/M)(g/l)x.$$

Из теории колебаний маятника для периода его колебания τ имеем

$$a/x = 4\pi^2/\tau^2, \quad (7.5)$$

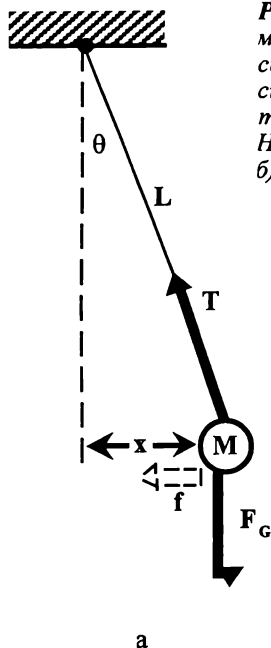
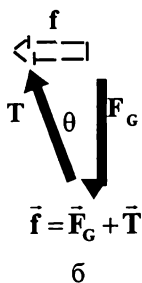


Рис. 87. Схема колебаний простого гармонического маятника в виде грузика массы M , подвешенного на нити длиной L . T — сила натяжения нити; F_G — сила тяжести; f — результирующая сила. На рисунке: а) общий вид маятника; б) треугольник сил.



откуда

$$\tau = 2\pi(l/g)^{1/2} (M/M_G)^{1/2}. \quad (7.6)$$

Выбирая различные грузики для маятника с различными массами M , мы получаем различные периоды колебаний по формуле (7.6). В настоящее время отношение M/M_G измерено для разных веществ с очень высокой точностью, и оно оказалось равным единице. Таким образом, инертная и гравитационная массы полностью совпали. Этот вывод является основой для теории гравитации Эйнштейна и носит название *принципа эквивалентности инертной и тяготеющей масс*.

Результат опытов Галилея был также проверен в последние годы. Так, например, физик из МГУ В.Б. Брагинский в 1971 году определил с большой точностью, что все тела действительно падают одинаково, т.е. он показал, что принцип эквивалентности ($M = M_G$) строго выполняется.



Гравитационная сила, действующая со стороны Земли на различные тела, локально не отличима от любых других силовых действий, искусственно создающих ускорение. Так, если заключить наблюдателя в закрытую кабину, то он не сможет сказать, стоит ли он неподвижно на поверхности Земли или движется вверх с ускорением g . Аналогичное происходит с имитацией гравитационной силы с помощью ускорения, которое можно использовать для компенсации тяготения. Именно это происходит в системе, которой предоставлена возможность свободно падать, например, в лифте, у которого оборвались канаты. Вычислим вес тела в лифте, который движется вниз с ускорением a (направление вниз при этом считается положительным). Сила по второму закону динамики Ньютона равна:

$$f = Ma.$$

Но одновременно она равна разности между силой тяготения на поверхности Земли F_G и весом тела в движущемся лифте с ускорением a , т.е. F_a . Тогда:

$$f = F_G - F_a = Ma \text{ или}$$

$$F_a = F_G - Ma = M(g - a).$$

Таким образом, как только лифт начнет двигаться, вес тела с массой M уменьшается и при его свободном падении, когда для ускорений наступит равество $g = a$, $F_a = 0$, т.е. достигается состояние *невесомости*, возникающее в свободно падающем лифте.

Заметим, что принцип эквивалентности верен только локально. Поэтому такого типа опыты осуществляются в закрытых помещениях (кабинах, лифтах). Если же производить подобные наблюдения в больших областях пространства, например, когда космонавт смотрит в окно своей кабины, он отметит наличие поля тяготения.

Тяготение, как мы уже говорили, действует и на свет, поскольку в механике теории относительности имеет место соотношение между массой и энергией $E = Mc^2$. Т.к. свет, обладая энергией, имеет и массу, он отклоняется под действием тяготения, двигаясь около Солнца, как мы уже показывали на *рис. 84*. Этот эффект детально наблюдал английский физик-астроном Эддингтон в 1909 году во время солнечного затмения.



В ходе приведенных здесь соображений о тяготении Эйнштейн пришел к выводу, что структуру пространства и времени, воплощенную в принципах специальной теории относительности, нельзя отделять от тяготения. И он предпринял вторую смелую попытку, построив новую теорию тяготения, отличную от ньютоновской. Ньютон предполагал, что сила тяготения равна:

$$F_G = GM_1M_2/R^2$$

и считал, что эта сила распространяется в пространстве мгновенно. Эйнштейн же хотел органически включить принцип эквивалентности тяготеющей и инертной масс, а также все, что давал его специальный принцип относительности, в фундамент новой теории тяготения.

Первое изменение предыдущих выводов специального принципа относительности касалось характера мировых линий в пространстве Минковского на плоскости x, ict . Там мировые линии изображались для движущихся частиц прямыми линиями внутри светового конуса. При наличии гравитации, как показал Эйнштейн, мировые линии будут искривляться, т.е. гравитация вносит кривизну в пространство-время. Мы можем только локально выбрать такую систему отсчета, где в некоей весьма малой ограниченной части искривленного пространства-времени мировые линии, вернее, их небольшие участки будут приближенно выпрямляться, что соответствует свободно падающей системе. Таким образом, инерциальная система отсчета, с которой мы имели дело раньше, теперь заменяется свободно падающей, и она здесь уже будет привилегированной.

Пространственно-временная диаграмма, описывающая более общую, т.е. более протяженную область, чем «свободно падающий ящик», должна отражать кривизну мировых линий. Здесь полезно сравнить кривизну поверхности сферической Земли и обычные плоские географические карты ее поверхности в типичном географическом атласе (проекция Меркатора), которые отличаются от изображения поверхности Земли на глобусе. На его поверхности геометрия Евклида не выполняется и наше пространство-время при действии гравитации тоже оказывается искривленным, только не в двух, а в трех измерениях. Эйнштейн высказал революционное предположение, что следует связать геометрические свойства искривленного пространства с физическими свой-



ствами тяготения. На этом пути он и получил свои уравнения гравитационного поля, которые оказались довольно сложными.

Пока известно только несколько решений уравнений эйнштейновской теории тяготения. Укажем, что смысл теории заключается в том, что траектории всех свободно движущихся тел одинаково искривляются, так как они двигаются с одинаковым ускорением. Это ускорение и является тем общим свойством пространства, которое лежит в основе тяготения.

Назовем имена тех ученых, которые нашли решения уравнений тяготения в теории Эйнштейна.

В 1906 году астроном К. Шварцшильд получил первое решение уравнений Эйнштейна для сферической массы, окруженной пустым пространством, мало отличающееся от ньютоновских результатов. Из него следовало, что в теории тяготения Эйнштейна планеты двигаются не просто по неподвижным орбитам в виде эллипсов, а сами орбиты еще прецессируют (т.е. вращаются) в своей плоскости движения, но эффект оказался очень малым, поэтому его и не замечали раньше. Как показали точные астрономические наблюдения, даже в случае ближайшей к Солнцу планеты Меркурия, для которого эффект наибольший, он составлял всего лишь 43 угловых секунд за столетие, и опыт блестяще подтвердил этот принципиальный вывод теории Эйнштейна.

Такие же малые поправки были получены и для хода часов в поле тяготения. Как и следовало ожидать, релятивистская теория тяготения предсказывала, что все часы в поле тяготения должны замедлять свой ход. Любопытно, что двое совершенно одинаковых по конструкции часов, расположенные по высоте у поверхности Земли с расстоянием друг от друга на один метр, будут идти неодинаково. Нижние часы будут отставать от верхних на 10^{-16} секунды, что, конечно, далеко за пределами возможных измерений.

Другим следствием теории гравитации Эйнштейна является то, что поскольку свет имеет инертную массу, то он теряет энергию на преодоление гравитационного взаимодействия от испускающего его массивного источника. Потеря энергии светом приводит к увеличению его длины волны или уменьшению частоты. Данный эффект называется *гравитационным красным смещением*. Он наблюдается в спектрах света, испущенного Солнцем и звездами. Точно так же часы на Солнце идут медленнее, чем на Земле, из-за



разности масс этих двух небесных тел. Чтобы измерить столь малые эффекты, надо было получить эталоны частоты, и впервые такие эталоны были созданы в 1960 году. Они работают на основе испускания фотонов радиоактивными атомными ядрами.

Однако теория тяготения Эйнштейна предсказывает и большие эффекты. Воспользуемся методом размерностей. Из трех мировых констант, входящих в теорию гравитации: скорости света c , массы M и гравитационной постоянной G можно образовать только одним способом величину размерности длины. Она была впервые получена Шварцшильдом и равна $R_G = 2GM/c^2$. Поэтому ее называют *радиусом Шварцшильда*, или просто *гравитационным радиусом*. Космический объект, возникающий в результате сжатия тела гравитационными силами до размеров сферы с радиусом, меньшим R_G , получил название *черной дыры*. Такие космические объекты втягивают в себя все, что хочет «убежать» от них, в том числе и свет.

Сам термин «черная дыра» появился в науке недавно — его ввел в обиход американский физик, занимающийся космологией, Д. Уиллер в 1969 году. Предсказание о существовании подобных образований было сделано почти 200 лет тому назад Митчелом, школьным учителем из английского города Кембриджа. Он представил в Королевское общество в Лондон доклад, в котором высказал идею о том, что массивная звезда создает столь большое поле тяготения, в результате чего свет, который тогда по Ньютону считали состоящим из летящих световых частиц, не сможет вылететь за пределы этого поля и будет втянут обратно в звезду. Автор считал, что таких звезд довольно много, мы их хотя и не видим, но должны ощущать по гравитационному действию. Аналогичные идеи примерно в то же время, независимо, высказывал и знаменитый французский ученый Лаплас.

Черные дыры в современной теории тяготения Эйнштейна вполне могут образовываться в результате эволюционного развития звезд. Так, черной дырой может стать звезда, в недрах которой угасли все термоядерные источники энергии. Повторяем, основным свойством черной дыры является то, что все сигналы от света и микрочастиц, которые создаются внутри нее, не могут выйти наружу.

Приведем наглядную картину сферического сжатия или *коллапса* звезды. Он может быть изображен на пространст-



венно-временной диаграмме, где две из трех пространственных координатных осей направлены во взаимно перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости x, y , а временная ось ict направлена вертикально вверх. Звезда, имея вначале радиус R больше гравитационного радиуса $R > R_G$, не сжимается, т.е. не коллапсирует до тех пор, пока ее гравитационное поле не становится настолько сильным, что свет не может испускаться ею, т.е. до образования так называемого *горизонта событий*. Вещество звезды может вообще коллапсировать до сингулярности, т.е. до нулевого объема и бесконечной плотности, когда все законы физики теряют свою силу. Распространение световых сигналов из различных точек указано на чертеже (рис. 88) световыми конусами. Свет, испущенный из точек, более близких к звезде, больше смещается по направлению к ней, чем свет, испущенный из более удаленных точек.

Английские физики С. Хокинг и Р. Пенроуз показали, что если просчитать механизм движения не неподвижных, а вращающихся черных дыр, то они уже оказываются не столь черными и от них можно получать информацию. В частности, частица вблизи вращающейся черной дыры недалеко от горизонта ее событий может делиться на две микрочастицы так, что одна из образовавшихся микрочастиц падает в дыру, а другая удаляется на бесконечно большое расстояние, обладая большей массой и энергией, чем те, которыми обладала исходная микрочастица. Таким образом, мы получили не только информацию о существовании черной дыры, но и добились того, что вращательная энергия дыры частично уносится этой второй микрочастицей.

Остановимся еще на одном важном не до конца решенном вопросе, связанном с теорией тяготения. Специальная и общая теории относительности установили общий принцип, что абсолютная скорость не может быть измерена. Что же касается ускорения, то согласно современной теории тяготения, абсолютное ускорение существует. Его можно измерить с помощью прибора *акселерометра*, причем в качестве простейшего такого прибора можно использовать пружину с грузом на конце. Если упругость пружины неизменна и масса известна, то величина ускорения измеряется по натяжению пружины. Имея несколько наблюдателей, двигающихся ускоренно друг относительно друга, среди бесконечного числа возможных систем отсчета, мы найдем такую, в которой



Рис. 88. Сферический гравитационный коллапс звезды, изображенный на пространственно-временной диаграмме. Когда радиус звезды достигает гравитационного радиуса R_G , то световые конусы целиком направлены внутрь черной дыры.

ускорение окажется равным нулю, – инерциальную. Еще Ньютон указывал, что его законы механики и всемирного тяготения справедливы только в инерциальной системе отсчета.

Представление об абсолютной инерциальной системе отсчета оспаривалось некоторыми философами, в их числе был философ и физик Эрнест Мах. Он предположил, что в общем случае ускорение не абсолютно, а определяется распределением вещества во Вселенной. Согласно принципу



Маха, если бы распределение вещества во Вселенной внезапно изменилось, то изменилась и величина ускорения, и система, бывшая до того инерциальной, с этого момента могла бы не оказаться таковой. Мах предполагал, что величина инертной массы любого тела определяется всем остальным веществом Вселенной, но пока принцип Маха является спорным и не проверен экспериментально.

В теории гравитации Эйнштейна есть также предсказание о существовании *гравитационных волн*, т.е. о волновом характере распространения гравитационного взаимодействия. Если воспользоваться квантовыми представлениями, то оно распространяется со скоростью света с помощью своеобразных квантов такого поля – *гравитонов*. Эта проблема пока остается нерешенной из-за отсутствия, во-первых, сколько-нибудь разработанной квантовой теории гравитации и, во-вторых, из-за отсутствия прямых экспериментов, которые бы доказывали существование гравитонов.

Однако в астрофизике есть некоторые любопытные косвенные указания, связанные с открытием особых объектов в Космосе в июле 1967 года в Кембридже группой ученых, руководимой Э. Хьюишем, которые стали называть *пульсарами*. Несколько позже Д. Белл обнаружила, что от этих объектов исходят периодические радиоимпульсы. Отсюда и пошло название пульсаров, от английского слова pulsar – импульс. Быстрые вариации – «мерцания» радиосигналов – стали подвергаться детальному изучению. Было открыто большое число таких источников радиоизлучения, которые расположены в различных местах нашей Галактики. Их расстояния от Земли лежат в пределах от 200 до 7000 световых лет. В конце концов, после долгих споров астрофизики – теоретики и экспериментаторы – склонились к мнению, что обнаруженные радиоисточники – пульсары – не что иное, как быстро вращающиеся *нейтронные звезды*.

Нейтронная звезда – один из этапов в звездной эволюции. Мы не имеем возможности подробно останавливаться на теории образования нейтронных звезд, только укажем, что при гравитационном сжатии звезды в некий момент масса системы *протон + электрон* становится больше массы покоя нейтрона и энергетически выгоднее перейти к нейтронному состоянию вещества. Нейтронные звезды являются источниками очень сильных магнитных полей с напряженностями до $\sim 10^{12}$ Эрстед на их поверхности. Ось вращения



нейтронной звезды, как и у Земли, не совпадает с магнитной осью, соединяющей северный и южный магнитные полюса. Поэтому при вращении нейтронной звезды из нее вылетают электроны, которые ускоряются гигантским магнитным полем звезды и становятся источниками наблюдаемого и периодически меняющегося радиоизлучения, а также излучений в других диапазонах частот. Нейтронная звезда по размерам очень компактное тело. Его масса близка к массе Солнца, но радиус нейтронных звезд всего порядка 20 километров. Поэтому плотность вещества в них колоссальная и достигает 5×10^{14} г/см³, что сравнимо с плотностью нуклонов внутри атомных ядер. Вращение нейтронных звезд происходит с очень стабильными периодами, которые чрезвычайно медленно уменьшаются со временем.

Два американских ученых Джо Тейлор и Рассел Халс в США в 1974 году открыли излучение *двойного пульсара*, в нем два таких объекта вращаются вокруг их общего центра тяжести. Эта система стала своеобразной физической космической лабораторией вне пределов Солнечной системы. Благодаря большим массам данных объектов системы можно было бы наблюдать тонкие эффекты, предсказываемые теорией гравитации Эйнштейна и трудно наблюдаемые в пределах Земли и Солнечной системы. В частности, по уменьшению периода вращения двойного пульсара можно судить о потере его энергии благодаря излучению гравитационных волн, т.е. энергии, уносимой гравитонами. К сожалению, из-за большой удаленности этих источников излучения мы пока не можем наблюдать гравитоны на Земле. Однако теория позволяет с большой точностью (до 0,05%) предсказать уменьшение периода вращения двойного пульсара из-за гравитационного излучения. На *рис. 89* показано уменьшение некой величины (орбитального фазового сдвига), связанное с уменьшением периода импульсов радиоизлучения двойного пульсара со временем за период с 1975 по 1992 гг., которое показывает блестящее совпадение с опытными данными. Тейлор и Халс за свои исследования, доказавшие, хотя и косвенно, существование гравитонов, получили в 1993 году Нобелевскую премию по физике.

При создании в 1915 году общей теории относительности А.Эйнштейн сразу же указал на три экспериментальных эффекта, которые могли бы служить ей опытной проверкой: гравитационное смещение спектральных линий, отклонение



световых лучей в поле тяготения Солнца и смещение перигелия Меркурия. Все они наблюдались так, как это предсказывала теория тяготения Эйнштейна, однако точность экспериментов была весьма невысокой. Например, при измерении смещений спектральных линий погрешность измерений составляла 1%. Только в 1979 году, как указывает В.Л. Гинзбург, были опубликованы результаты такого рода измерений, которые совпадали с предсказаниями теории с ошибкой около 0,01%.

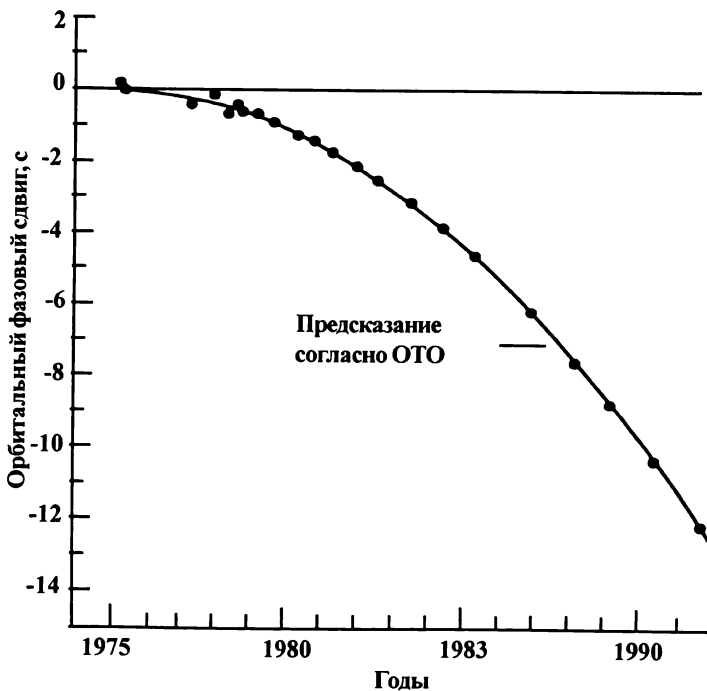


Рис. 89. Влияние уменьшения орбитального периода на фазу двойного пульсара. Сплошная линия соответствует предсказанию теории тяготения Эйнштейна для измеренных значений масс компонент двойного пульсара. Точками нанесены данные наблюдений.



Отклонение световых лучей в поле тяготения Солнца наблюдалось только во время его затмения, и погрешность соответствующих измерений была порядка 10%. Однако здесь, кроме световых лучей, можно воспользоваться эффектом отклонения для радиоволн и использовать радиолокационные методы, причем снизить погрешность до 0,1%.

Что касается эффекта смещения перигелия Меркурия, то он измерен с погрешностью в 1%.

Итак, сейчас можно утверждать, что даже в случае слабых гравитационных полей общая теория относительности проверена в лучшем случае с погрешностью порядка 0,1%, для современной физики такая точность считается весьма невысокой.

Трудности с опытной проверкой общей теории относительности связаны с малостью эффектов, доступных наблюдению на Земле и в пределах Солнечной системы. Хотя можно надеяться, что, например, техника межпланетных полетов ракет может уменьшить соответствующие погрешности до 0,01%.

Все же проблема дальнейшей экспериментальной проверки общей теории относительности, особенно в сильных полях гравитации, остается важной актуальной задачей современной физики. Здесь многое может дать дальнейшее более детальное изучение пульсаров, а также обнаружение черных дыр.



2.8. Основные сведения о космологии. Красное смещение в спектрах звезд. Решение уравнений теории тяготения Фридманом и его модели эволюции Вселенной

Теперь перейдем к изложению кратких сведений о современной космологии, науки о происхождении и эволюции Земли, Солнца, звезд и всех галактик. Анализ пространства и времени нельзя считать полным, если не рассматривать пространство как всю Вселенную, а время – как историю ее эволюции. Описание структуры Вселенной состоит в представлении о том, что в основном это пустое пространство или, по современной терминологии, физический вакуум. Большая часть излучающего вещества сосредоточена в звездах, каждая звезда – подобие Солнца, но размеры, цвет, состав и этапы их эволюционного развития могут быть и весьма существенно другими.

Солнце с Землей и другими планетами Солнечной системы, видимые невооруженным глазом звезды и большинство звезд, наблюдаемых с помощью мощных телескопов, составляют огромную звездную систему – нашу Галактику. В ее состав входит не менее 100 миллиардов звезд различных типов. Общая их масса составляет величину порядка 10^{44} г, что равно примерно 10^{11} масс Солнца. Кроме того, в Галактику входят межзвездная пыль и газ, масса которых составляет примерно 5% от массы всех звезд.

Земному наблюдателю Галактика видится в виде Млечного пути. Существование последнего объясняется тем, что Солнце и его планеты находятся внутри основания Галактики, в ней концентрируется подавляющее большинство звезд. Это основание имеет форму линзы (Рис. 90) размером в поперечнике до 100 тысяч световых лет и толщиной в центральной части до 12 тысяч световых лет (такие меры длины употребляются в астрономии). Один световой год соответствует длине пути, который свет проходит за год со скоростью в 3×10^5 км/с. Поскольку в году 365,242 суток, то длина в световой год равна $9,46 \times 10^{12}$ км, т.е. почти десятку тысяч миллиардов километров. Кроме того, в астрономии еще ис-

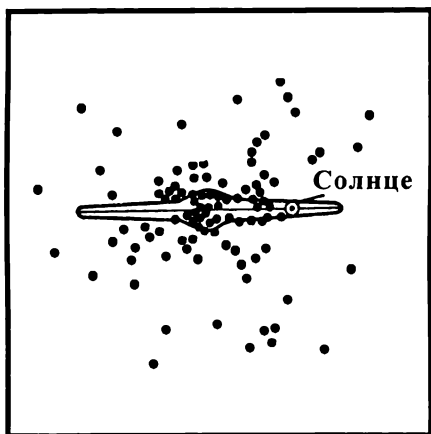
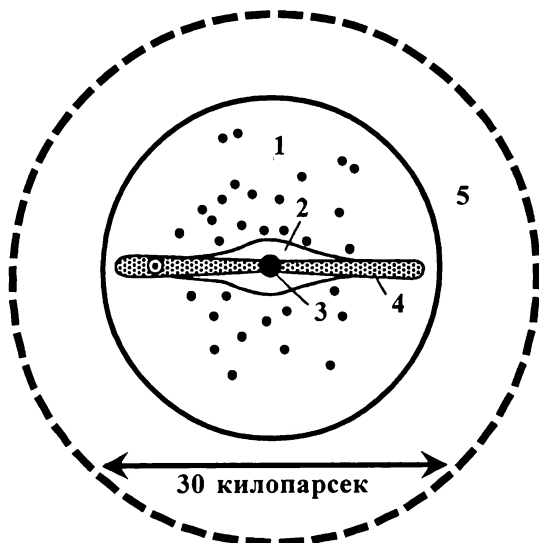


Рис. 90. Схема строения нашей Галактики. Точками показаны некоторые шаровые скопления. Положение Солнца показано буквой О. 1 – сферическая составляющая; 2 – диск; 3 – ядро; 4 – слой газопылевых облаков; 5 – корона. Размеры на рисунке условные: радиус короны в действительности в несколько раз больше радиуса диска.



пользуются две специальные единицы длины: парсек и *астрономическая единица длины* (а.е.д.), последняя равна величине большой полуоси эллиптической орбиты Земли вокруг Солнца, т.е. 149 597 870 км, а один парсек равен 206, 265 а.е.д. или 30×10^{12} км. Часто применяются и более крупные единицы длин: килопарсеки (к.пс), равные тысяче парсеков и мегапарсеки (м.пс), равные миллиону парсеков.

Выясним теперь, как в астрономии определяются расстояния до космических объектов. Заметим, что единого универсального метода определения этих расстояний не существует. По мере перехода от близких расстояний к более удаленным объектам одни методы заменяются другими. Так, среднее расстояние планет от Солнца в нашей Солнечной системе определяется по периодам обращения планет вокруг Солнца по третьему закону Кеплера, согласно которому квадраты периодов обращения двух планет вокруг Солнца относятся как кубы длин больших полуосей их орбит. В настоящее время используются также радиолокационные методы. В них расстояния определяются по запаздыванию отраженного радиосигнала при известной скорости его распространения. Чувствительность данного метода позволяет определять расстояния до ближайших космических объектов – Луны, Меркурия, Венеры, Юпитера и малых планет (например, Икара). Для космических объектов время запаздывания необычайно велико: если для Луны оно равно 2,5 секунды, то для Юпитера оно достигает часа.

Для звезд, поскольку они удалены намного больше от Земли, чем планеты солнечной системы, используются другие методы определения расстояний. В частности, для ближайших звезд используется явление *параллакса*, которое возникает вследствие движения Земли – суточного собственного вращения вокруг земной оси, годового из-за вращения Земли вокруг Солнца и, наконец, векового из-за движения всей Солнечной системы в Галактике.

Явление параллакса заключается в том, что, наблюдая звезду в разные времена суток или года, мы замечаем, что ближайшие звезды, хотя и немного, но все же заметно перемещаются на небесной сфере. Под небесной сферой понимают воображаемую вспомогательную сферу, на которую проектируются все небесные светила; она служит для решения различных астрономических задач. Положение светил на этой сфере определяется с помощью небесных по-



лярных координат с определенным способом выбранным полюсом. На рис. 91 показана так называемая горизонтальная система небесных координат, в которой основным кругом служит горизонт $NEASM$, полюсом – зенит Z . Для определения места светила проводят через него и зенит Z большой круг или вертикаль. Дуга на вертикали величина $Z\sigma$ от зенита Z до точки светила σ называется его *зенитным расстоянием*. Это и есть первая координата светила. Она может иметь любые значения от 0° (для зенита Z) и до 180° для надира Z' на горизонте.

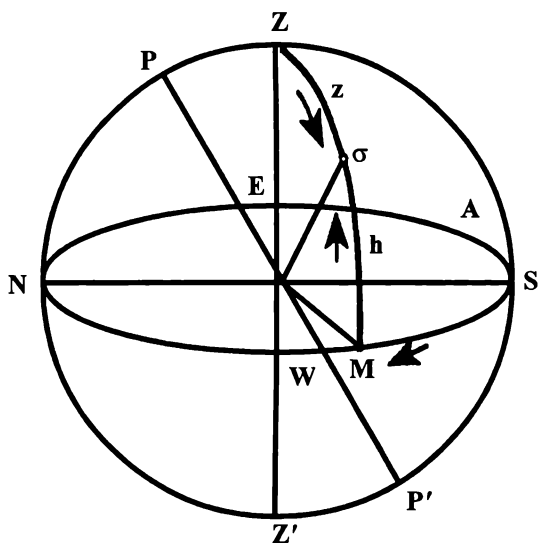


Рис. 91. Горизонтальная система небесных координат. Z – зенит; Z' – надир; $NEASMN$ – горизонт; zM – большой круг; σ – зенитное расстояние (первая координата); азимут $NEASM$ (вторая координата).

Вторая координата – азимут A – является дугой горизонта, которая отсчитывается по горизонту от северного полюса N до его пересечения с большим кругом, двигаясь по горизонту через восток E . Азимут A может принимать все значения от 0° до 360° . Так определяются положения светил на небесной сфере в начальный момент времени. Через полгода вследствие параллакса координаты светил изменятся,



причем величину их изменения можно измерить в угловых единицах. На *рис. 92* показано определение расстояния до звезды *A* по ее видимому годичному перемещению на небесной сфере, вызванному движением Земли вокруг Солнца. Здесь π – параллакс звезды *A*, *C* – Солнце, *З* – Земля (расстояние между ними равно одной а.е.д.). Из треугольника *ЗСА*, в котором известен угол π и базис – большая полуось земной орбиты, мы имеем:

$$\sin \pi \cong ЗС/ЗА \cong \text{а.е.д.}/R,$$

ввиду малости угла синус можно заменить углом, т.е. $\sin \pi \cong \pi$, и тогда расстояние до звезды *R* будет равно

$$R \cong \text{а.е.д.}/\pi.$$

Ближайшая к Солнечной системе звезда Проксима Центавра имеет параллакс в $0,762''$, т.е. расстояние равно $1,32$ пс или $4,3$ световых лет.

Для определения расстояний до более удаленных космических объектов служат другие методы, например, фотометрические, основанные на сравнении освещенности, создаваемой звездами на Земле, а для наиболее удаленных объектов пользуются явлением красного смещения в спектрах звезд.

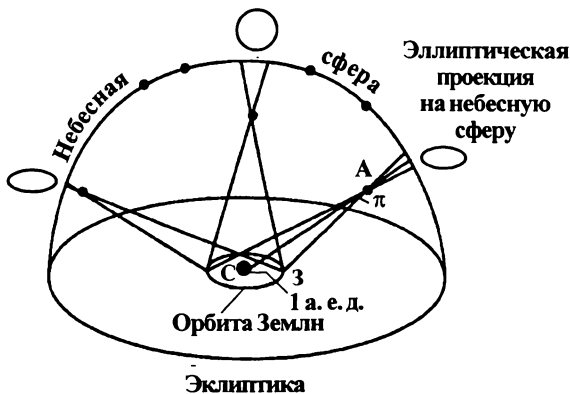


Рис. 92. Определение расстояния до звезды *A* по ее видимому годичному перемещению по небесной сфере, вызванному движением Земли по ее орбите вокруг Солнца. π – параллакс звезды *A*; *C* – Солнце; *З* – Земля.



На нашем небе мы прекрасно видим Солнце, Луну и планеты в отраженном солнечном свете. Люди с хорошим зрением могут увидеть на ясном ночном небе даже некоторые туманности, которые представляют собой другие галактики, отличные от нашей. Ближайшие к нам галактики – это Большие и Малые Магеллановы облака с расстоянием от Земли в 76 000 и 83 000 световых лет. Другая видимая невооруженным глазом галактика – туманность Андромеды, удаленная на 1,5 миллиона световых лет. Такие гигантские по нашим земным масштабам космические образования являются лишь «песчинками» Вселенной. Они разбросаны более или менее беспорядочно и собираются в отдельные группы, своего рода «молекулы» Космоса. В большие телескопы можно наблюдать и гораздо более удаленные галактики, свет от которых проходит миллиарды световых лет. Например, с помощью мощного телескопа, установленного на горе Пальмер в США, можно наблюдать до десяти миллиардов галактик.

Совокупность галактик всех типов образуют *Метагалактику*. Любопытно, что по мере перехода от отдельных галактик к системам галактик все более высокой степени организации (группы скоплений, сверхскоплений и т.д.) пространственное распределение вещества во Вселенной становится все более равномерным, массы вещества в объемах, намного превышающих сверхскопления, получаются сравнимыми друг с другом, а средняя плотность вещества по всем направлениям – одного порядка величины ($\sim 7 \times 10^{-30}$ г/см³). Такая однородность Вселенной еще больше подтверждается наблюдением так называемого *реликтового излучения*, которое оказывается по интенсивности одинаковым по всем направлениям и расстояниям.

Как показывают наблюдения оптических спектров звезд, химический состав вещества различных галактик такой же, как и на Земле. Однако распространенность химических элементов на Земле и в Космосе различна. На *рис. 93* показано наблюдаемое распределение химических элементов во Вселенной в зависимости от номера химического элемента *Z* в Периодической системе Менделеева.

Теоретическое истолкование данной кривой есть одна из важнейших задач ядерной астрофизики. Мы сразу видим, что водород преобладает над всеми другими химическими элементами. Это свидетельствует о том, что он является ис-



ходным элементом для ядерных процессов синтеза более тяжелых химических элементов. Ниже мы рассмотрим ядерные реакции, которые происходят в недрах звезд, и тогда вернемся к анализу кривой *рис. 93*.

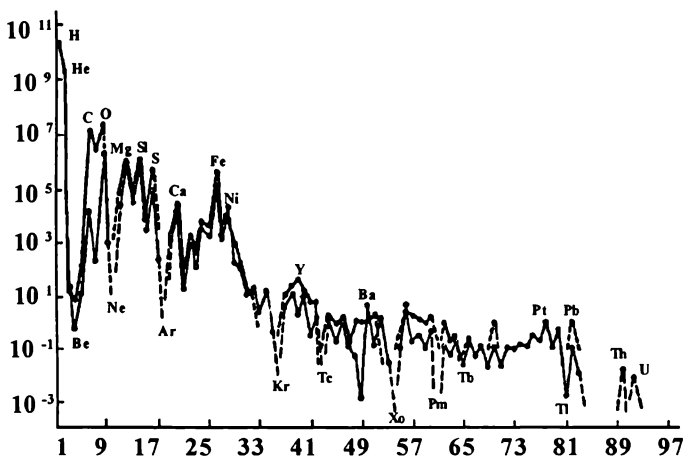


Рис. 93. Распространение химических элементов как функция их атомного веса. Штриховая кривая – обойденные атомные ядра.

Эпохальным открытием в космической физике явилось обнаружение в 1929 году астрономом Хабблом так называемого *красного смещения*, т.е. смещения частот спектральных линий в спектрах звезд по сравнению с частотами соответствующих линий, снятых в эталонных измерениях в земных условиях. Хаббл обнаружил его, изучая состав излучения удаленных звезд, причем такое смещение возрастало пропорционально увеличению расстояния от Земли до звезды. Хаббл понял, что эффект смещения есть просто эффект Доплера, заключающийся в сдвиге частоты света при удалении его источника от наблюдателя. Из открытия Хаббла следовал однозначный вывод, что Вселенная находится в непрерывном процессе расширения, что совершенно изменило всю космологию. Вселенная оказалась не застывшей системой, а образованием, имеющим историю своего развития – начало, а возможно, и конец. Современная космология считает, что расширяющаяся Вселенная подчиняется тем же законам динамики, что и на Земле: гравитационные силы ответственны за движение Вселенной. Поэтому теория тяготения Эйн-



штейна и должна решать проблему эволюции Космоса. Отметим, что Эйнштейн еще до открытия Хаббла построил статическую модель Вселенной. Его модель конечна, но не имеет границ, подобно поверхности сферы, а если нам захочется знать, что находится «снаружи» Вселенной, то этого «снаружи» вообще нет.

Первым ученым, кто применил теорию тяготения Эйнштейна к меняющимся вселенным, был русский математик А.А. Фридман из Петербурга. Он еще до открытия Хаббла в 1922 году опубликовал работу, которая до настоящего времени является главной теоретической базой при анализе почти всех космологических проблем современности. Ко времени появления в печати работы, описывающей однородное изотропное движение вещества Метагалактики, не было известно, что такое движение, такая нестационарность Метагалактики существует в действительности. Поэтому вначале большинство ученых, да и сам Фридман, сомневались в пригодности его решений для описания свойств реальной Вселенной. Однако открытие Хаббла стало блестящим экспериментальным подтверждением теоретического предсказания Фридмана, поскольку доказательство доплеровской природы красного смещения убедительно доказывало существование процесса расширения Метагалактики.

По Фридману, из-за однородности пространства Вселенной единственно возможное его изменение – расширение или сжатие, одинаковое повсюду, причем расширение Вселенной означает расширение пространства не «наружу», в некую прежде пустую область, а именно расширение самого пространства. Напомним, что есть различие в понимании пространства и времени в ньютоновской механике и в механике теории относительности Эйнштейна. Ньютон рассматривал пространство как внешнюю арену, в которой разыгрываются все процессы динамики, пространство и время у него не связаны друг с другом и с материей. Уже в специальной теории относительности Эйнштейна была выяснена глубокая связь между пространством и временем, которые были слиты в единый четырехмерный мир Минковского. Согласно теории тяготения Эйнштейна, пространство-время – это не «арена», где разыгрываются все процессы движения материи, а активный «участник» таких процессов. Распределение и движение материи изменяют и геометрические свойства пространства-времени и, с другой стороны, сами зависят от них.



Напомним, что Допплер-эффект заключается в изменении частоты колебаний при относительном движении источника и приемника волн тех или иных колебаний. Когда оба объекта удаляются друг от друга, наблюдатель фиксирует уменьшение частоты колебаний или увеличение длины их волн. Наоборот, при движении источника и наблюдателя навстречу друг к другу частота воспринимаемых последним колебаний возрастает, а длина волны убывает. Увеличение длины волны или уменьшение частоты обычно принято называть красным смещением, а увеличение частоты или уменьшение длины волны – фиолетовым смещением. Величина изменения длины волны λ_0 при красном смещении дается формулой специальной теории относительности, которую мы приводим без вывода:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + (v/c) \times \cos \varphi] / [1 - (v^2/c^2)]^{1/2}.$$

При очень малых отношениях относительной скорости источника и приемника $v/c \ll 1$ и при $\varphi = 0$ (где φ – угол между вектором относительной скорости и направлением источник-приемник) мы имеем классический результат:

$$\Delta\lambda/\lambda = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0 = v/c.$$

При $\varphi = 90^\circ$, т.е. если при движении источника его расстояние от наблюдателя не будет меняться, длина волны все равно растёт, наблюдается так называемый поперечный Допплер-эффект.

Подчеркнем еще раз, что из-за однородности пространства единственно возможное его изменение – это изменение масштабов, т.е. расширение или сжатие, одинаковые повсюду. На *рис. 94* показаны изменения масштабного фактора R со временем, которые были получены при фридмановском решении уравнений Эйнштейна, причем представлены три возможные модели эволюции Вселенной по Фридману. Важной чертой моделей является постоянное *уменьшение скорости* расширения со временем: все три кривые графика постепенно наклоняются к оси абсцисс. Согласно любой из указанных трех моделей, в некоторый момент времени $t = 0$ в прошлом масштабный фактор R должен был равняться нулю. Это выражает тот физический факт, что галактики, которые мы сейчас видим разбегающимися друг от друга, когда-то в далеком прошлом должны были быть плотно сжаты друг с

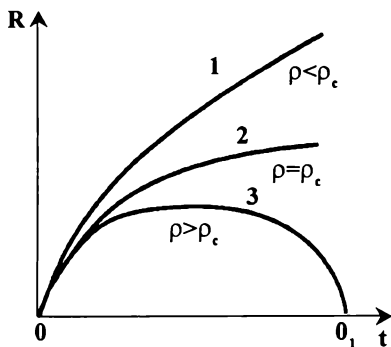


Рис. 94. Космологические модели по Фридману. В моделях 1 и 2 расширение Вселенной продолжается бесконечно, а в модели 3 оно замедляется, останавливается и Вселенная начинает сжиматься в сингулярную точку, т. е. коллапсирует в «ничто».

другом вместе. Данные графики позволяют нам предсказать и будущее Вселенной.

Модели 1 и 2 соответствуют постоянному космологическому расширению Вселенной, которое продолжается вечно. Почему так происходит, нетрудно понять: в модели 1 плотность вещества ρ мала настолько, что хотя гравитация несколько замедляет расширение, через некоторое время оно по существу становится свободным – галактики как бы разбегаются, вырываясь из гравитационного «плена». В модели 2 плотность вещества ρ еще недостаточно велика, и расширение продолжается, но с большим замедлением, чем в модели 1. Напротив, в модели 3 плотность вещества ρ уже достаточна, чтобы при некоторой ее величине расширение масштабного фактора R сменилось на сжатие и галактики вновь стали бы сближаться. Такая Вселенная «проваливается» сама в себя, и ее существование заканчивается в условиях, подобных тем, которые были в начале расширения.

Важно отметить, что все три модели указывают на то, что в прошлом Вселенная была очень сжатой и в некоторый начальный момент времени она имела масштабный фактор $R = 0$. Момент $t = 0$, согласно моделям Фридмана, соответствует началу расширения. Точное определение времени начала до некоторой степени зависит от того, какая из указанных моделей выбирается для нашей Метагалактики. Измеряя, с какой скоростью в данный момент удаляются от нас галактики, находящиеся на известных расстояниях, можно вычислить скорость расширения, которая позволит установить современное положение Вселенной на кривых рис. 94.



Из графика видно, что в прошлом поведение всех трех фридмановских моделей было очень сходным. Поэтому можно определить момент начала, где $R = 0$: оно находится в интервале 10–20 миллиардов лет тому назад.

Поскольку множитель R определяет масштаб расстояний между любыми двумя точками, и в том числе между двумя галактиками, то в момент, соответствующий $R = 0$, все галактики должны находиться в одной точке пространства. Следовательно, все вещество наблюдаемой Вселенной, из которого сейчас состоят все галактики с их миллиардами звезд, пылью и газом, было в тот момент сжато в одну математическую точку, а плотность вещества была *бесконечной*, в современной теории такая точка носит название *сингулярности* (особенности). Наличие сингулярности в моделях Фридмана свидетельствует о том, что на достаточно раннем этапе расширения Вселенной общая теория относительности, а возможно, и пространственно-временное описание мира теряют свою силу.

Если пространство-время при сингулярности не может существовать и только возникает впервые, то момент с нулевым масштабным фактором представляет собой «сотворение», т.е. рождение Вселенной. Что было до этого, неясно, да и можно ли задавать себе такой вопрос вообще?



2.9. Современные представления об эволюции Вселенной. Теория Большого взрыва и горячей Вселенной

Прежде чем рассматривать модель Большого взрыва, рассмотрим примерный временной масштаб событий в нашем мире, который приведен на *рис. 95*.

Огромный скачок в познании Космоса, произошедший за последние десятилетия, объясняется главным образом глубоким внедрением в сферу наук о природе ведущей науки современного естествознания – физики. Современные астрономия и астрофизика – тесно связанные между собой науки. Все космические явления, как в ближайшем околоземном пространстве, так и в глубинах Вселенной, объясняются на основе успехов современной физики, каждая новая область физики – атомная, ядерная и субъядерная, физика материальных квантованных полей и т.д. – немедленно находит себе широкое применение в изучении Космоса, поскольку физические законы на Земле такие же, как и в Космосе. Так мы изучаем Солнечную систему, звезды, нашу Галактику, другие галактики, наконец, приходим к учению о Вселенной как целом, основанному на изучении Метагалактики, т.е. той части Вселенной, которая охвачена астрономическими наблюдениями. Теоретическим фундаментом космологии являются основные физические теории и прежде всего теория тяготения Эйнштейна. Эмпирические сведения доставляются, главным образом, внегалактической астрономией, а выводы и обобщения имеют важное общенаучное и философское значение.

До 1965 года лишь *два* важнейших экспериментальных факта подтверждали наши представления об однородности и изотропности Вселенной. Во-первых, факт изотропного характера разбегающихся скоплений галактик и, во-вторых, их довольно равномерное распределение в пространстве. В 1965 году американскими физиками Пензиасом и Вильсоном было сделано открытие третьего важнейшего опытного факта – *реликтового излучения*. Это радиоизлучение оказалось равновесным, т.е. распределение энергии в нем соответствовало закону излучения абсолютно черного тела (*рис. 96*) при температуре, равной 2,7 К. Возможность существования в Метагалактике такого излучения была предсказана теоре-



Объект	Продолжительность существования, годы
Технологическая культура	100
Цивилизация	5 тыс.
Человечество	5 млн.
Млекопитающие	200 млн.
Жизнь на Земле	3 млрд.
Земля	4,2 млрд.
Вселенная	10 – 20 млрд.

Расширение или новый коллапс

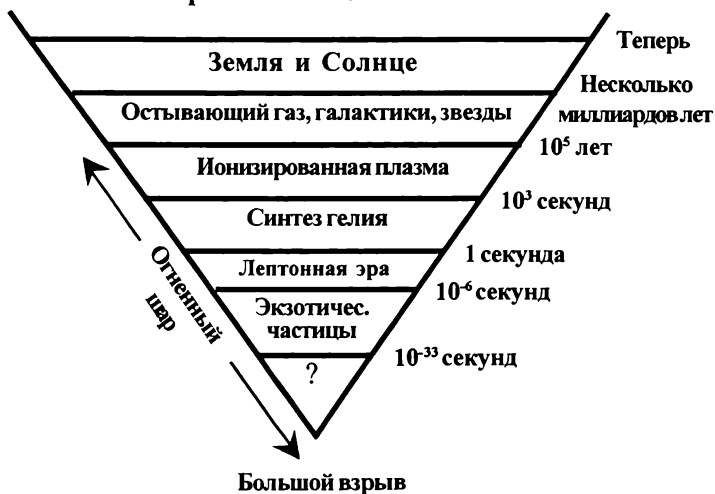


Рис. 95. История Вселенной: верхняя часть таблицы – взгляд из нашего времени в прошлое; нижняя часть таблицы – история от Большого взрыва до наших дней.

тически еще в 1946–1948 гг. русским физиком Г. Гамовым, жившим тогда в США. Он только ошибся численно, определив равновесную температуру излучения в 6 К. Все говорило о том, что обнаруженное излучение с длинами волн от 3 мм



до 50 см не может быть получено от звезд, галактик, внегалактических радиоисточников, оно может представлять собой только остывшее первоначальное излучение, возникшее при рождении Вселенной.

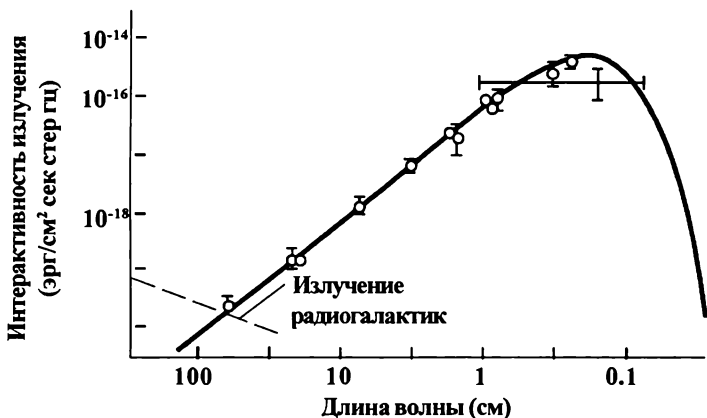


Рис. 96. Спектр реликтового излучения. Сплошная кривая – спектр абсолютно черного тела с температурой 2,7 К.

Таким образом, мы приходим к модели «большого взрыва», или «горячей Вселенной», которую теоретически предложил Гамов. На схематическом чертеже рис. 95 показана картина Большого взрыва из сингулярности (начальной точки) и следующие за ним первые этапы жизни Вселенной. Эта эволюция Вселенной может быть прослежена современной наукой от первых ничтожных долей секунды до нашего времени. Вне зависимости от того, как оценивать самые ранние стадии расширения Вселенной, для большинства космологов фридмановские модели являются основным рабочим аппаратом. Возможность проследить развитие Вселенной на протяжении первоначальных мгновений – бесспорно одно из самых величайших, захватывающих дух дерзаний, которые когда-либо предпринимались наукой. Поистине невероятно, что удастся осмыслить состояние Вселенной в возрасте, значительно меньшем одной секунды.

На первых этапах Большого взрыва Вселенная была очень горячей, так как находилась в очень сжатом состоянии.



Ее называют «первичным огненным шаром». В нем не могло существовать ни одной из структур, наблюдаемых сегодня во Вселенной – ни звезд, ни галактик. Даже атомы там должны были быть разделенными на части под действием колоссальных температур и давлений. Такой первичный огненный шар следует представлять себе как своеобразную жидкость, состоящую из сильно взаимодействующих микро-частиц различных типов, находящихся в тепловом равновесии. Некоторые космологи пытаются обсуждать состояние огненного шара во времена еще более ранние, чем одна микросекунда, но мы начнем рассмотрение эволюции Вселенной с того момента, когда температура составляла около триллиона градусов. Хотя по нашим масштабам одна миллионная секунды – очень краткий момент времени, по атомным масштабам он представляет собой довольно большой промежуток.

Итак, это была первая краткая эра бурной активности, когда произошло подавляющее большинство актов взаимодействия между экзотическими микрочастицами, многие из которых так и не удалось пока наблюдать в лабораториях физиков. Природа таких неведомых микрочастиц сейчас еще недостаточно ясна, однако к концу первой микросекунды огненный шар уже состоял только из знакомых нам микро-частиц, остальные уже все исчезли, распавшись. Следовательно, был в мире короткий миг, когда Вселенная была заполнена миллиардами миллиардов необычных микро-частиц. Затем он минул, и многие из этих микро-частиц, возможно, уже никогда не обнаружатся.

При быстром падении температуры ниже 10^{12} К огненный шар вступил в так называемый *лептонный период*, когда знакомые нам протоны, нейтроны и электроны, а вместе с ними мюоны, нейтрино и антинейтрино и электромагнитное излучение в виде гамма-квантов оказались перемешанными и находились в тепловом равновесии. Энергия излучения была столь высока, что могли рождаться электронно-позитронные пары. С понижением температуры исчезали сначала мюоны, а потом позитроны. Примерно через 0,1 секунды температура Вселенной упала до нескольких миллиардов градусов и тогда главную роль стали играть протоны, нейтроны и электроны.

Началась новая важная эра – *плазменная*. Температура снизилась настолько, что бешено носящиеся протоны и нейт-



роны начали объединяться, образуя атомные ядра изотопов водорода, гелия и других легких химических элементов. Как показывают детальные расчеты, почти четвертая часть всех протонов вошла в атомные ядра гелия и только незначительная часть – в атомные ядра дейтерия и лития. Таким образом, около 10% атомных ядер, выделившихся из огненного шара, составляют ядра атомов гелия, остальные представляют собой водородные ядра (отдельные протоны). Это просто удивительно соответствует наблюдаемому сейчас распространению названных легчайших химических элементов во Вселенной. Отсюда напрашивается вывод, что первичный огненный шар и есть одна из фабрик по синтезу химических элементов. Кроме того, указанное обстоятельство следует рассматривать как ценное подтверждение того, что процессы, происходившие в плазменную эру в реальной Вселенной, не слишком отличаются от описываемых моделью огненного шара в теории Фридмана.

Плазменная эра продолжалась 700 тысяч лет, после чего температура Вселенной опустилась до 4000 градусов, что несколько ниже температуры Солнца, и электроны начали захватываться атомными ядрами – возникали обычные атомы. Далее осуществилась возможность локальной конденсации вещества под действием гравитационного притяжения. Массы газа образовывали вихри, которые, скапливаясь, медленно сжимались, превращаясь в галактики, а затем и в звезды и планеты. Температура огненного шара продолжала падать вследствие непрекращавшегося космологического расширения. Теперь уже, по прошествии 10 миллиардов лет после большого взрыва, она составляла всего лишь 2,7 К, т.е. значительно меньше, чем температура жидкого воздуха. Как мы уже говорили, Пензиас и Вильсон в 1965 году обнаружили именно этот слабый, едва теплящийся огонек первичного огненного шара. Обнаружение фонового реликтового излучения следует рассматривать как одно из величайших открытий в науке о Космосе. Название «реликтовое излучение» предложил советский астрофизик И.С. Шкловский, за рубежом его чаще называют фоновым излучением. Этот реликт (т.е. память!) огненного рождения Вселенной более или менее свободно и беспрепятственно путешествует по Космосу от конца плазменной эры до наших дней. Реликтовое излучение падает на Землю со всех сторон. Оно имеет световые кванты с энергией $h\nu$ в две тысячи раз меньше энер-



гии квантов видимого света, но число квантов реликтового излучения огромно. На каждый атом во Вселенной их приходится 100 миллионов или 400 квантов в каждом см^3 мирового пространства. А само существование такого излучения подкрепляет нашу уверенность в правильности основных предположений модели большого взрыва.

Однако необходимо сказать, что гипотеза большого взрыва не является пока общепризнанной. Например, появление сингулярности с плотностью материи, равной бесконечности, по мнению многих ученых, в том числе и В.Л. Гинзбурга, указывает на какое-то неблагополучие, неприменимость или ограниченность теории. К сожалению, пока в рамках общей теории относительности освободиться от сингулярности не удалось. Может быть, создание квантовой теории тяготения поможет разрешить эту проблему. Отметим еще, что проблема сингулярности может существенно измениться, если существует в природе некая фундаментальная длина порядка 10^{-17} см, которая ограничивает возможности классической эволюции Вселенной.

Выясним теперь вопрос о возможной модели смерти Вселенной. Когда речь идет об асимметрии течения времени, большинство ученых вполне допускает существование в прошлом некоего момента, при котором возникли все объекты природы, ныне существующие. Но немногие задумываются о том, что может наступить такой момент в будущем, когда все природные тела придут к своему концу. Но с точки зрения физики Космоса, всякая эволюция обратима, и проблема наступления конца Вселенной приведет к тому, что может существовать крупномасштабное движение, которое вызовет обращение времени теперешнего хода развития. Прежде чем обсуждать гибель Вселенной, необходимо рассмотреть условия, необходимые для такой катастрофы.

В моделях Фридмана об эволюции Вселенной (Рис. 94) предполагается два варианта возможного будущего Вселенной. В модели 1 и 2 расширение Метагалактики продолжается вечно, а в модели 3 расширение на некотором этапе прекращается, после чего начинается сжатие. Если принять последнюю модель за действительность, то такое сжатие заканчивается уничтожением Вселенной в конечной сингулярной точке, тождественной начальной точке рождения Вселенной. Таким образом, Вселенная, конечная в пространстве, конечна и во времени — и, естественно, симметрична



во времени. Необходимое условие для наступления *коллапса* фактически аналогично критерию Шварцшильда (т.е. гравитационному радиусу при возникновении черной дыры). Если плотность массы во Вселенной достаточно велика, то коллапс становится неизбежным. Для осуществления сжатия необходимо знать два параметра: плотность материи и скорость замедления расширения Вселенной. Видимо, все же следует считать, что вопрос о том, будет ли Вселенная сжиматься, остается пока открытым.

Итак, если Вселенную ожидает коллапс, то она должна вернуться в сингулярную точку. Этот возврат очень медленный и должен длиться многие миллиарды лет. Крупномасштабные изменения Вселенной, происходящие на большей части периода сжатия, должны были бы сопровождаться почти незаметными с виду запаздываниями света, распространяющегося с конечной скоростью из удаленных ее областей. Наконец, проявилась бы общая картина «проваливания»: галактики начали бы медленно падать друг на друга и сталкиваться. Температура фонового теплового излучения по мере сжатия должна медленно расти за счет излучения звезд, и на поздних этапах она поднимется настолько, что звезды в конце концов испарятся. Тогда по мере все ускоряющегося разрушения вещества Вселенной началось бы быстрое и безжалостное сожжение всего на свете, а огненный шар возник снова, пройдя в обратном порядке все стадии описанной выше последовательности. Все кончилось бы падением Вселенной как целого в сингулярную точку, причем гравитация выступает гробовщиком Вселенной.

Альтернативные фридмановские модели 1 и 2 (Рис. 94) дают другую картину смерти Вселенной – замерзшую пустыню. При бесконечном продолжении расширения Вселенной полное термодинамическое равновесие не может быть достигнуто никогда. Когда запасы ядерного горючего будут исчерпаны, звезды потухнут или взорвутся, или сколлапсируют в черные дыры. Такой процесс займет миллиарды лет, но в конечном счете в этих моделях он гарантирован. При дальнейшем расширении вещества потухшие галактики станут невидимыми. Все будет остывать до фоновой температуры, когда в холодном, темном, пустом мире мало что может произойти. Лишь изредка какая-либо катастрофа, вроде столкновения двух нейтронных звезд или черных дыр на миг возродит активность материи, которая выльется во вспышку гравитационного излучения.

В науке мало столь гнетущих предсказаний, как эта мертвая пустыня.

Были предложены и другие модели, например, статическая модель, но она оказалась отвергнутой. Однако возможна модель с периодически повторяющимися циклами модели номер 3 по Фридману (рис. 97). В ней в конце каждого цикла расширения и последующего сжатия Вселенная должна попадать в сверхплотное сингулярное состояние, а затем снова совершать переход в следующий цикл расширения и сжатия, подобно первому. Указанный процесс может повторяться бесконечно, т.е. мы имеем дело с осциллирующей Вселенной. Тогда бы она не имела ни начала, ни конца, но катастрофические процессы, присходящие в сингулярных точках, уничтожали всю информацию о предыдущем цикле. В результате эволюция мира могла бы начинаться всякий раз по-новому в каждом цикле. Может быть, и законы физики после этих катастроф совсем бы изменились. Здесь возникает очень много дополнительных вопросов, например, как ведет себя энтропия или она вообще может отсутствовать и т.п.

Остановимся на двух вопросах, очень важных для нашего понимания учения о Космосе. Во-первых, необходимо выяснить вопрос о происхождении различных химических элементов в природе. И, во-вторых, познакомимся с так называемым *антропным принципом*, который возникает при попытке ответить на вопрос: почему Вселенная такая, что мы можем в ней жить?

Начнем с рассмотрения *первой* проблемы о происхождении химических элементов, для чего вернемся вновь к приведенному выше рис. 93, который дает кривую распространения химических элементов в зависимости от их атомного номера Z в Периодической таблице Менделеева. Приведем некоторые данные о процессах ядерного синтеза в звездах. Его часто называют «нуклеосинтезом», т.е. цепочкой ядерных реакций, ведущих к образованию атомных ядер тяжелых химических элементов из атомных ядер более легких элементов. Теория нуклеосинтеза стремится объяснить распространенность изотопов химических элементов в природе. Рассмотрим ее результаты, используя данные ядерной астрофизики. Как видно из рис. 93, наибольшую распространенность имеет самый легкий химический элемент водород, а именно его изотоп ^1H . Следующий по количеству в мире идет гелий ^2He , а потом углерод ^{12}C , кислород ^{16}O , неон ^{20}Ne , магний



^{12}Mg , кремний ^{14}Si , аргон ^{18}Ar и железо ^{26}Fe , причем в мире на водород и гелий приходится 99,9% вещества.

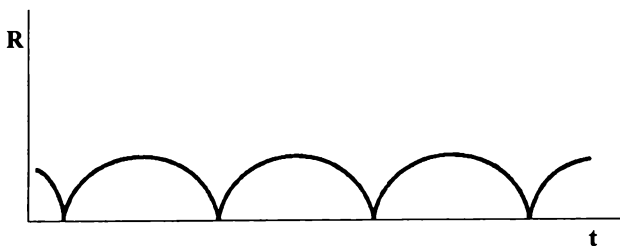
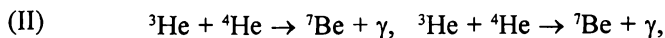
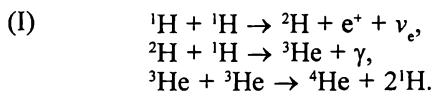
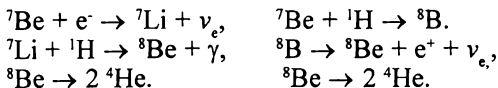


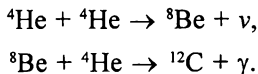
Рис. 97. К фридмановской модели эволюции Вселенной с периодически пульсирующими циклами рождения и смерти Вселенной.

Среди звездных термоядерных реакций надо упомянуть прежде всего так называемый водородный цикл, приводящий к превращению водорода в гелий без участия посредников – катализаторов. Первичная реакция состоит в столкновении двух протонов p с образованием атомного ядра тяжелого изотопа водорода дейтрона ^2H и испускания позитрона $+e$ и нейтрино ν_e . Дейтрон далее реагирует с протоном и образует легкий изотоп гелия ^3He с испусканием гамма-кванта γ . Эта реакция весьма скоростная, поэтому дейтерий не накапливается в сколько-нибудь заметных количествах. Легкий изотоп гелия ^3He может взаимодействовать дальше двумя различными путями: либо два ядра ^3He , сталкиваясь, образуют ядро основного изотопа гелия ^4He и два протона p , либо изотоп ^3He сталкивается с изотопом ^4He и образует атомное ядро изотопа бериллия ^7Be , которое распадается двумя способами, захватывая электрон или протон. В обоих случаях в конечном результате получается очень неустойчивый изотоп ^8Be , мгновенно распадающийся на два устойчивых ядра гелия ^4He . На схеме водородный цикл выглядит так:





Следующий цикл гелиевый, в его термоядерных реакциях участвуют атомные ядра ${}^4\text{He}$ и для их протекания требуются температуры, превышающие 10^8 К. Такие условия создаются в звездах-гигантах на последних стадиях их эволюции, когда водород в результате термоядерных реакций водородного цикла превратился в гелий. При гелиевом цикле три атомных ядра гелия ${}^4\text{He}$ (альфа-частицы) образуют устойчивое атомное ядро изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$ в резонансной реакции, когда энергия образующегося атомного ядра изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$ близка к сумме энергий исходной системы ядер ${}^8\text{Be}$, ${}^4\text{He}$. Таким образом, процесс идет в две стадии:



Мы видим, что во второй стадии атомное ядро неустойчивого изотопа атома бериллия ${}^8\text{Be}$ захватывает третье ядро атома ${}^4\text{He}$ и образует вполне устойчивое атомное ядро изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$. Это и есть наиболее замечательная особенность данной реакции, которая способствует появлению в нашей Галактике углерода, так необходимого для структуры всех растений и животных, обитающих на Земле. Углерод далее реагирует опять с гелием ${}^4\text{He}$ и образует устойчивый изотоп атома кислорода ${}^{16}\text{O}$. В свою очередь, реакция гелия с кислородом образует ядро атома изотопа неона: ${}^{16}\text{O} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{20}\text{Ne}$. При достаточно высоких температурах таким путем можно дойти до образования ядер атомов изотопа кальция ${}^{40}\text{Ca}$. Но здесь синтез очередного тяжелого изотопа кальция с участием альфа-частицы требует все более высоких температур, т.е. высоких энергий реагирующих атомных ядер, чтобы преодолеть возрастающий барьер потенциальной кулоновской энергии с ростом порядкового номера химического элемента Z . Поэтому более тяжелые химические элементы образуются, скорее всего, в реакциях с участием нейтронов, лишенных электрического заряда, а не заряженных микрочастиц.

В реакциях с нейтронами нет противодействующего влияния кулоновского потенциального барьера. В ядерной астро-



физике различают два вида реакций с нейтронами: (1) реакции на медленных нейтронах и (2) реакции на быстрых нейтронах. Первые приводят к образованию атомных ядер примерно до устойчивого изотопа висмута ^{200}Bi . Второй путь может привести к образованию самых тяжелых химических элементов Таблицы Менделеева – тория и урана (Th, U).

Следует указать, что в природе наблюдается особенно низкая распространенность атомных ядер лития Li, бериллия Be и бора B, а также дейтрона ^2H , поскольку они легко разрушаются при термоядерных реакциях. Кроме того, существует еще до 30 изотопов так называемых «обойденных» атомных ядер, которые не могут быть получены при медленном и быстром процессах захвата нейтронов. Это самые легкие изотопы тяжелых атомных ядер. Их существование заставляет ядерных астрофизиков искать процессы образования таких тяжелых атомных ядер, не связанные с захватом нейтронов.

Перейдем к рассмотрению второго из поставленных выше вопросов – об антропном принципе. Хотя картина, которая складывается в связи с представлением о Большом взрыве и горячей Вселенной, охлаждающейся по мере своего расширения, на сегодняшний день согласуется с результатами почти всех наблюдений, ряд вопросов остается невыясненным. Английский ученый Хокинг указывает четыре таких важных вопроса:

1. Почему ранняя Вселенная была такой горячей?
2. Почему наша Вселенная так однородна и изотропна по среднему распределению в ней массы вещества?
3. Почему Вселенная идет по какому-то из трех возможных фридмановских путей эволюции?
4. Почему на фоне крупномасштабной однородности во Вселенной существуют неоднородности в виде звезд и галактик? Считается, что они образовались из-за небольших различий в плотности ранней Вселенной. Так что же было причиной флуктуаций этой плотности?

Теория тяготения Эйнштейна сама по себе не может дать ответы на поставленные вопросы, ибо они «упираются» в сингулярную точку большого взрыва, где была бесконечная по величине плотность материи, и поэтому невозможно предсказать, что выйдет из сингулярности. Все, что было до взрыва, не имеет как будто бы смысла и не может повлиять на то, что мы наблюдаем сегодня во Вселенной. Следуя

Хокингу, можно сформулировать антропный принцип, задавая себе вопрос: почему Вселенная такая, а не другая? И ответить на него так: «Мы видим Вселенную так, как мы ее видим, потому, что мы в ней существуем».

Следует помнить, что жизнь на Земле могла и не появиться, если энергия возбуждения уровня в атомном ядре изотопа углерода ^{12}C была бы несколько иной, или же отношение массы покоя электрона к массе покоя протона другим, или электрический заряд электрона был бы чуть-чуть иным, другой по величине была бы постоянная Планка и т.д. Неизвестно, почему они такие, какими мы их знаем, но настанет день, когда мы сможем, создав единую теорию для всех сил природы, узнать, как они могут изменяться, и поэтому узнаем, каковы другие Вселенные, где нас нет.



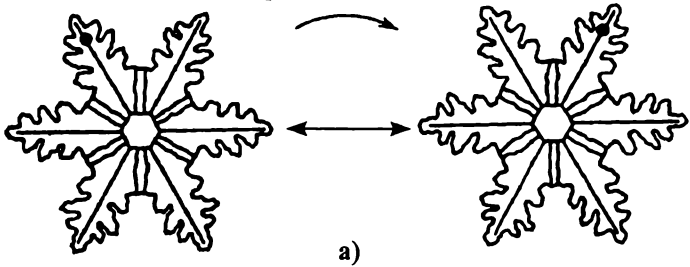
2.10. О связи законов сохранения со свойствами симметрии пространства-времени

В первой части нашего курса мы уже говорили о законах сохранения в физике, имеющих большое значение и для всех макроскопических явлений, и для космоса. Поэтому мы еще раз остановимся здесь на данном вопросе и, кроме того, несколько обобщим эту проблему, связав ее со свойствами симметрии пространства-времени. На *рис. 98* дано наглядное представление о симметриях в самых различных случаях.

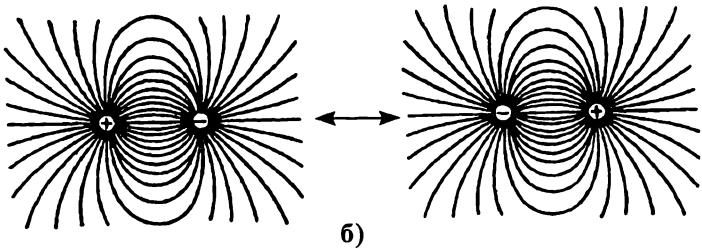
В физике очень важную роль играет фундаментальная связь между свойствами симметрии физических систем и всеобщими законами сохранения различных физических величин, таких, как энергия, количество движения, момент количества движения, алгебраическая сумма электрических зарядов микрочастиц и другие. Такая связь в строгой математической форме в 1918 году была установлена немецким математиком Э.Неттер в ее известной теореме: каждому возможному преобразованию пространственно-временной симметрии, удовлетворяющему некоторым общим требованиям механики, отвечает свой закон сохранения. Например, если мы производим преобразование сдвига отсчета времени, то ему будет соответствовать закон сохранения энергии. Если мы изменим начало в системе пространственных координат, т.е. произведем сдвиг в пространстве, то с ним, оказывается, связан закон сохранения импульса. При совершении преобразования в виде вращения координатной системы возникает связь с законом сохранения момента импульса, преобразованиям Лоренца соответствует свой закон сохранения лоренцевского момента и т.д.

Теорема Неттер относится не только к пространственно-временным элементам симметрии, но также и к динамике электрически заряженных микрочастиц в электромагнитных полях. Это так называемые *калибровочные* преобразования внутренней симметрии полей, связанные со свойствами симметрии микрочастиц. Именно отсюда и возникает закон сохранения алгебраической суммы положительных и отрицательных электрических зарядов микрочастиц, установ-

Преобразование симметрии
Вращение на 60°



Замена электрических зарядов



Вращение на 90° в абстрактном
внутреннем пространстве

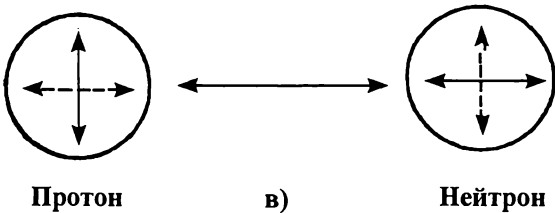


Рис. 98. Наглядное изображение симметрий в различных случаях:

- a) кристаллики снежинок (геометрическая симметрия);
- б) силовые линии электрического поля при взаимодействии двух электрических зарядов разных знаков (зарядовая симметрия);
- б) симметрия в различных состояниях нуклонов (изотопическая).



ленный эмпирически еще в XVIII веке. Открытие электрона и других заряженных микрочастиц показало, что электрический заряд существует не сам по себе, а является свойством, связанным с внутренней природой микрочастиц. Этот заряд всегда кратен заряду электрона $-e$ или протона $+e$, исключая кварки, где он оказался дробным. Мы также отмечали выше, что в квантовой теории поля и в квантовой теории конденсированных систем есть теоретические доводы о существовании дробных в единицах e зарядов, но пока они не нашли экспериментального подтверждения. Таким образом, закон сохранения электрического заряда в системах, где не происходит превращения микрочастиц, можно рассматривать как следствие закона сохранения числа микрочастиц. В системах же с превращением микрочастиц число последних меняется, но так, что алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной во всех взаимных превращениях микрочастиц. При этом, конечно, должны выполняться и другие законы сохранения — энергии, импульса и т.д.

Наряду с общими законами сохранения существуют и приближенные законы сохранения. Они выполняются лишь при одном каком-либо из фундаментальных процессов взаимодействия, например, сильного взаимодействия адронов, и нарушаются при других, например, при слабых связях. Для адронов также имеется такой *не* всеобщий закон сохранения, как закон сохранения странности, и другие, которые нарушаются, в частности, в процессах слабого взаимодействия.



2.11. Проблема объединения фундаментальных взаимодействий микрочастиц. Теория суперсимметрии и суперструн

Вернемся снова к физике микромира в связи с рассмотрением четырех типов фундаментальных взаимодействий (первая часть нашего курса). У современных физиков возникла мысль об их объединении, подобно тому, как физики от Эрстеда до Максвелла объединили все электрические и магнитные взаимодействия в единую электромагнитную теорию. В идеале ученые надеются получить полную и непротиворечивую единую теорию, в которую будут входить все частные теории со своими типами взаимодействий в качестве приближений, так что ее не нужно будет подгонять под эксперимент подбором констант.

Работа по созданию такой теории (ее принято называть *великим объединением*) ведется полным ходом. Надежды на положительный исход сейчас возросли, т.к. удалось уже объединить электромагнитное взаимодействие со слабым. Имеются и веские надежды на успех объединения в единую теорию сильного взаимодействия с электрослабым. Однако, к сожалению, пока гравитация остается в стороне. Нет до сих пор не только сколько-нибудь законченной, но даже начатой квантовой теории гравитации, по крайней мере, общепризнанной. Без предварительной разработки такой теории невозможно завершить великое объединение.

Здесь главная трудность заключается в том, что современная теория гравитации является классической и не включает в себя квантовых соотношений неопределенностей. Вообще в современных теориях одним из самых больших затруднений является появление в теории весьма неприятных бесконечностей. Для устранения их ученые мучительно придумывают различные приемы. Например, японский физик Томонага и американцы Фейнман, Швингер и Дайсон в 1944–1949 годах предложили так называемую перенормировку, которая предполагает введение новых бесконечностей для компенсации первых. Хотя этот прием и получил большое распространение, но все же его нельзя считать завершенной теорией, а можно принять лишь в качестве временного выхода.



















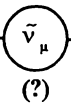







		частицы – основные составляющие вещества (фермионы: спин 1/2)			
заряд	+1				
	+ $\frac{2}{3}$	кварки	 u - кварк (0,3)	 с - кварк (1,5)	 t - кварк (?)
	+ $\frac{1}{3}$				
	0	лептоны нейтрино	 электронные нейтрино (~0)	 мюонные нейтрино (~0)	 тау- нейтрино (~0)
	- $\frac{1}{3}$	кварки	 d - кварк (0,3)	 s - кварк (0,5)	 b - кварк (5,0)
	- $\frac{2}{3}$				
-1	лептоны	 электрон (0,0005)	 мюон (0,1)	 тау-частица (1,8)	

Рис. 99. Предполагаемая схема «суперсимметрии» для микрочастиц – фермионов, основных составляющих вещества



их суперпартнеры (бозоны: спин 0)			
			+ 1
			скварки + ² / ₃
			слептоны (снейтрино) 0
			скварки - ¹ / ₃
			- ² / ₃
			слептоны - 1



частицы, переносящие взаимодействия (бозоны)

заряд	частицы со спином 0	частицы со спином 1			частицы со спином 2
	+1	H^+ частица Хиггса (?)	W^+ W^+ частица (81)		
$+2/3$					
$+1/3$					
0	H^0 частицы Хиггса (?)	Z^0 Z^0 частица (93)	g глюон (0)	γ фотон (0)	G гравитон (0)
$-1/3$					
$-2/3$					
-1	H^- частица Хиггса (?)	W^- W^- частица (81)			

Рис. 100. Предполагаемая схема «суперсимметрии для бозонов – переносчиков взаимодействий между фермионами



их суперпартнеры

частицы со спином 3/2	частицы со спином 1/2			частицы со спином 1/2	
			\tilde{W}^+ / вино (?)	\tilde{H}^+ хиггино (?)	+ 1
					+ 2/3
					+ 1/3
\tilde{G} гравитино (?)	$\tilde{\gamma}$ фотино (?)	\tilde{g} глюино (?)	\tilde{Z}^0 зино (?)	\tilde{H}^0 хиггино (?)	0
					- 1/3
					- 2/3
			\tilde{W}^- / вино (?)	\tilde{H}^- хиггино (?)	- 1

заряд



Еще одна попытка устранения трудностей в теории разрабатывается в последнее время – введение нового типа симметрии, так называемой *суперсимметрии*. Она сводится к поискам для микрочастиц типа фермионов их бозонных двойников с целочисленными спинами в единицах \hbar . И наоборот, для бозонов их двойников – фермионов с полуцелыми спинами, но в обоих случаях с одинаковыми массами микрочастиц, что наглядно проиллюстрировано на *рис. 99*, где в схематическом виде показаны эти «двойники». Двойники фермионов носят название *слептонов* и *скварков*, а фермионы – двойники бозонов – имеют характерное окончание: *фотино* и *глюино*.

Возникает естественный вопрос: зачем это нужно? Дело в том, что в существующей стандартной теории фундаментальных взаимодействий мы имеем дело с двумя типами микрочастиц – бозонами (например, фотонами) и фермионами (например, электронами и протонами). Бозоны – микрочастицы, основное назначение которых быть переносчиками взаимодействия между фермионами. Напомним, что фотоны играют основную роль при электромагнитных взаимодействиях между электрически заряженными фермионами, а пионы трех типов (π^+ , π^- , π^0) являются связующими звеньями при взаимодействии фермионов – нуклонов, т.е. переносят ядерные взаимодействия.

Фермионы считаются носителями как бы самой «материи», а бозоны – переносчиками взаимодействия между ними. Такое разделение микрочастиц особенно упрочилось после успехов в микрофизике в середине XX века, главным образом, в связи с открытием множества новых микрочастиц и развитием квантово-полевых методов расчета, когда микрочастицы (фермионы и бозоны) резко разделились по своим основным свойствам. В суперсимметрии поставлена основная задача – устранить принципиальное различие между носителями «материи» фермионами и носителями взаимодействий – бозонами. *Вторая* ее задача уходит уже в глубокую математику, поэтому лишь отметим, что решение ее с использованием суперсимметрии позволяет резко сократить все неприятности, связанные с появлением бесконечностей, которые возникают в обычной теории.

Гипотеза о существовании суперсимметрии стала теперь одной из центральных идей в стремлении физиков построить единую квантовую теорию поля, объединяющую все четыре



типа фундаментальных взаимодействий, включая и до сих пор неуловимое гравитационное взаимодействие. Здесь еще очень много трудностей и нерешенных задач, и физики ждут помощи от более мощных ускорителей, которые должны помочь им в успешном разрешении этой важнейшей на сегодня проблемы микрофизики.

В качестве некоей иллюстрации метода суперсимметрии можно привести задачу суперсимметричного осциллятора. Энергия обычного квантового осциллятора во внешнем магнитном поле равна:

$$\varepsilon = (n + 1/2 + \sigma)\hbar\omega_H,$$

где ω_H – циклотронная частота, равная:

$$\omega_H = |e|B/mc,$$

а $\sigma = \pm 1/2$ спиновое квантовое число. Поэтому мы можем представить энергию осциллятора в виде:

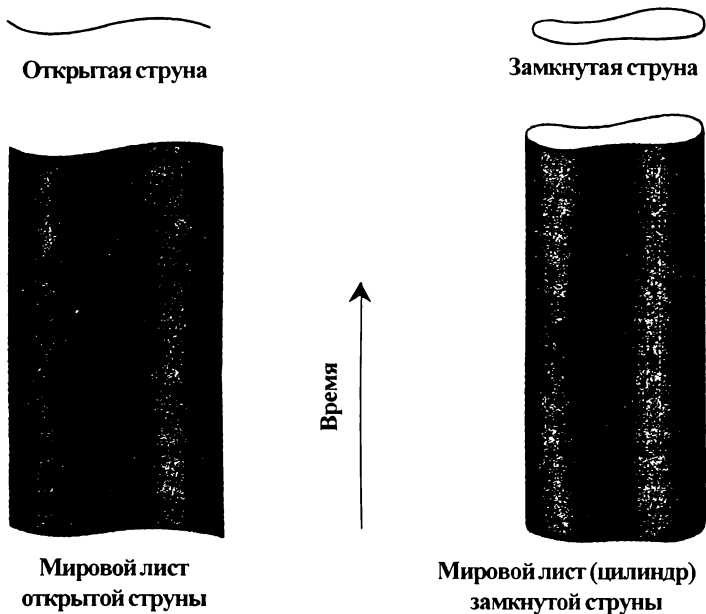
$$\varepsilon = (|e|B/mc) \times [(n_B + 1/2) + (n_F + 1/2)],$$

где первое слагаемое дает энергетические уровни бозонного осциллятора с бозонными номерами уровней n_B , а второе – энергетические уровни фермионного осциллятора с номерами n_F .

Следует также отметить, что, начиная с 1984 года, общее мнение ученых сильно склонилось в сторону исследования так называемых *суперструнных теорий*. Основными в этом подходе к объяснению явлений в микромире выступают непривычные для наших прежних модельных представлений о микромире идеи об одномерных образованиях в виде бесконечно коротких кусочков одномерных линий – «струн», размеры которых порядка планковской длины 10^{-33} см. Концы таких струн либо *свободные*, либо *замкнутые*, что наглядно изображено на *рис. 101 а–е*. Открытая или свободная струна и ее мировая линия (или, лучше сказать, мировая полоса) имеет вид листа (*рис. 101а*). Замкнутая струна и ее мировая полоса имеет вид цилиндра (*рис. 101б*). На *рис. 101в* изображены мировые линии двух открытых струн, соединяющихся в одну, а на *рис. 101г* мировые линии двух слившихся замкнутых струн – соединения замкнутых струн напоминают две штанины брюк или две соединенные трубы. Струны могут как объединяться, так и разъединяться, и тогда *рис. 101в* и *101г* надо читать в обратном направлении.



То, что раньше считалось микрочастицами, в струнных теориях представляет собой собственные колебания одномерных струн, то есть волны, которые бегут по этим струнам. Испускание и поглощение микрочастиц связано с объединением и разъединением струн. На *рис. 101д* и *е* показано, как надо себе представлять в струнной теории гравитационное взаимодействие между Солнцем и Землей. В обычной стандартной теории микрочастиц оно рассматривалось как излучение Солнцем гравитона и его последующего поглощения Землей (*рис. 101д*), что в теории суперструн изображено *H*-образным соединением трубок (*рис. 101е*). Уже есть первые робкие указания, что предлагаемая теория может быть



а

Рис. 101. Иллюстрации к теории суперструн: а) мировой лист открытой струны; б) мировой цилиндр для замкнутой струны; в) расщепление мирового листа для открытой струны на два отдельных листа; г) такое же расщепление для цилиндра замкнутой струны; д), е) гравитационное взаимодействие солнца и Земли через гравитоны.



Одна целая струна



Слияние
двух струн

Время

Мировой лист двух открытых
струн, соединяющихся
друг с другом

в



Частица
на Земле

Частица
на Солнце

д

Одна целая струна



Соедине-
ние двух
струн

Две
отдельные
струны

Мировой лист двух замкнутых
струн, соединяющихся
друг с другом



Частица
на Земле

Частица
на Солнце



использована и для включения гравитации в общее объединение фундаментальных взаимодействий, но здесь еще остается много трудностей. Отметим, что суперструнная теория многомерная, т.е. имеет более четырех уже известных нам измерений, в различных вариантах – 26 или 12.

Любопытно, что сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики в Москве А.Ю. Морозов в своем фундаментальном обзоре под названием: «Теория струн – что это такое?» так характеризует ее предмет: «Если пытаться кратко охарактеризовать предмет теории струн в его современном понимании, то придется признать, что это не столько конкретная теория или схема, сколько большая *совокупность идей и методов*, призванных дать широкое обобщение стандартного формализма квантовой теории поля и открыть для нее множество новых возможностей и приложений. В этом смысле теория струн – раздел математической физики, имеющий самостоятельную ценность, независимо от успеха конкретных попыток построить на ее основе модель того или иного физического явления... и теория струн с известным успехом играет свою роль в плане постановки новых математических задач, одновременно указывая возможные пути их решения».

Посмотрим, как современная теория отвечает на вопрос о том, может ли существовать единая теория всех сил природы. Например, согласно Хокингу, возможны три варианта ответа:

1. Полная единая теория действительно может существовать, и мы ее в конце концов построим.

2. Окончательной теории Вселенной нет, а есть просто бесконечная последовательность теорий, которые дают все более точное описание Космоса.

3. Теории Вселенной не существует, события не могут быть предсказаны далее некоего предела и происходят произвольным образом и беспорядочно.

В пользу третьего варианта ответа некоторые ученые выдвигают тот довод, что существование полной системы законов ограничивало бы свободу Бога, если бы Он передумал и решил вмешаться в наш мир. Впрочем, ответственность за это лежит на религии, а не на науке.

Второй вариант ответа связан с существованием бесконечной последовательности все более и более точных теорий и пока согласуется с нашим опытом. Гравитация после ее



«квантования» может, по видимому, наложить ограничения на эту последовательность вложенных одна в другую матрешек и привести к окончательному решению, т.е. к первому варианту ответа.

Отрицательный ответ на первый вариант Хокинга не будет означать, что мы не сможем предсказывать события вообще. Во-первых, наши предсказания ограничены принципом неопределенностей. Во-вторых, мы не умеем решать точно даже задачи классической теории, например, известную простейшую задачу трех тел в механике Ньютона. Законченная, единая непротиворечивая теория – лишь первый шаг. Наша цель – полное понимание всего происходящего и нашего собственного существования. Мы живем в удивительном мире. Нам, дотошным и любознательным людям, хочется понять то, что мы видим вокруг нас, и спросить, каково происхождение Вселенной, какое место мы занимаем в ней и откуда мы и она взялись? Почему все происходит именно так, а не иначе?

Для ответа на поставленные «проклятые» вопросы мы принимаем некую картину мира. Такой картиной может быть, как сказала одна старая и почтенная леди на лекции знаменитого Бертрانا Рассела, просто башня из стоящих друг на друге черепахах, несущих на себе плоскую Землю, а, может быть, и теория суперструн. Но отличие в этих двух возможностях все же есть: черепахи уважаемой леди – просто вздорная выдумка, а за суперструнами лежит титанический труд ученых всего мира. Наука освободилась от идей Духов, которые, по мнению древних людей, управляли всем на свете, и пошла по своему трудному и тернистому пути «дотошного» эксперимента. При этом она отказалась от механистической доктрины лапласовского детерминизма, открыв соотношения неопределенностей Гейзенберга и принцип дополнительности Бора.

Сейчас перед нами стоит грандиозная задача «проквантовать» классическую теорию гравитации. Ученым подчас некогда спросить себя: почему есть Вселенная и почему именно она такая, а не иная? В прежние времена ответ на такой вопрос был делом философов, но они и раньше, и теперь беспомощны в современной сложнейшей математической «кухне» и потому должны уступить дорогу теоретической физике. Даже один из самых известных философов современности Виттгентейн, как пишет в своей книге физик



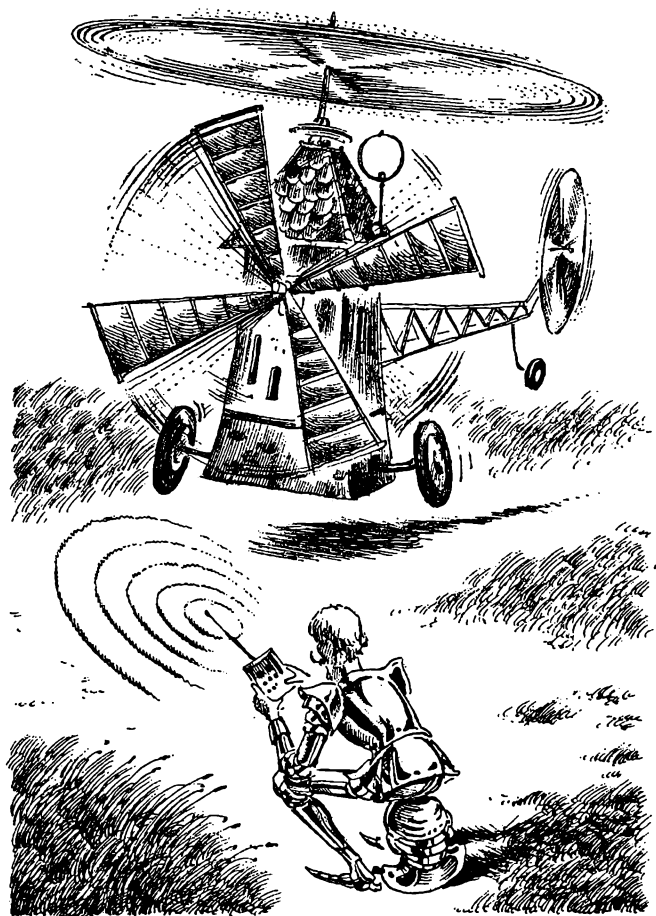
Хокинг, воскликнул: «Единственно, что еще осталось философам – это анализ языка!» Какое унижение для философии с ее великими корифеями от Платона до Гегеля...

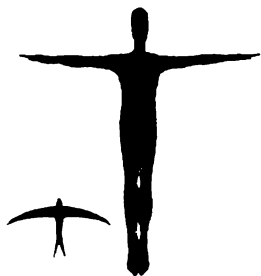
Если мы сумеем создать полную теорию великого объединения, то со временем ее поймет каждый разумный человек. И тогда все могут принять участие в дискуссии – почему существует Вселенная, почему она такая и почему мы оказались в ней!

Если будет найден ответ на эти вопросы, то он станет полным триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятен «замысел Бога», если Он существует, – добавим мы!

Глава 3

СВЯЗЬ ФИЗИКИ С ДРУГИМИ ЕСТЕСТВЕННЫМИ И ГУМАНИТАРНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ





Кроме проблем микрофизики, рассмотренных в первой части нашего курса, проблем макрофизики и учения о Космосе, которые излагались во второй части, в третьей части курса мы кратко остановимся на связи физики с другими естественными науками – химией, биологией и геологией, с гуманитарными науками и техникой. Здесь же будут рассмотрены проблемы кибернетики, компьютеризации, экологии и синергетики, а также место человека во Вселенной.



3.1. Связь физики с химией

Во всех химических процессах мы встречаемся прежде всего с атомизмом тел природы. Еще великий русский ученый М.В. Ломоносов одновременно был и замечательным химиком, и замечательным физиком. Атомы и молекулы для него были элементарными единицами физического и химического строения вещества. Великий химик второй половины XIX и начала XX века Д.И. Менделеев гениально угадал один из основных законов природы – закон Периодической системы элементов. В начале XX века не менее великий физик датчанин Нильс Бор раскрыл внутренний атомно-электронный физический механизм этого закона.

Химия – одна из важнейших естественно-научных дисциплин, прежде всего наука о структуре молекул, а также о процессах взаимодействия молекул и поведении веществ при различных химических реакциях. В современной химии изучаются не только простейшие молекулы, состоящие из двух или нескольких атомов, что характерно для неорганических соединений, но и более сложные молекулярные образования из десятков, сотен и даже тысяч атомов, которые встречаются в органической химии и особенно в биохимии, т.е. химии биологических веществ. Проблемы сложных молекулярных образований требуют строгого применения всех достижений современной микрофизики. Именно поэтому в наше время возникла и получила большое развитие новая промежуточная дисциплина, получившая название *химической физики*. Она отлична от ранее существовавшей *физической химии*, которая возникла еще в XIX веке на основе достижений макрофизики, в основном механики и термодинамики.

Химическая физика исследует строение электронных оболочек атомов и их изменение при образовании молекул. В ней также с позиций физики, а точнее с позиций квантовой механики, трактуется природа химической валентности и общая природа химических связей. Теперь с помощью шредингеровских волновых функций можно с полным основанием очень детально говорить о пространственном распределении электронов в электронной системе молекул и на этом основании понимать их физико-химические свойства. Дина-

мика молекул, химическая кинетика также являются предметом изучения химической физики.

Итак, химическая физика в основном занимается проблемами электронного строения молекулярной электронной оболочки и различными типами химических превращений веществ, пользуясь методами современной атомной и субатомной физики с широчайшим применением квантово-механических математических расчетов.

Становление химической физики как новой отрасли современного естествознания можно с полным правом связать с именем выдающегося русского ученого академика Н.Н. Семенова. Особо важное значение имеют его работы по теории цепных химических реакций. Под последними понимают сложные процессы, в которых промежуточные активные частицы (которыми в химических реакциях являются свободные радикалы с неспаренным электроном или возбужденные атомы и молекулы). Реагируя в каждом элементарном акте, они вызывают большое число (целую цепочку) превращений исходного вещества. В химии цепные реакции – это горение, полимеризация (синтез полимеров, т.е. веществ, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев). В случае же цепных ядерных реакций, которые мы выше рассматривали, активную роль играют вторичные нейтроны.

Работы Н.Н. Семенова по теории цепных реакций были обобщены в его известной монографии «Цепные реакции». В 1956 году ему и американскому химику С. Хиншельвуду была присуждена Нобелевская премия. Н.Н. Семенов, будучи одним из первых по времени учеников академика А.Ф. Иоффе, сам стал главой большой научной школы русских ученых, среди которых такие выдающиеся представители российской научной мысли, как Ю.Б. Харитон, Я.Б. Зельдович и многие другие.

Не углубляясь в детали проблем химической физики, перечислим только трактовки в ней двух основных типов химической связи с учетом современных достижений электронной физики. *Первым* из них можно назвать *ионный* тип, когда происходит передача электрона от одного атома к другому, и они превращаются в разноименно электрически заряженные ионы – отрицательно заряженный ион или *анион* и положительно заряженный ион или *катион*. Примером такой связи может служить двухатомная молекула, состоящая из

соединения одного атома щелочного металла и одного атома галогена. В частности, если мы имеем один нейтральный атом щелочного металла лития или натрия с одним валентным электроном, который сравнительно слабо связан со своим ионом, а с другой стороны – нейтральный атом галогена, например, хлора или брома, у которых имеется одно пустое место в недостроенной наружной электронной оболочке, то при сближении атома натрия с атомом хлора происходит передача электрона от натрия к атому хлора и они превращаются соответственно в катион и анион. Последние притягиваются кулоновскими силами и тем самым образуют молекулу с ионной связью, т.е. молекулу поваренной соли NaCl . Данный тип химической связи и называется *ионной-гетерополярной связью*.

Однако в твердом состоянии анионы и катионы нельзя считать жесткими сферами, т.е. атомными частицами с неперекрывающимися электронными оболочками. Из-за значительного перекрытия этих оболочек межатомная связь в ионных кристаллах зависит от двух противодействующих факторов: во-первых, кулоновского притяжения аниона и катиона и, во-вторых, взаимного отталкивания перекрытия их электронных оболочек. Энергия последнего была детально просчитана Борном и Майером и дается выражением:

$$A \exp(-R/b),$$

где A и b – эмпирические константы, а R – расстояние между центрами соседних аниона и катиона. На *рис. 102* приведен

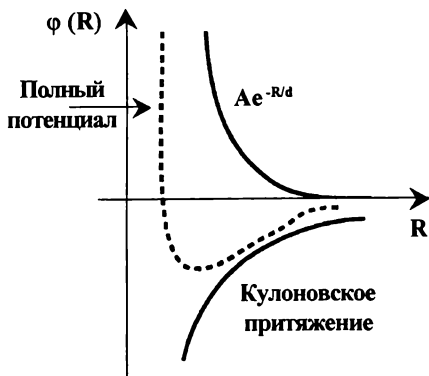


Рис. 102. Вклады кулоновских сил электрического притяжения и сил отталкивания, возникающих благодаря перекрытию волновых функций соседних ионов, в межатомный потенциал в ионных кристаллах.

график полной потенциальной энергии их взаимодействия, откуда следует, что результирующий потенциал имеет четкий минимум на расстоянии R_0 , которое соответствует параметру решетки кристалла, т.е. расстоянию между центрами ближайших соседних катионов и анионов. Из результирующей кривой энергии связи также видно, что на близких расстояниях $R < R_0$ наблюдается резкое отталкивание, а на больших расстояниях, когда $R > R_0$ – типичное кулоновское притяжение.

Вторым основным типом химической связи является ковалентная или гомеополлярная связь. В этом случае происходит не передача электрона от одного атома к другому, а образование общей молекулярной электронной оболочки, когда внешние электроны обоих реагирующих атомов как бы коллективизируются в ней. В результате такой коллективизации происходит понижение энергии в системе внешних электронов молекулы. Уменьшение суммарной энергии в молекулярной электронной оболочке численно равно некоторой величине, в которую, кроме обычной кулоновской энергии, входят еще произведения соответствующих волновых функций электронов с обменом у них координат соединяющихся атомов, поэтому данный тип связи можно назвать обменной связью.

Исторически первый расчет такой связи был сделан немецкими физиками Гайтлером и Лондоном для молекулы водорода, состоящей из двух электрически нейтральных атомов водорода. Следует подчеркнуть, что в обменном взаимодействии активную роль играют спины электронов. Например, при образовании электронной оболочки в молекуле водорода спины двух электронов в молекулярной оболочке оказываются антипараллельными. Это видно из графика кривой энергии связи молекулы водорода на рис. 103, где кривая энергии для параллельных спинов дает только отталкивание, а кривая для антипараллельных спинов имеет при некотором расстоянии R_0 минимум, который и соответствует размерам молекулы. Также антипараллельны и их спиновые магнитные моменты, поэтому молекула водорода в нормальном состоянии является магнитонейтральной, т.е. диамагнитной, поскольку и орбитальные магнитные моменты обоих электронов равны нулю.

Но могут быть случаи, когда энергетически выгодной является параллельная ориентация спинов и их магнитных

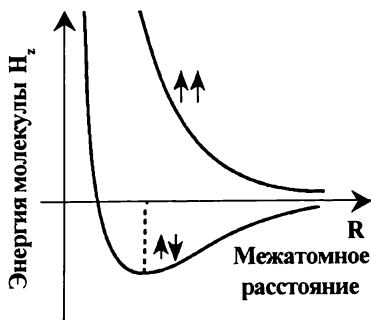


Рис. 103. Энергия молекулы водорода H_2 в зависимости от расстояния R между центрами соседних атомов. Нижняя кривая соответствует устойчивому состоянию молекулы с антипараллельными спинами, а верхняя — неустойчивому (возбужденному) состоянию с параллельными спинами.

моментов. Тогда молекула становится обладательницей результирующего спинового магнитного момента, т.е. *парамагнитной*, например, в молекуле кислорода O_2 .

В случае кристаллов это может приводить к различным магнитным эффектам — диамагнетизму, парамагнетизму и *ферромагнетизму*, когда спины всех атомов кристалла, как мы уже видели, оказываются взаимно параллельными. Кроме того, возможен случай, когда есть спиновый порядок в кристалле, но антипараллельный, т.е. соседние атомы имеют антипараллельные спины в шахматном порядке. Он называется *антиферромагнетизмом*. Напомним, что магнитные свойства вещества были достаточно подробно рассмотрены выше, во второй части курса.

Не будем больше останавливаться на деталях сложной и хорошо разработанной теории химических связей. Можно только сказать, что в настоящее время многие из квантовых аспектов химической физики проникли и в старую физическую химию, «заразив» ее новыми квантовыми идеями. В заключение отметим, что современная химия прочно встала на строгий в математическом смысле количественный путь своего развития.



3.2. Связь физики с биологией

Перейдем теперь к рассмотрению основных положений биологической науки и ее связей с физикой, а также с современной химией. Тела неживой природы и живые организмы построены из одних и тех же атомов и молекул. Поэтому органический мир подчиняется тем же единым законам, учитывающим ядерно-электронное строение всех тел. Проблемы соотношения физики и биологии стали сейчас особенно актуальными. Из-за сложности и своеобразия явлений жизни пути биологии и физики в прошлом все более расходились. Основные биологические закономерности, прежде всего законы естественного отбора Дарвина, считались совершенно не связанными с физикой.

Несколько иначе развивался контакт биологии с химией. В начале своего развития химия жизненных процессов – *органическая химия* – была почти полностью отделена от химии неорганических веществ. Представлялось, что получить вещества, функционирующие в живых организмах, вообще невозможно, поскольку требовалась какая-то особая «жизненная сила». Таким образом, органическая химия была своего рода опорой *витализма* – идеалистического учения о жизни. Но после работ Лавуазье, установившего аналогию между процессами дыхания живых организмов и процессами горения неорганических веществ, а также работ по синтезу мочевины, проведенных немецким химиком Велером в 1828 году из неорганических веществ, стало ясным, что ничего оторванного от неорганической химии в процессах органической химии нет. Органическая химия – всего лишь учение о химических соединениях с обязательным участием *углерода*. Ученые стали верить, что химия позволит объяснить материальную природу органической жизни. Но здесь, конечно, было и осталось много трудностей.

Развитие науки показало, что за функционирование живого организма ответственны *белки*, довольно сложные органические соединения, и даже не просто одни белки, а их связь со многими низко- и высокомолекулярными веществами, прежде всего с *нуклеиновыми кислотами*. Под этими соединениями мы понимаем сложные органические соединения, в состав которых входят углерод, пуриновые и пиридиновые основания и фосфорная кислота.

Живой организм и любая его функциональная часть всегда являются весьма сложной *открытой* термодинамической системой. Она оказывается гетерогенной, т.е. неоднородной макросистемой, состоящей из однородных частей, разделенных поверхностными слоями, а они, в свою очередь, состоят из взаимодействующих элементов – больших и малых молекул и ионов. Отсюда и следует, что все биологические системы являются типичными *открытыми* системами, которые активно и постоянно поддерживают тесный обмен с окружающей средой через дыхание, поглощение продуктов питания и т.д. Поэтому закон возрастания энтропии относится только к общей системе, состоящей из самой открытой системы, где энтропия может таким образом убывать, и к окружающей среде. Термодинамика открытых систем отличается от термодинамики изолированных систем. Это термодинамика существенно необратимых – *неравновесных* процессов, которую развили ученые Онзагер, Пригожин и другие.

Очень интересными являются воззрения Н. Бора на биологические процессы. Он рассматривал проблему связи физики и биологии на основе уже знакомого нам принципа дополнительности, считая, что собственно биологические законы дополнительны законам, которым подчиняются тела неорганического мира. По Бору, нельзя одновременно определять физико-химические свойства организма и явления жизни – анализ свойств одного исключает подобный анализ другого. Таким образом, Бор рассматривал биологические и физико-химические исследования как дополнительные, т.е. несовместимые, хотя и не противоречащие друг другу. Идея Бора не имеет ничего общего с витализмом, ибо его точка зрения отрицает существование какой-либо границы для применения физики и химии к решению биологических проблем. Дополнительность наиболее ярко проявляется в том, что для изучения атомно-молекулярного строения организма он должен быть *убит*. В последнем изложении своей точки зрения Бор считал, что применение принципа дополнительности к биологии обусловлено не каким-то особым характером понятия жизни, а лишь чрезвычайной сложностью организма как целостной структуры.

В 1945 году Э. Шредингер написал книгу о связи физики с биологией: «Что такое жизнь с точки зрения физики?», где он рассмотрел три основные проблемы биофизики. *Первая*

проблема – термодинамические основы жизни. Организм – прежде всего открытая высокоорганизованная система, которая, в отличие от неорганических веществ, способна поддерживать эту упорядоченность. Речь идет здесь о *саморегуляции*, *самовоспроизводстве* организма и его клеток. По Шредингеру, это объясняется тем, что организм, как мы только что отметили, – система, которая находится в неравновесном состоянии благодаря потоку энтропии во внешнюю среду. Организм непрерывно создает порядок, извлекая его из окружающей среды в виде высокоупорядоченного состояния материи, например, в пищевых продуктах. Только благодаря макроскопичности и многоатомности организма такой процесс становится возможным, а в малых системах из-за флуктуаций упорядоченность может уничтожаться.

Вторая проблема по Шредингеру – это молекулярные основы жизни. В ней автор определяет молекулярную природу генов, которые ответственны за наследственность, а также ставит вопросы о структуре вещества наследственности и о причинах его устойчивого воспроизводства в ряду поколений.

Третья проблема – квантово-механические закономерности, которые отчетливо проявляются в радиобиологических явлениях, что было показано в работах Н.В. Тимофеева-Ресовского, М. Дельбрюка и других. Здесь Шредингер отмечает соответствие биологических процессов законам квантовой механики. В важной работе Эйгена, посвященной самоорганизации и эволюции биологических макромолекул, убедительно аргументируется утверждение о достаточности современной микрофизики для объяснения биологических явлений.

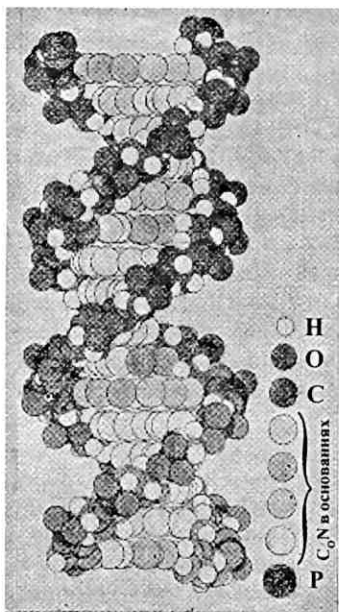
Итак, живой организм – это открытая, саморегулируемая и самовоспроизводящаяся гетерогенная система, важнейшим функциональным веществом которой служат биополимеры – белки и нуклеиновые кислоты. Такая система подлежит комплексному физическому и химическому исследованию, а ее познание должно опираться на раскрытие физико-химических особенностей жизни – на физическое рассмотрение развития организма, его неравновесности, упорядоченности, системности. Можно установить такую цепочку связей:

*организм – клетка – ядро клетки –
хромосомы в ядре – гены.*

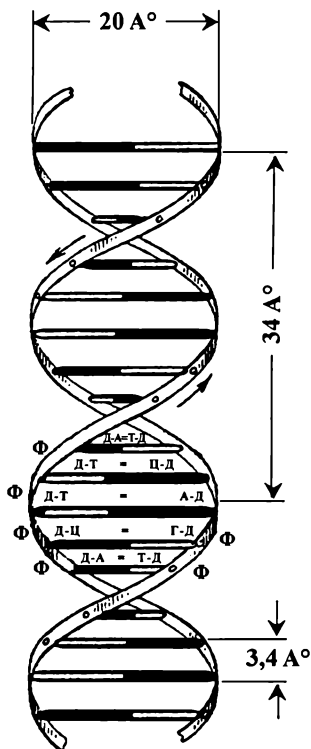
Последние представляют собой отдельные участки молекулы ДНК – *дезоксирибонуклеиновой кислоты*. Кроме ДНК, также большую роль играет молекула РНК – *рибонуклеиновой кислоты*. Молекула ДНК имеет двойную спиральную структуру (рис. 104а, б). Американский биохимик Джеймс Уотсон и англичанин Френсис Крик в 1953 году совершили великое открытие. Они показали, что молекулы ДНК имеют вид двойной спирали, что позволило им объяснить, каким образом генетическая информация записана в молекуле ДНК, а также высказать гипотезу о ее *самовоспроизведении* – *редупликации*. Именно с появлением этой работы и родилась современная *молекулярная генетика*, одно из замечательных открытий XX века. Уотсон и Крик сделали свое открытие методом рентгенографии. Заметим, что проблема генетического кода была теоретически впервые сформулирована Г. Гамовым, но экспериментальная расшифровка кода была получена только после рентгеновских исследований упомянутых двух авторов.

Одновременно с рентгеновскими исследованиями широко проводились и химические эксперименты. В биологии, науке, которая долгое время была чисто описательной, не использовавшей физического и химического эксперимента, химики стали «приспосабливать» биологов к использованию количественных измерений прежде всего в следующих двух разделах биологии. Одним из таких разделов была *генетика*. Начало научному эксперименту и количественным выводам из него в генетике было положено работами Менделя, за которыми последовали результаты Моргана, Вейсмана и многих других. Второй раздел, в котором ученые-биологи под влиянием химиков встали на путь количественного эксперимента, была *биохимия*, причем пионерские работы в этой области принадлежат Лавуазье.

Итак, генетика и биохимия были родоначальниками экспериментальной биологии, развившейся в результате сотрудничества биологов с химиками, к ним затем присоединились и биофизики, вооруженные новыми идеями и экспериментальной техникой, возникшей благодаря научно-технической революции первых десятилетий XX века. В настоящее время мы уже имеем дело с вполне сформировавшейся научной дисциплиной – *молекулярной биологией*, экспериментальной и строго количественной наукой. Ее главные проблемы – изучение биополимеров, т.е. белков и нуклеиновых



а



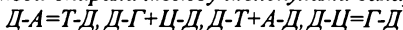
б

Рис.104. Молекулярная часть двойной спирали молекулы ДНК по Уотсону и Крику, построенная на основании рентгено-структурных исследований:

а) атомная структуры двойной спирали;

б) схема этой спирали с основными размерами (в ангстремах).

Во втором витке спирали показана последовательность сцепления ветвей спирали между молекулами сахара:



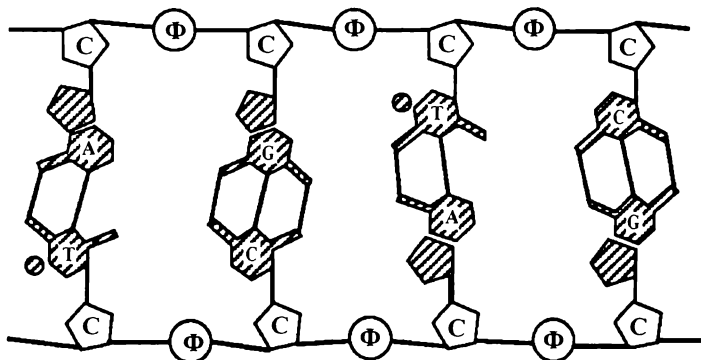
Здесь А – аденин, Т – тимин, Ц – цитозин и Г – гуанин. Знак = означает водородную связь. Вдоль цепи идет строгая последовательность сахара и фосфата: δ - φ - δ - φ...

кислот. Именно физики способствовали изучению атомной структуры биополимеров и их биологических функций, а также механизма наследственности и изменчивости в живых организмах, построенных из них.

Еще в конце XIX и начале XX веков атомные структуры подобных веществ, содержащие сотни и тысячи атомов, казались бесконечно сложными и недоступными для детальных исследований. За последние два-три десятилетия они, тем не менее, были расшифрованы и изучены во всех подробностях. И это произошло благодаря применению рентгеноструктурного анализа, оптической и радиоспектроскопии, электронной микроскопии и различных изотопных методов, которыми теперь вооружено все естествознание, а также благодаря прогрессивным идеям современной молекулярной физики, химии, физической статистики и, в особенности, квантовой механики.

Раскрытие структуры сложнейших биологических молекул немедленно привело к расшифровке и их сложнейших биологических функций. Именно так и случилось в 1953 году в упомянутой выше знаменитой работе Уотсона и Крика, которая позволила создать современную биофизическую теорию атомной структуры нуклеиновых кислот. Оказалось, что, молекула ДНК – это полимер, атомные цепи которого образуют двойную спираль (*рис. 104а и б*), навитую на цилиндр с диаметром порядка 20 ангстрем.

Полимерные цепи в молекуле ДНК состоят попеременно из молекул сахара и молекул фосфорной кислоты. В развернутом виде молекула ДНК напоминает лестницу, состоящую из отдельных звеньев (хотя в действительности она скручена в спираль). Число звеньев в молекуле может достигать порядка 10^5 . На *рис. 105а* показано несколько таких звеньев. Молекула сахара, типичного углеводородного соединения в форме дезоксирибозы с химической формулой $C_5H_{10}O_4$, показана графически на *рис. 105б*. Химическая формула фосфата имеет вид HPO_3 , и график ее показан на том же *рис. 105б*. Кружки на *рис. 105а* означают фосфаты, а пятиугольнички – молекулы сахара. Последние соединены с пуриновыми и пиридиновыми основаниями, вид которых изображен на *рис. 105в*. Общая формула пурина – $C_5N_4H_4$. В нашем случае из возможных модификаций пурина существенны две:



Компоненты цепи молекулы белка

Рис. 105а

а) Лестничная модель развернутой спирали ДНК, составленная из отдельных звеньев. Нити состоят из отдельных чередующихся молекул сахара (С) в виде дезоксирибозы (на графике это пятиугольнички, а фосфатные группы (Ф) – в виде кружков). Молекулы сахара соединены парами связанных оснований А и Т, Ц и Г, последние связаны водородной связью.

аденин: $\text{NC}_5\text{H}_4\text{N}_4$ (рис. 105г),

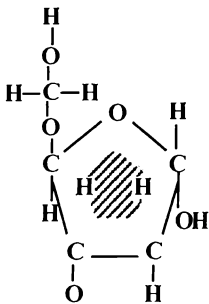
гуанин: $\text{NC}_5\text{H}_4\text{ON}_4$ (рис. 105д),

из производных пиридина с общей формулой $\text{C}_4\text{N}_2\text{H}_4$ нам нужны только две модификации:

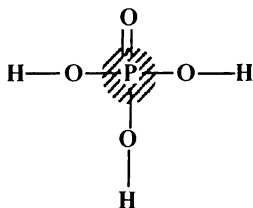
цитозин: $\text{NC}_4\text{H}_4\text{ON}_4$ (рис. 105д),

тимин: $\text{NC}_5\text{H}_4\text{ON}_4$ (рис. 105г).

Там же пунктиром показана водородная связь для пар тимин-аденин и цитозин-гуанин. В основе водородной связи лежит трехцентровая связь типа $\text{X-H} \dots \text{Y}$. В ней центральный атом водорода H соединяется ковалентной связью с электроотрицательным атомом X (в роли которого может быть любой из атомов C , N , O) с его валентным электроном. После этого промежуточный атом водорода в виде «голого» протона образует вторую связь с электроотрицательным атомом Y (в качестве которого может быть любой из атомов C , O , N), имею-

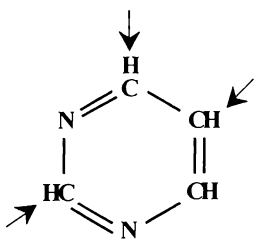


Дезоксирибоза

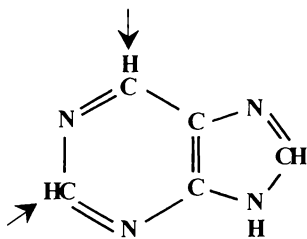


Фосфорная кислота

б



Пиримидин



Пурин

в

Рис. 105б,в.

б) Химические формулы строения дезоксирибозы и фосфорной кислоты;

в) химические формулы пиримидина и пурина.

щим вдоль линии X-H ... Y направленную связь. Обычно положение атома водорода между атомами X и Y несимметрично. Например, во льду расстояние O...H равно 0,96 А, а H...O равно 2,04 А, но в других случаях эти расстояния могут быть и меньше, а связь сильнее. Водородная связь может быть как внутримолекулярной, так и межмолекулярной. В первом случае атомы X и Y принадлежат одной и той же молекуле, а во втором случае – разным.

Водородная связь имеет исключительно важное значение при формировании белков и нуклеидов ДНК и РНК. Такие связи замыкают связь между пуриновыми и пиримидиновыми основаниями в их парах: тимин-аденин и цитозин-гуанин (Рис.105г и д) в молекуле ДНК. Здесь можно с полным основанием сказать, что именно водородная связь опреде-

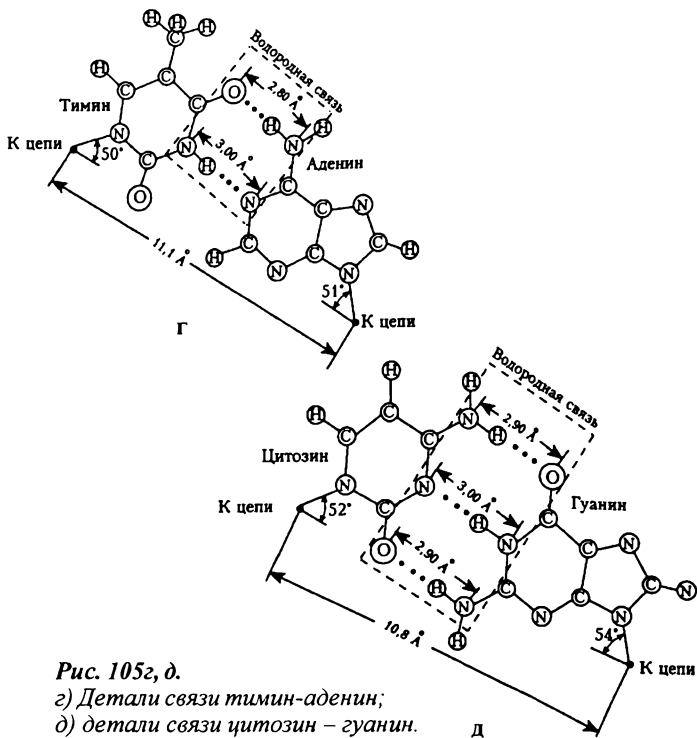


Рис. 105г, д.

г) Детали связи тимин-аденин;

д) детали связи цитозин – гуанин.

ляет образование двойной спирали ДНК, а тем самым и генетический код, и вообще всю жизнь.

Азотистые основания, скрепленные между собой водородной связью, заполняют всю внутреннюю полость цилиндра молекулы ДНК, подобно стопке монет. В данной структуре оказалось самым важным точное соответствие боковых групп в обеих противоположных цепях молекулы ДНК, с чем тесно связан принцип дополнительности или комплиментарности, который тоже установили Уотсон и Крик. Когда цепи расходятся, то на освободившееся место в азотистых основаниях сорбируются (оседают) основания, опять с точным выполнением принципа Уотсона-Крика. Мы можем из одной двойной цепи после ее разделения получить две абсолютно идентичные двухзаходные цепи, как это показано на рис. 106а.

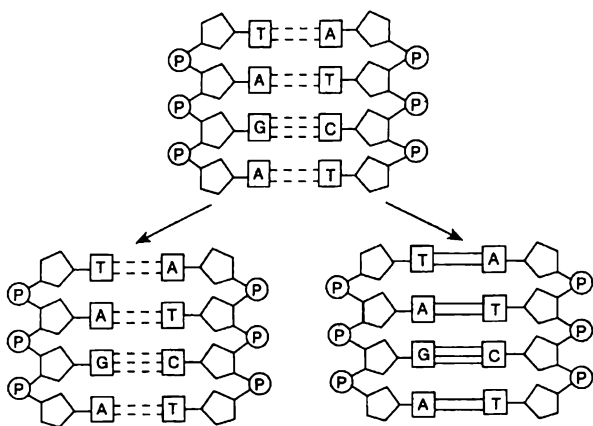


Рис.106а. Редупликация молекулы ДНК на две дочерние молекулы.

Таким образом, сама структура молекулы ДНК содержит в себе принцип *редупликации*, т.е. передачи наследуемых свойств от материнской клетки к дочерней. Не будем дальше останавливаться на механизме передачи информации и природе генетического кода, а также на структуре и роли молекул РНК как посредника и переносчика информации от ДНК к белку. Только подчеркнем еще раз, что молекулярные силы, управляющие всеми процессами синтеза белков и нуклеиновых кислот, которые лежат в основе генетического кода, представляют собой водородные связи между азотистыми основаниями. На *рис. 106б* в более развернутом виде показана картина нескольких звеньев лестницы ДНК, изображенная на *рис.105а*. В отличие от схематического *рис.105а*, здесь указана атомная структура всех молекул: сахара, фосфата и четырех азотистых оснований.

Исследования биофизиков также показали, что изменчивость живых организмов, т.е. природа мутаций, легко объясняется современной молекулярной физикой: она есть результат химических модификаций молекулы ДНК, возникающих под действием различных факторов, в том числе излучений и химических мутагенов. А спонтанные мутации, которые являются движущей силой в эволюции, суть просто

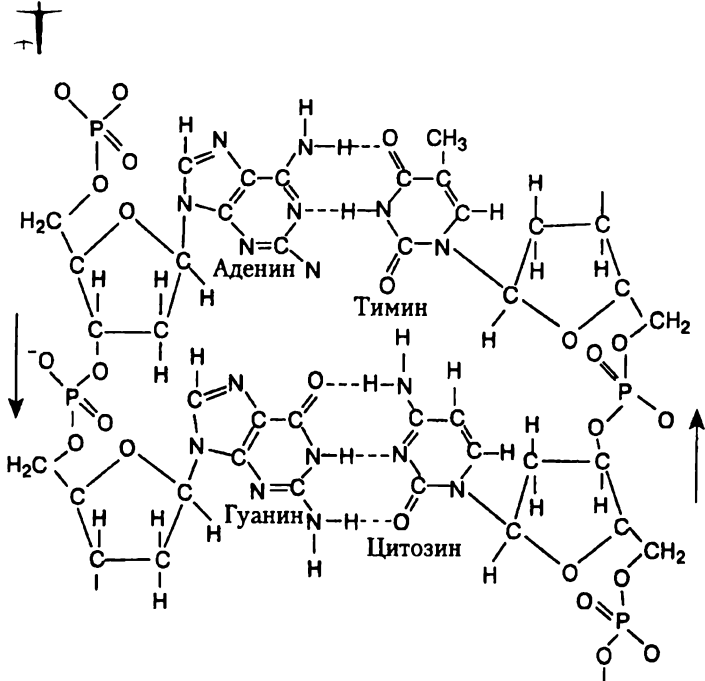


Рис. 1066. Более подробная картина лестничной модели звеньев ДНК.

ошибки, «тепловые шумы», происходящие при процессах копирования молекулы ДНК. Таким образом, основная функция нуклеиновых кислот – перенос информации от ядра клетки к синтезируемым в цитоплазме белкам – была выяснена в современной молекулярной биологии.

Венцом познания белков и нуклеиновых кислот явился их полный лабораторный синтез. Но, конечно, в молекулярной биологии еще много нерешенных вопросов, и ее нельзя считать завершенной наукой. И самое, пожалуй, главное, что мы до сих пор не раскрыли физический механизм работы человеческого мозга, механизм формирования нашего разума, хотя теперь можно считать, что такой механизм существует.

Из общих проблем физики и биологии надо выделить две основных проблемы:

- 1) историческое развитие обеих наук;
- 2) проблему необратимости в процессах живой природы.

Остановимся сначала на первой из них. Жизнь возникла на Земле миллиарды лет тому назад, и все это время в ней шла бурная эволюция. Живые организмы развивались от примитивных одноклеточных до сложнейших биологических систем, каким является человек. Законы квантовой механики, выраженные уравнениями Шредингера или Дирака, оставались всегда такими же, хотя мы узнали о них совсем недавно. Они строго инвариантны к изменению знака времени, т.е. справедливы и неизменны во все времена, однако такое противоречие между физикой и биологией – только кажущееся. Действительно, для уравнений квантовой механики указанный вывод справедлив. В то же время, когда в физике приходится переходить к статистике, т.е. когда мы имеем дело с системами, состоящими из очень большого числа частиц, то это приводит к появлению новых вероятностных статистических закономерностей в поведении таких макросистем, имеющих направленность во времени.

Рассмотрим, например, молекулярный газ и выделим в нем некий небольшой, но все же макрообъем. Из эксперимента известно, что число частиц в нем будет меняться со временем. В равновесном состоянии системы все изменения будут иметь характер беспорядочных колебаний числа частиц, т.е. флуктуаций около некоторого постоянного среднего значения, отвечающего данным условиям равновесия. При достаточно большом числе частиц в выделенном объеме флуктуации будут относительно ничтожными, и для описания макроразвития достаточно знать только это среднее значение. Именно при таком описании макроскопических природных объектов и явлений в них проявляется направленность во времени, т.е. они являются необратимыми.

Поэтому физическим процессам и телам также не чужда историчность развития. Следовательно, однонаправленная эволюция во времени – не только привилегия биологии. Земля, Солнце, звезды и все галактики, т.е. вся Вселенная, также претерпевают однонаправленную эволюцию. Можно сказать, что биологическая эволюция живых существ есть деталь геологических изменений условий жизни на Земле, ибо жизнь с ней тесно связана и должна все время приспосабливаться к новым условиям существования на Земле.

Перейдем к рассмотрению второго вопроса – о механизме необратимости в процессах живой природы. Прежде все-



го, нам надо решить вопрос, какова природа тех «шумов» биологических веществ, которые являются главной движущей силой эволюции живых организмов. Рассмотрим сначала простейшие из них, например, бактерии, которые достаточно хорошо изучены. Для них эксперимент показал, что основной процесс, происходящий в клетке, – это редупликация, т.е. образование двух дочерних клеток. В основе такого процесса лежит авторепликация основного генетического материала, т.е. молекулы ДНК, которая происходит путем разматывания нитей в спирали молекулы, после чего на каждой нити, как на матрице, синтезируются дополнительные цепи согласно принципу Уотсона-Крика в идеальном случае. Однако в реальной жизни существуют известные нам тепловые флуктуации или «шумы». Они с конечной вероятностью приводят к неправильной редупликации, когда водородные связи не могут организоваться. Такие ошибки и есть генетические «шумы», которые и являются механизмом так называемых спонтанных мутаций. Последние очень редко бывают полезными, то есть способными закрепляться естественным отбором, вследствие чего эволюция видов в живой природе протекала так медленно и заняла миллиарды лет.

Генетические «шумы», в отличие от флуктуаций в броуновском движении, не рассасываются, а накапливаются в данной особи со временем, что ведет к умиранию организма. Мы теперь твердо знаем, что каждый организм рождается, живет и умирает и что эту последовательность событий повернуть вспять нельзя, она необратима. Итак, в настоящее время молекулярная биология достаточно хорошо знает механизм старения. Путем безупречных экспериментальных данных целиком подтверждается концепция старения для клетки как накопления генетических «шумов» или спонтанных мутаций.

В случае более сложных живых организмов, конечно, дело обстоит труднее, в частности, для такого тонкого организма, каким является мыслящий человек. По-видимому, основа механизма старения такая же, как и у более простых организмов, но мы не знаем еще, где то слабое звено в сложном организме, которое после накопления «шумов» приводит к его гибели в целом, есть только разные предварительные гипотезы. В частности, высказывается мнение, что такие слабые звенья – железы внутренней секреции. По другим

мнениям, старение – результат истощения иммунологической защиты организма от инфекционных болезней, т.е. старения лимфатических клеток. Окончательное решение этого вопроса – пока дело будущего. Но теперь уже ясно, что необратимость жизни любого индивидуума имеет в своей основе статистику и тепловые шумы, так же как появление необратимости в термодинамике. Таким образом, в целом биологическую эволюцию можно рассматривать с точки зрения статистической физики, подобно эволюции в геологии и в астрономии.

Весьма актуальной, но далеко не решенной проблемой биологии жизни является проблема нейробиологии и раскрытия кода нервной системы у человека. Решение ее должно выяснить природу физического механизма нашего разума, но мы находимся пока только в самом начале научного эксперимента. Система нервной деятельности человека необычайно сложна, и в особенности сложны функции головного мозга, хотя известно, что в процессе нервного возбуждения большую роль играют электрические импульсы.

При изучении нервной системы высказываются две совершенно различные (и, по-видимому, обе неверные) точки зрения. Одна из них гласит, что нервная система непознаваема принципиально, потому что при эксперименте мы вынуждены так изменить ее состояние, что она становится совершенно отличной от первоначально изучаемого объекта. Так думал, например, Бор в 1937 году, выступая здесь как виталист. В 1959 году он изменил свое мнение, опираясь на достижения молекулярной биологии, и стал считать, что нет причин ожидать ограничений в изучении механизма действия нервной системы.

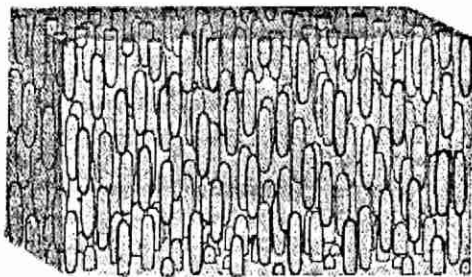
Вторая точка зрения – вульгарно-механистическая – распространена среди ученых, занимающихся кибернетикой и автоматикой. Согласно их мнению, психику и интеллект человека можно полностью моделировать компьютерами. Эта идея идет еще от Лапласа, который, увлекаясь успехами классической механики, считал, что механика способна построить думающий робот. Но теперь, когда мы продвинулись в молекулярной биологии достаточно далеко, видно, что замена человека кибернетической машиной – дело совсем не простое. Ведь мозг человека представляет собой самый сложный статистический ансамбль из огромного числа нейронов

(до 10^{10} штук) со своими специфическими шумами, которые вряд ли можно смоделировать. Даже электрические импульсы между нервными клетками являются просто итогом первых биофизических экспериментов, начиная с открытия явления подрагивания ножек лягушки в опытах Гальвани в 1791 году. Но нет доказательств того, что электрические импульсы в системе нервных клеток являются первопричиной всей деятельности нервной системы человека, а не представляют собой одно из следствий чего-то первичного и еще не открытого. Таким образом, можно сказать, что раскрытие тайн нейробиологии – настоящая нетронутая «целина».

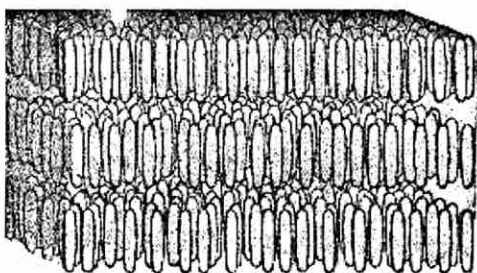
В последние годы наряду с изучением структуры белков развивается молодое направление в прикладной биологии – генетическая инженерия, или *генная инженерия*. Это раздел молекулярной биологии, связанный с целенаправленным конструированием новых, не существующих до сих пор в природе сочетаний генов, полученных генетическими биологическими методами. Они основаны на извлечении из клеток какого-нибудь организма гена или группы генов, а затем соединения их с определенными молекулами нуклеиновых кислот и внедрения полученных гибридных молекул в клетки других живых организмов. Перспективы такой генной инженерии являются поистине захватывающими как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения возможностей ее практических применений в генетике, медицине, сельском хозяйстве и биотехнологии.

Среди органических конденсированных систем с довольно большими молекулами особое место занимают так называемые *жидкие кристаллы*. Они одновременно обладают свойствами жидкости, т.е. текучестью, но сохраняют определенную упорядоченность в пространственном расположении молекул. Благодаря последнему эта жидкая фаза является *анизотропной*, т.е. имеет свойства, характерные для твердых кристаллов, причем их молекулы имеют удлиненную форму тонких палочек. Различают три основных типа таких тел: *смектические*, *нематические* и *холестерические* жидкие кристаллы.

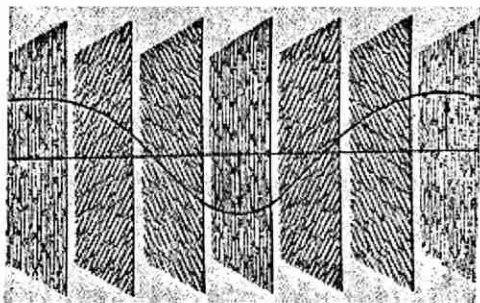
Из них наименьший порядок имеют нематические жидкие кристаллы (*рис. 107а*). В них молекулы ориентированы параллельно друг другу вдоль одного направления, но сдвинуты вдоль него относительно своих ближайших соседей на



а



б



в

Рис. 107. Характер расположения молекул в жидких кристаллах: а) нематические; б) смектические; в) холестерические.

произвольные расстояния. Во втором типе – смектических жидких кристаллах – молекулы также расположены параллельно между собой, но еще и расположены упорядоченно в последовательных параллельных слоях (рис. 107б). И, наконец, третья – структура холестерических жидких кристаллов – похожа на предыдущую, но в каждой соседней плоскости происходит дополнительное закручивание молекул в направлении, перпендикулярном их длинным осям (рис. 107в). Эти вещества в последнее время приобрели довольно большое практическое применение, особенно в системах, передающих информацию, например, в электронных часах и т.п.

Наконец, упомянем, что в 1990 году была создана третья модификация кристалла углерода (помимо графита и алмаза), состоящая из больших молекул, которые имеют форму футбольного мяча, покрытого по поверхности в определенном порядке атомами углерода в вершинах правильных пяти- или шестиугольников, как это показано на рис. 108а–д. Такие молекулы стали называть фуллеренами. Центральное место среди фуллеренов занимает молекула C_{60} , которая характе-

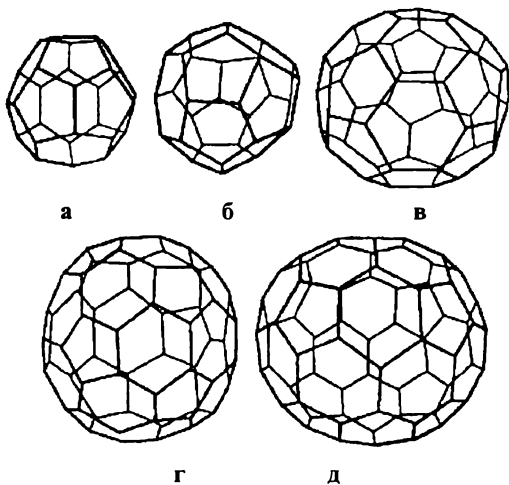


Рис.108. Модели молекул модификации углерода – фуллерены.

ризуется наибольшей симметрией и стабильностью (рис. 108г). Кристалл, состоящий из этих молекул, называют *фуллеритом*. Он является диэлектриком, но его соединения, например, с калием K_3C_{60} , рубидием Rb_3C_{60} и некоторыми другими химическими элементами являются металлами, причем сверхпроводящими, с критической температурой порядка 30 К. Важно отметить, что, хотя фуллерены находят в земной и космической саже, в основном их создание – результат фундаментальных научных исследований.

3.3. Связь физики с геологией и геофизикой

Геология – это целый комплекс наук о составе, строении и истории развития земной коры и всей Земли с ее различными сферами, вплоть до ионосферы. Истоки геологии уходят в глубокую древность, но впервые термин «геология» ввел Эшольт в 1637 году. В самостоятельную ветвь естественных наук геология превратилась в конце XVIII – начале XIX века, чему в России в значительной степени способствовали труды М.В. Ломоносова. Последний качественный скачок в превращении геологии в комплекс наук естествознания произошел в конце XIX – начале XX века, когда в описательную качественную науку были введены физико-математические и химические методы исследования. Современная геология включает в себя: *стратиграфию* (учение о формировании горных пород), *тектонику* (учение о развитии структуры земной коры и ее изменений под влиянием тектонических движений и деформаций, связанных с развитием Земли в целом), *региональную геологию*, *минералогию* (учение о составе, свойствах и условиях образования минералов, нахождении и изменении их в природе), *петрографию* (наука о горных породах), *литологию* (науку об осадочных породах), *учение о полезных ископаемых* и т.д. Геология связана с физикой в основном через промежуточную науку – геофизику, с химией – через геохимию, а также со многими другими науками. Особые отношения геология имеет с техникой, например, со строительной.

Хотя проникновение физики и физических методов исследования в геологию и идет в основном через геофизику, оно также внедряется непосредственно из различных разделов физической науки, например, в связи с проблемой определения возраста различных геологических объектов с помощью явления радиоактивности различных атомных ядер в составе минералов.

Рассмотрим подробнее этот количественный метод, который является основным в *геохронологии*, т.е. в учении о временной последовательности формирования и возрасте горных пород, образующих земную кору. Он используется в абсолютной геохронологии, где возраст устанавливается в единицах времени (обычно в миллионах лет). Его в начале

XX века предложил П. Кюри во Франции и Э. Резерфорд в Англии. По идее этих ученых, измерение возраста пород производится по содержанию продуктов распада радиоактивных химических элементов в тех или иных минералах, считая, что распад происходит с постоянной скоростью. В результате распада появляются в конце концов атомы устойчивых изотопов химических элементов, уже не распадающихся, количество которых увеличивается пропорционально времени, т.е. возрасту минерала. Еще предполагается, что отношение массы продукта распада к массе имеющегося в настоящее время радиоактивного химического элемента не изменялось за счет каких-либо других причин, т.е. минерал представляет собой замкнутую систему.

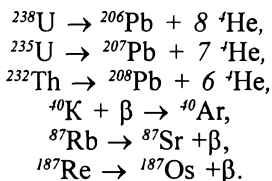
Накопление продуктов распада со временем выражается формулой:

$$B = P(\exp \lambda t - 1), \quad (3.1)$$

где B – число атомов нерадиоактивного продукта распада, возникшего за время t , P – число атомов радиоактивного химического элемента в момент времени наблюдения, λ – константа распада, которая показывает, какая часть атомов радиоактивного химического элемента распадается за единицу времени. Из (3.1) вытекает, что отношение B/P является функцией времени t , т.е. возраста минерала:

$$B/P = \exp \lambda t - 1 \text{ или } t = (1/\lambda) \ln(1 + B/P).$$

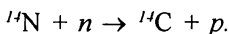
Основные типы радиоактивного распада, используемые в этом методе, следующие:



В зависимости от конечных продуктов такие методы называются свинцовыми, гелиевыми, аргоновыми, кальциевыми, стронциевыми и осмиевыми, соответственно. Измерения масс изотопов продуктов распада и исходного химического элемента производится на масс-спектрометре. Таким способом был установлен возраст пород до 3500 миллионов лет, но породы с продолжительностью жизни от 3500 до 4500

миллионов лет (предполагаемый возраст Земли) с достоверностью не обнаружены.

Отметим также, что в настоящее время для определения более коротких времен жизни геологических объектов (примерно до 60 тысяч лет) приобрел большое значение *радиоуглеродный* метод. Он основан на том, что в атмосфере Земли, где содержится много азота, под действием космического излучения идет реакция с космическими нейтронами:



Вместе с тем, изотоп углерода ^{14}C оказывается радиоактивным, и период полураспада у него более 5700 лет. В земной атмосфере установилось равновесие между синтезом и распадом этого изотопа, так что его содержание в атмосфере постоянно. Растения и животные при их жизни все время обмениваются углеродом с атмосферой, поэтому концентрация в них изотопа ^{14}C также поддерживается на постоянном уровне. В мертвых же организмах обмен с атмосферой прекращается, и концентрация в них изотопа ^{14}C начинает падать по закону радиоактивного распада. Измеряя содержание изотопа ^{14}C с помощью высокочувствительного радиометра, можно установить возраст органических остатков.

В частности, углеродный метод позволил по костям и шкуре мамонта, найденного на Таймыре, установить время его смерти. Оказалось, что она произошла 11000 лет тому назад. Так же были определены время оледенения в Европе и Северной Америке, возраст следов древних человеческих поселений и т.п. В целом радиоуглеродный метод оказался весьма перспективным не только в геологии, но и в археологии.

Возвращаясь к геофизике как главному пути проникновения физических количественных методов исследования в геологию, можно сказать, что в ней преобладают наблюдения за ходом природных процессов, а потом ведется их количественная лабораторная обработка с привлечением всего математического аппарата современной физики. В состав геофизики входит много специальных разделов, которые можно считать уже отдельными науками, например, геомагнетизм, аэрономия – учение о высших слоях атмосферы, метеорология – учение обо всей атмосфере, которая в свою очередь разделяется на несколько отдельных дисциплин: климатологию,

океанологию, гидрологию суши, гляциологию (учение о льде), сейсмологию, гравиметрию и т.д.

Геофизика теперь имеет большое применение и в технике – ее типичными прикладными разделами являются разведывательная и промысловая геофизика и т.д. Развитие геофизических дисциплин стимулируется все возрастающими потребностями в прогнозе разных свойств окружающей человека среды: погоды, водного режима, а также в освоении природных богатств и в сознательном регулировании природных процессов на Земле. Очень важны связи геофизики с космическими исследованиями, поскольку космические корабли либо все время движутся в воздушной оболочке Земли, либо ее пересекают в самом начале полета или при возвращении на Землю. И здесь на помощь геофизике со стороны техники приходят новейшие методы электроники, автоматики и компьютеризации для обработки огромного количества результатов наблюдений со все более широким применением математического анализа.

Есть еще два явления, при объяснении которых существенно используется физика и которые имеют большое значение в геологии и геофизике – земной магнетизм и цвета минералов.



3.4. Связь математики и физики с социальными и гуманитарными науками

Под социальными и гуманитарными науками, в отличие от естествознания, предметом которого является изучение неживой (неорганической) и живой (органической) природы, мы понимаем дисциплины, изучающие закономерности существования и развития человеческого общества и отдельного человека во всех его проявлениях. Здесь будут рассмотрены только некоторые наиболее яркие и актуальные проблемы, характерные именно для сегодняшнего дня нашей цивилизации. Важнейшая роль в указанном плане принадлежит связи естествознания с такими науками, как философия, социология и экономика. Напомним, что философия – это наука о взаимодействии человеческого сознания с бытием – материей; социология – наука о человеческом обществе как целостной системе; экономика – целая область наук, которые занимаются изучением производственных отношений, т.е. объективными закономерностями экономического строя общества.

Контакты между физикой и философией уходят в глубокую древность, о чем говорилось в самом начале первой части нашего курса – недаром античных *ученых-естествоиспытателей* называли натурфилософами. Но и в более поздние времена, когда творили Декарт или Кант, тоже актуальны были вопросы, связывающие физику с философией, а также связи философских обобщений с физическими представлениями о природе мира.

В России окончился «лысенковский» период безграничного засилья коммунистической идеологии, когда вся западная философия признавалась без всякой научной аргументации «антинаучной». Так же обстоит дело в социологии и экономике после их «опеки» со стороны большевистских идеологов. Теперь мы можем с достаточным основанием считать, что социальные и гуманитарные науки имеют предметом своего рассмотрения ту же материальную действительность, что и естествознание, но только их объектом изучения являются не обычные неорганические и органические тела при-

роды, а человеческое общество, где действующим лицом является мыслящий человек, и главным при этом является не его физиологическая сущность, а его разум, сознание. Вот это и определяет специфику упомянутых выше научных направлений в социальных и гуманитарных дисциплинах. Тем не менее, можно ожидать, что фактическая связь естествознания с рассматриваемой областью человеческого знания есть, но она еще далеко не раскрыта полностью. Пока надо в известной степени согласиться с мнением английского ученого Сноу, который в своей лекции в 1967 году в Кембридже в Англии сказал, что между естествознанием и общественными науками, как между двумя особыми культурами, имеется «брешь» или «щель», «ущелье» (по английски – gap).

Первой ласточкой в установлении прочного «моста» через такое «ущелье» явилась возникшая в шестидесятых годах нашего века экономическая кибернетика, успешно применившая все новейшие математические методы для строгого количественного описания экономических систем самого различного типа. В данной системе наук различают три главных направления:

1. Теорию экономических систем и их математических моделей.

2. Теорию экономической информации, которая рассматривает экономические системы как информационные.

3. Теорию упорядоченных систем, которая объединяет все разделы экономической науки.

Таким образом, весь комплекс экономических дисциплин перешел из разряда чисто качественных описательных наук в точные количественные науки.

В связи с этим не лишним будет сказать, что математизированная экономика сейчас уже начинает использовать и чисто физические методы и модели. Еще в прошлом столетии со стороны физики появились первые попытки применить для описания явлений общественной жизни человеческого общества специальные термины «социальной физики». Но такой грубо наивный подход – более или менее прямое применение физических понятий и математического аппарата физики, которым пользовались для описания чисто физических процессов, к описанию общественных систем. Недостатки прямого физического подхода быстро стали очевидными в первую очередь для самих социологов, ибо на фундаментальном уровне науки не существует никакого прямого струк-

гурного соответствия между основными элементами разных наук, т.е. какого-либо изоморфизма (сходства по форме). Действительно, такой изоморфизм существовал бы, только если состояния и взаимодействия элементарных единиц физических систем, например, молекул, можно было формально и однозначно спроецировать на состояния и взаимодействия единиц социальной системы, например, человеческого индивидуума. Точно так же прямое сравнение физической и социальной систем на феноменологическом уровне, скажем, сравнение понятий физики – давления, температуры или энергии – с поведением общества может привести только к грубо поверхностной, лишенной научной глубины аналогии.

Именно поэтому ученые-общественники отвергли грубые попытки простого «физического» метода сравнения естественных и общественных наук и дали свои достаточно убедительные разъяснения причин увеличения сноуновского «ущелья» между естественными и общественными науками. Во-первых, это высокая степень сложности человека и человеческого общества, требующая соответствующих адекватных методов исследования. Здесь нельзя было ожидать успеха на пути простого употребления даже очень сложных, например, биологических понятий. Во-вторых, все, что было известно о человеке, носило описательный характер и не сводилось к понятиям естественных наук.

Вернемся к вопросу, почему в настоящее время новое содружество между естественными и общественными науками представляется более обещающим, чем было ранее, о чем свидетельствует рождение строго количественной экономической кибернетики.

Отметим, что, во-первых, в настоящее время естествознание достаточно хорошо сформировалось, и в нем все более и более сложные системы попадают в фокус интересов физики, химии и биологии. Поэтому в естественных науках теперь значительную роль играют направления, связанные с разработкой методов трактовки таких сложных систем. Во-вторых, что более важно, современный подход к количественному описанию социальных систем имеет иную структуру, чем прежде. Теперь фундаментальные представления с самого начала относятся именно к социальным системам. Мы лишь используем при построении количественных формулировок социальных законов математический аппарат, который является универсальным для описания любых различ-

ных многокомпонентных систем, т.к. он хорошо годится для описания социальных систем, как и естественно-научных. Здесь разница пока только в том, что в естествознании эти методы нашли уже широкое применение, а в социальных науках мы находимся в указанном смысле на самой начальной стадии. Для решения данной проблемы надо найти более глубокие, предпочтительно универсальные структурные аналогии между социальными и естественно-научными системами. Не являясь прямым подобием, они лишь отражают тот факт, что, благодаря универсальности в применении некоторых математических понятий к многокомпонентным статистическим системам, все такие системы обладают косвенным подобием на макроуровне, которое не зависит от того, есть ли возможность сравнения на микроуровне.

Для того чтобы сформулировать подход к количественной трактовке социальных систем, надо сначала получить общие представления о структурных соотношениях между науками. Совершенно ясно, что все существующее в нашем мире, включая миры неорганический и органический, а также мир духовный, расслаивается на последовательность организационных уровней переменной сложности. Более высокие макроуровни стоят над более низкими микроскопическими уровнями, причем уровень определяется как своеобразный слой в реальном существовании любой независимой (в какой-то степени) системы.

Физики и другие естественники уже давно знали об иерархии уровней в системе своих наук. Например, если в физике в качестве определенного уровня выбираем молекулу, то мы знаем, что она состоит из атомных ядер и электронных оболочек. Здесь атомные ядра – более низкий уровень структуры. Они в свою очередь состоят из нуклонов – протонов и нейтронов, а последние – из кварков и глюонов. И все эти нижние уровни не имеют особого значения, пока мы находимся на уровне молекулы. Нам важно знать только некоторые общие константы, относящиеся к атомным ядрам и электронам, такие, как масса, заряд и спин. А сама молекула может входить в еще более высокий уровень – газ или молекулярный кристалл, у которых свои главные свойства, например, температура или кристаллическое поле. В прилагаемых двух таблицах № 16 и № 17 приведены в несколько упрощенном виде последовательности уровней для неорганического и органического мира, включая человека и его общество. В них указа-

ны соответствующие науки, которые имеют предметом своего исследования те или иные уровни.

По отношению к трактовке природы уровней установились две экстремальные и противоположные точки зрения. Первая из них называется *редукционистской*. Согласно ей, все свойства уровней более высокой сложности могут и должны быть сведены и объяснены свойствами и качествами более низкого (микроскопического) уровня, образующие единицы которого (например, в случае системы молекулы – атомы) являются составными частями более высокого уровня (молекулы). Вторая, противоположная точка зрения, называемая обычно *холизмом* (т.е. целостностью), состоит в утверждении, что свойства и качества сложного уровня существуют сами по себе, и нет ни необходимости, ни возможности представлять их состоящими из структур более низкого уровня.

Физики и другие естественники более склонны к редукционализму, а социологи, психологи и искусствоведы – к холизму. В физике, например, уже давно есть хороший случай редукционализма, когда законы феноменологической термодинамики нашли свое глубокое обоснование в статистической механике. С другой стороны, социологи, психологи и искусствоведы, работая в основном в области духовных взаимодействий и имея дело с такими уровнями этой структуры, как логика и т.п., оперируют с почти полностью автономными понятиями, не сводимыми к чему-либо более простому, по крайней мере, на сегодня.

Однако, по-видимому, достаточно ясно, что обе точки зрения не могут быть строго абсолютными и фактически и, как показывает практика естествознания и экономических наук, имеют лишь относительный характер. Для некоторой иллюстрации такого заключения приведем пример из физики и потом распространим его на социальные науки. Из физики хорошо известен так называемый метод самосогласованного поля, или метод Хартри-Фока, применяемый в теории электронных оболочек атомов или в теории твердого тела. Сущность метода заключается в том, что каждая частица, например, электрон, дает свой вклад в общее самосогласованное поле и, вместе с тем, движется в этом поле. Система как бы расщепляется на два уровня, взаимодействующих друг с другом. Один уровень – уровень общего глобального поля, создаваемого всеми частицами, а другой – уровень отдель-



Таблица 16

Уровни наук неорганического мира

Области неорганического мира

Уровень

Микро

Макро

Объект уровня

Соответствующие науки

Элементарная
частица

Атомные ядра

Атом

Молекула

Газ

Жидкость

Твердое
тело

Планета

Звезда

Галактика

Космос

квантовая
теория поля
ядерная
физика
атомная
физика
молекулярная
физика

физика твердого
тела
статистическая физика
синергетика
химия

классическая физика-механика, электродинамика
астрономия
астрофизика
общая теория относительности



Таблица 17
Уровни наук органического мира

Область животного мира		Соответствующие науки	
Уровень	Объект уровня		
Микро	Генетический код	молекулярная биология биохимия	физиология неврология морфология
	Геном		
	Протеин		
	Орган		
	Мозг		
Макро	Животное человек	биология	теория эволюции
	Популяция		
	Раса	экология	социо-биология
	Человеческий род		
	Экологическая система	психология	
	Цивилизация		
	Человеческое общество		
	Культура		

искусство и человековедение

ных частиц, двигающихся в этом поле. Следовательно, прямое взаимодействие между частицами заменяется косвенным, через среду глобального поля.

Посмотрим теперь, как можно поступить аналогичным образом в социальной системе. В ней индивидуальные члены посредством культурной и экономической зависимости вносят свой вклад в генерирование общего «поля» цивилизации, состоящего из культурных, политических, религиозных, социальных и экономических составляющих. Все институты государства, религии, экономики, юрисдикции и политики входят в коллективное поле, которое и определяет всю «атмосферу» общества. Но, кроме того, это поле сильно влияет на поведение отдельных индивидуальностей. Здесь опять возникают два уровня – индивидуального поведения и коллективного социального поля, т.е. прямое взаимодействие индивидуальностей по существу заменяется взаимодействием через различные институты общества.

Итак, мы установили некую аналогию между естествознанием и областью социальных наук. Но не надо забывать, что социальные системы гораздо сложнее систем неорганического и даже органического миров. Можно, например, привести следующее различие между ними. В физике более низкий уровень только обеспечивает составляющие элементы для более высокого уровня. Хотя атомы и молекулы и являются составляющими газа, но детали их строения не важны для свойств газа. Поэтому между газом и молекулой имеется только своего рода «вертикальное» соседство (от низшего к высшему уровню).

В случае же социальных систем проявляется большая сложность. У них гораздо больше отдельных уровней, большая плотность их распределения (семья, школа, работа, политическая партия, церковь, клуб, университет, правительство и т.д., и т.п.). Все они очень сильно перекрываются, поэтому наряду с «вертикальными» соотношениями между уровнями могут быть и своего рода «горизонтальные» взаимодействия на данном микроуровне. Кроме того, при некоторых критических условиях, например, при революциях, т.е. при фазовых превращениях в обществе, старые параметры порядка могут исчезать и возникать новые. Несмотря на эти сложности, все же, как показал пример экономических наук, количественный метод в социальной области знания вполне возможен. Что же касается редукционизма и холизма, то приведенные

примеры убеждают нас в том, что, согласно первой точке зрения (редукционалистской), всегда есть некое сведение более сложного к простому, а с точки зрения второй (холистской) – у более сложного уровня всегда проявляются новые качества, которые присущи только ему самому.

Для иллюстрации самого простого подхода к количественному описанию социальных систем рассмотрим простейший случай элементарных взаимодействий между макропеременными социальной системы, вначале пренебрегая полностью их конкретной природой, а определив только количественно. Пусть в системе будет всего две переменных, которые мы обозначим через X и Y , причем влияние переменной X на Y можно выразить только в количественной форме, пренебрегая их конкретным значением. Ограничимся такими влияниями: 1) переменная X может оказывать поддержку (усиление) величины (амплитуды) Y , или 2) переменная X подавляет (уменьшает) переменную Y . Если Y совпадает с X , то в случае 1 будет самоподдержка, а в случае 2 – самоподавление. Можно также ввести различия для двух сортов активных переменных X : а) когда активная переменная X поддерживает своего пассивного партнера Y при больших X , но подавляет Y при малых X – такие переменные называются *кооперативными* (другими словами, кооперативная переменная X стремится сделать переменную Y подобной собственной величине), б) когда переменная X подавляет переменную Y при больших X и поддерживает Y при малых X , такие X называются *антагонистическими* переменными (т.е. антагонистическая переменная X стремится к противопоставлению величины Y по отношению к своей величине). Такие типы переменных часто встречаются в социальных системах. Их изменение и взаимодействие описываются простыми логарифмическими дифференциальными уравнениями, которые мы приводим без доказательства:

$$dX/d\tau = X[a(Y)s - X], \quad 0 < X < \infty,$$

$$dY/d\tau = Y[b(X)s - Y], \quad 0 < Y < \infty,$$

где τ – безразмерное время, квадратичные члены с X^2 и Y^2 в правых частях уравнений дают насыщение, а линейные дают рост или распад X и Y в зависимости от характера зависимости X и Y через функции влияния $a(Y)$ и $b(X)$. Вид последних и определяет кооперативное или антагонистическое

кое взаимодействие переменных X и Y с неким параметром s , регулирующим насыщение.

Не занимаясь анализом указанных дифференциальных уравнений, мы ограничимся примером двух конкретных систем, которые могут быть изучены в этой модели. В качестве первого примера рассмотрим взаимодействие населения какой-нибудь страны с его правительством. Пусть X представляет собой влияние и демократическое участие населения в государственных делах, а Y – степень власти и авторитета правительства. Рассмотрим влияние X на Y . Если население очень активно (большие X), оно стремится поддерживать активность правительства. Если же население имеет малую активность или его активность подавлена (малые X), то население стремится затруднить действия правительства. Теперь выясним влияние Y на X . Если правительство имеет большую власть (большие Y), оно эффективно в поддержке населения и способствует его активности, в случае боязни потерять свой авторитет и власть (уменьшение Y) правительство будет подавлять влияние населения.

Такая политическая система будет в конечном счете эволюционировать в одно из двух возможных состояний устойчивого равновесия (стабильности): либо состояние «кооперативной демократии», когда обе переменные X и Y велики, т.е. когда население «уважает» правительство и кооперируется с ним, а правительство влияет на население, поддерживая его активность, либо состояние «расстроеной демократии», когда и X , и Y малы, население затрудняет политику правительства, а правительство, в свою очередь, подавляет активность населения. К какому из двух стабильных состояний мы придем – ответ на этот вопрос поможет дать решение наших дифференциальных уравнений, которые зависят, в свою очередь, от входящих в них параметров.

В качестве второго примера рассмотрим циклическое решение исходных дифференциальных уравнений (оказывается, могут быть и такие решения). Экономистам уже давно было известно о существовании долгосрочных циклов экономической эволюции, состоящей из четырех фаз: процветания, ухудшения, депрессии и восстановления. Введем в нашей модели двух переменных следующие конкретные величины: X – описывающую новую, молодую, прогрессивную индустрию, и Y – зрелую, но уже устаревающую индустрию. X будет действовать как кооперативная переменная, а

Y , очевидно, как антагонистическая. Рассмотрим упомянутые выше четыре фазы в данном случае:

1. Фаза *процветания*: в ней процветающая зрелая индустрия имеет большие Y , она также поддерживается обновленной индустрией X , т.е. растущим объемом X . Но Y начинает задерживать дальнейший рост и развитие X , ибо для старой индустрии главная выгода состоит в достаточно большом выпуске продукции по старым канонам, а не поддержке развития молодой индустрии X .

2. Фаза *ухудшения*: старая индустрия все больше подавляет рост новой индустрии, т.е. стремится уменьшить объем X , а это приводит к спаду и ухудшению старой индустрии, т.е. к уменьшению объема Y , что ведет к общему спаду.

3. Фаза *депрессии*: старая индустрия Y становится совсем изношенной и скатывается к кризису, т.е. к депрессии. Однако утрата ее подавляющего влияния, сдерживающего рост X , приводит к оживлению и росту новой индустрии X .

4. Фаза *восстановления*: поскольку кризис старой изношенной индустрии Y облегчает резкий подъем новой индустрии X , последняя теперь также способствует восстановлению на новых основах бывшей зрелой индустрии Y .

Немецкий физик В. Вейдлик, написавший обзорную статью о связи физики с социальными науками, и выводам которого мы следуем в данном разделе нашего курса, приводит такой, несколько шуточный, пример циклической эволюции в виде «ресторанного цикла». Согласно этому примеру, гурманы, живущие в каком-то городе, выяснили, что открылся новый ресторан. Благодаря высокому качеству пищи, его популярность возрастает. Но с некоторого момента она начинает падать, так что ресторан должен закрыться. Возможно, откроется новый, но уже с другим хозяином. Как это объяснить с помощью приведенных выше фаз циклического развития социальной системы? Пусть X – качество пищи на единицу цены, а Y – число посетителей ресторана. X – кооперативная переменная, а Y – антагонистическая. Тогда мы имеем:

1. Фаза *открытия*: небольшое число посетителей во вновь открытом ресторане способствует улучшению качества пищи, т.е. росту X , так как хозяин заинтересован в привлечении большего числа посетителей, т.е. в росте Y .

2. Фаза *процветания*: вследствие положительной репутации ресторана X растет число посетителей Y . Однако рост Y приводит и к отрицательному эффекту, поскольку владелец

ресторана становится небрежным и спешит только изготовить достаточное количество пищи, не очень заботясь о ее качестве, для него важно лишь получить большой доход от посетителей.

3. Фаза *упадка*: хотя число посетителей еще велико (большие Y) и владелец может позволить себе небрежность в приготовлении пищи, большинство посетителей ресторана уже почувствовали ухудшение качества пищи (уменьшено X), и их число Y начинает уменьшаться.

4. Фаза *кризиса*: ресторан заработал худую славу, и число посетителей Y сильно уменьшается. Теперь даже улучшение (запоздалое) качества блюд не может помочь делу. Ресторан должен закрыться из-за катастрофического уменьшения числа посетителей, и должен возникнуть новый ресторан с новым хозяином.

И Вейдлик советует профессорам после заключительного заседания по обсуждению проблем, например, синергетики, посещать рестораны, которые находятся только в конце первой фазы своего циклического развития, когда качество пищи отменное и народу в ресторане еще немного, но ни в коем случае не в конце третьей фазы, когда качество блюд уже отвратительное, а народу в ресторане еще много.

Теория здесь развивается полным ходом, и мы имеем дело с мощным проникновением математики и физики не только в социальные науки, но и в такие, казалось бы, далекие от естествознания, как филология, этика, эстетика, искусствоведение, история и т. п. Во всех этих науках можно найти проблемы, которые ждут своего количественного оформления и своего математического аппарата. Можно сказать, что в науках, отличных от естествознания, для перехода к количественному описанию самым главным моментом является четкий выбор их специфических переменных, для которых и нужно строить количественные соотношения.



3.5. Связь физики с техникой

В предыдущих разделах мы достаточно подробно, хотя и качественно, рассмотрели важную роль физической науки в общей системе естественных и гуманитарных наук. Теперь мы перейдем к другому, также весьма существенному аспекту физики, который был характерен для нее с момента возникновения, – тесной связи с техникой. Вполне сформировавшейся наукой мы обычно считаем физику античной эпохи в истории человеческой цивилизации, а может быть и даже более ранней эпохи, имея в виду Египет, Китай и Индию, а также Месопотамию. Рождение науки диктовалось именно техническими потребностями общественной человеческой практики. Поэтому она и начала свое развитие в теснейшем контакте с техникой, с решения ее теоретических и практических задач: в первую очередь строительства жилья и других необходимых для человека сооружений, которые обеспечивали бы нормальное существование и развитие человеческого общества и его деятельности. Далее, шло строительство лодок и судов для мореплавания и плавания по рекам – средства сообщения между различными местами жительства людей на берегах рек и морей, изготовление элементарного и более сложного оружия для охоты и ведения войн и т.д. Можно сказать, что все разделы первой отрасли физической науки – *механики* – родились из вполне конкретных, перечисленных выше запросов технической теории и практики.

«Дружба» между физикой и техникой продолжалась во все последующие времена. В настоящее время она не только не прекращается, но стала еще гораздо более тесной и, самое главное, взаимной. Наука, благодаря своему развитию стала в действительности непосредственной производительной силой человеческого общества. Вместе с тем и техника необычайно сильно и вполне успешно индустриализует науку, создавая необычайно мощные и громадные по размерам экспериментальные физические установки, например, гигантские ускорители микрочастиц, огромные телескопы для астрономических наблюдений, радиоустановки для «просвечивания» Космоса и т.д. И это взаимное обогащение техники физикой и физики техникой приводит к получению новых фундаментальных результатов и новых разделов науки, а в

технике – к возникновению целых новых технических отраслей.

Если вернуться к истории развития отношений между физикой и техникой, то после чисто «механического» этапа, получившего достаточно большое развитие в античные времена, наступил этап, который можно назвать тепловым или энергетическим. Физиками или, по крайней мере, с их активнейшим участием была создана первая паровая машина, которая произвела целую революцию в промышленности, освободив во многом людей от тяжелого физического труда. Паровая машина стала использоваться не только в стационарных установках, были построены первые паровозы и пароходы, радикально изменившие весь транспорт. Из практических требований усовершенствования паровых машин родилась физическая и техническая термодинамика. После поршневых паровых машин появились паровые турбины, обладавшие большим коэффициентом полезного действия, чем поршневые машины. А после паровых турбин появились двигатели внутреннего сгорания, которые резко изменили и развили всю энергетику современной жизни человечества.

Большое значение имело введение открытий электромагнетизма в технику. Мы уже говорили выше о технических достижениях, полученных при применении результатов физики магнитных материалов и вообще физики магнитных явлений в различных областях техники. Не менее впечатляющим было и то, что сделали Фарадей, Максвелл и их последователи, – внедрение динамомшины и электромотора, телефона, телеграфа и беспроводной радиосвязи, также приведшее к революционному развитию и изменению не только техники, но и всей нашей жизни вообще.

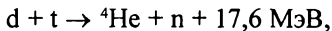
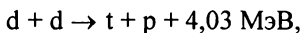
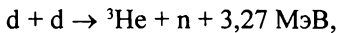
Далее, проникновение физики в изучение структуры атомного ядра и всего субатомного мира вызвало почти сразу же революционные открытия и в современной технике. Успехи теоретической и экспериментальной физики твердого тела привели к внедрению полупроводников, а теперь и сверхпроводников в техническую практику, к созданию мощнейшей полупроводниковой электронной промышленности.

Сейчас наблюдается гигантский прогресс в создании миниатюрных электронных интегральных схем, которые позволили строить современные сверхмощные электронно-вычислительные машины – компьютеры. Нельзя не упомянуть о большом прогрессе в области металлического и

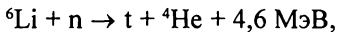


неметаллического керамического материаловедения – созданию новых технических материалов на базе так называемых нанокристаллов (т.е. поликристаллов с кристаллитами мельчайших размеров) и т.д. Колоссальный расцвет применений физики в технике произошел после открытия процессов распада тяжелых атомных ядер с большим выделением полезной энергии, что привело к созданию атомной, или лучше сказать, ядерной промышленности. Теперь уже во многих странах имеется ядерная энергетика в виде мощных атомных энергетических станций (АЭС), созданы также надводные и подводные суда с ядерными силовыми установками. Не менее глубокие изменения за последние десятилетия произошли в ракетной технике, строительстве гигантских ракет, искусственных спутников Земли, а также пассажирских и транспортных самолетов с реактивными двигателями. Заметим, что авиация – тоже детище физики, ее аэродинамической отрасли. Не правда ли, как это все далеко ушло от примитивных приемов античной строительной механики!

Для развития ядерной энергетики огромное значение имеет управляемый синтез легких атомных ядер с использованием таких ядерных реакций:



где символы d и t означают атомные ядра дейтерия и трития. Важна также реакция нейтрона с изотопом ${}^6\text{Li}$, которая имеет вид:



что позволяет получать тритий, который сам по себе отсутствует на Земле.

Уже отмечалось выше, что проблема термоядерного синтеза очень сложна технически. Именно поэтому проблема использования подобных ядерных реакций для целей мирной энергетике до сих пор не решена практически, хотя уже сконструированы плазменные реакторы с магнитным удержанием (с помощью сверхпроводящих магнитов) горячей плазмы от контакта со стенками сосуда, где она находится. Такие магнитные ловушки имеют тороидальную форму, из-за чего подобные установки принято называть *токамаками*. Над решением данной научно-технической задачи

и у нас в России, и за рубежом все время ведется интенсивная работа.

В связи с ядерной энергетикой, и, в частности, с термоядерной, особенно остро стоит вопрос в отношении безопасности, особенно после большой аварии, которая произошла в 1986 году в Чернобыле. Жизнь заставляет обратить внимание ученых и производственников, работающих в области развития энергетики, и на альтернативные термояду источники энергии, например, использование солнечной энергии, которая безгранична по своим запасам, но пока не получено реального практического результата.

Еще остановимся на проблеме получения новых веществ в твердом состоянии. Здесь, пожалуй, большое внимание привлекает задача получения твердого металлического водорода – кристалла из самого простого атома водорода, состоящего из одного протона и одного электрона. В обычных условиях при атмосферном давлении водородный газ из молекул H_2 сжимается при температуре $T = 20,3$ К, а затвердевает в кристалл при $T = 14$ К. Плотность такого нормального водородного кристалла, как показывает опыт, равна $0,076$ г/см³, и он является типичным диэлектриком. Однако при сильном внешнем сжатии, когда электронные оболочки в кристалле раздавливаются, водород, как и все другие кристаллы, переходит в металлическое состояние. При грубой оценке можно считать, что тогда расстояние между ближайшими соседними протонами будет порядка первого борковского радиуса, т.е. величины $a_0 = 0,529 \times 10^{-8}$ см, отсюда легко получить для плотности значение ~ 10 г/см³. Возможно, металлический водород является сверхпроводником, причем из группы ВТСП с критической температурой порядка 100–300 К, поскольку температура Дебая у него порядка 3×10^3 К.

К сожалению, технические трудности, вызванные необходимостью иметь при получении металлического водорода давления более 1–2 мегабар, не позволяют пока получить это интересное вещество, по крайней мере в сколько-нибудь заметном количестве, поскольку известные материалы, включая алмаз, не выдерживают таких нагрузок, и мы не можем просто получить нужную камеру, в которой водород сжимался бы до нужного давления. Поэтому пока указанная проблема остается для дотошных физиков заманчивой задачей, требующей от них еще большей изобретательности.

Кратко остановимся на открытии и практическом применении *лазера*. Под лазером мы понимаем сильный оптический квантовый источник-генератор оптического когерентного излучения, характеризующегося высокой направленностью и большой плотностью энергии. Само слово «лазер» является аббревиатурой слов английской фразы: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, т.е. усиления света в результате вынужденного излучения. Существуют газовые, жидкостные и твердотельные лазеры. Веществами, используемыми для приготовления лазеров, являются диэлектрические монокристаллы и стекла с активными примесями (например, атомами хрома Cr и неодима Nd), некоторые полупроводники и газы (как чистые – Ar, N₂, CO₂ и др.) и смеси газов (например, Ne с He), а также растворы красителей, пары металлов и др. За счет индуцированного излучения, предсказанного еще Эйнштейном, с помощью так называемой оптической накачки заселяются некоторые возбужденные энергетические уровни, а потом с них происходит когерентный переход с излучением, в отличие от обычного некогерентного излучения.

Лазеры получили широкое применение как в научных исследованиях (в физике, химии, биологии и других науках), так и в технике (появилась своеобразная лазерная технология), наконец, лазеры теперь широко используются в практической медицине (например, в хирургии глаза). В последнее время делаются попытки использовать мощное лазерное излучение и в термоядерной энергетике.



3.6. Электронно-вычислительные методы. Компьютеры и кибернетика

Огромное влияние на развитие самого естествознания, его применения в технике и вообще во всей человеческой цивилизации оказало создание мощной электронно-вычислительной техники. Оно началось во время последней мировой войны и было обусловлено растущими потребностями науки и техники, а также и политики. На основе ярких успехов экспериментальной и теоретической физики были созданы разнообразные электронно-вычислительные машины, или, как их теперь называют, *компьютеры*.

Как в свое время паровая машина и другие двигатели освободили человека от тяжелого физического труда, так и современные компьютеры освободили ученых и инженеров от рутинного труда длительных математических вычислений. Сейчас компьютеры весьма широко внедряются не только в научных учреждениях, конструкторских бюро и на производстве, но и в повседневной жизни человеческой семьи. Уже созданы и внедрены в практику свыше полудесятка поколений компьютеров. Особенно важно, что созданы персональные компьютеры, которые успешно используются учеными в лабораториях и инженерами на производстве, техническими работниками в самых различных учреждениях, а также для домашних вычислительных работ и детских игр. Применение этих аппаратов с самого начала сводилось к количественной обработке получаемых физиками и инженерами математических формул и выводов. Они позволили сравнивать получаемые численные результаты с экспериментом и делать дальнейшие научные предсказания, что есть и остается на будущее важнейшей задачей компьютеров. Но компьютеры выступают и как вполне самостоятельный источник наших знаний вместе с экспериментальными исследованиями. Поэтому, наряду с традиционным делением физики на экспериментальную и теоретическую, можно говорить, что появилась еще и ее третья ветвь – «вычислительная физика».

Из нового и существенного, что внесла компьютеризация в науку, отметим создание по существу совершенно новой дисциплины – *кибернетики* (термин происходит от

греческого слова – «искусство управления»), науки об управлении, связи и переработке информации. Объектом исследования данной научной дисциплины являются так называемые кибернетические системы, рассматриваемые абстрактно, вне зависимости от их материального содержания. Примером таких систем могут служить: автоматические регуляторы в технике компьютеров, человеческий мозг, биологические популяции (совокупности живых особей одного вида), человеческое общество и т.д. Каждая из систем представляет собой совокупность множества взаимосвязанных объектов, которые способны воспроизводить, запоминать и перерабатывать информацию и обмениваться ею.

Современная кибернетика состоит из ряда самостоятельных разделов. Ее теоретическое ядро образуют разнообразные теории – информации, алгоритмов (способов вычисления задач), автоматов, исследования операций, оптимального управления и распознавания образов. В кибернетике разрабатываются общие принципы создания систем управления и систематизации умственного труда. Ясно, что основным техническим средством для решения всех таких задач являются компьютеры. Но здесь ведущую роль, по крайней мере пока, играет сам человек – ученый или инженер, который задает программу работы аппарата.

Очень интересен в связи с развитием компьютерной техники вопрос о построении *искусственного интеллекта*. В настоящее время это понятие используют в двух значениях: как техническую информационную модель человеческой (естественной) способности мышления и как научно-техническую дисциплину, которая решает проблемы имитации человеческого разума. Еще многое находится в стадии поисков и дискуссий, но мы должны всегда помнить, что любой компьютер работает по программам, которые задает человек – его мозг. Чтобы реализовать программу, конечно, нужен компьютер, но сама программа есть часть этого компьютера. Представляя работу человеческого мозга как программу, выполняемую по заданию нашего разума в мозг-компьютере из плоти и крови (нашего организма), вряд ли можно заменить его целиком совершенно автономно работающим компьютером (роботом). И хотя здесь о полном дублировании мозга пока рано (а может быть и никогда не придется) говорить, тем не менее проблема «искусственного интеллекта» – очень важное научное направление,

которое уже сейчас имеет много практических полезных применений. Среди них укажем на возможную разработку новых принципов законодательства, систем организации в различных областях экономики, оптимизации принятия решений в критической ситуации, планирования разработок и распределения ресурсов. Можно также ожидать много интересного в этой области в связи с проблемами создания новых летательных аппаратов, систем организации промышленности для производства новых материалов, обладающих высокой надежностью с наперед заданными эксплуатационными техническими характеристиками.



3.7. Проблемы синергетики

Синергетика представляет собой новую область научных исследований или, как говорит русский ученый Ю.Л. Климонтович, «новое объединяющее направление в науке», главной целью которого является выявление *общих* закономерностей в совершенно различных процессах, происходящих в сложных, открытых, неравновесных системах разнообразной природы: физических, химических, биологических, экологических и т.п. Указанный термин произошел от греческого слова «синэргетикос», что означает «совместный» или «согласованно действующий». Это научное направление возникло и начало бурно развиваться в 70-х годах XX столетия.

Основной причиной появления данной дисциплины, видимо, явилась «встреча» с явлениями возникновения «порядка» из «беспорядка», с которыми физики, химики и биологи столкнулись в своих исследованиях *диссипативных* открытых систем. Диссипативными называют системы, в которых происходит переход энергии из упорядоченного состояния в неупорядоченное, т.е. в тепловую энергию. А открытыми, как мы уже знаем, называются системы, которые могут обмениваться массой и энергией с окружающей средой. Как правило, эти системы далеки от состояния термодинамического равновесия. При указанных превращениях, приводящих к возникновению организованного поведения, оно может обуславливаться как внешними воздействиями, так и являться результатом собственных (внутренних) неустойчивостей. В первом случае мы имеем дело с *вынужденной* организацией, а во втором – с *самоорганизацией*. Само название возникновения порядка – синергетика – было введено в 70-х годах XX века Г. Хакеном. Вначале оно бурно оспаривалось многими учеными, не соглашавшимися с таким названием. Однако теперь эта терминология общепризнана, и в немецком научном издательстве «Шпрингер» уже выпущено в свет почти три десятка томов монографий, посвященных проблемам синергетики.

В связи с задачей выяснения роли синергетики в развитии науки Ю.Л. Климонтович указывает на любопытный исторический факт. Он напомнил своим читателям, что Людвиг

Больцман в свое время назвал XIX век веком Дарвина, имея в виду его теорию эволюции в биологических системах, основанную на принципе естественного отбора. Именно ее Больцман и считал наиболее значительным открытием XIX века. Почему же так думал великий ученый, каким был Больцман, спрашивает себя Климонтович? Ведь XIX век – век термодинамики, созданной Карно, Клаузиусом, Томсоном и другими корифеями науки, век создания электромагнитной теории Фарадея-Максвелла. И, наконец, в XIX веке были заложены количественные основы современной кинетической теории материи, которую наряду с Максвеллом создал сам Больцман. Именно он автор первого кинетического уравнения для описания необратимых процессов, и сегодня являющегося одним из основных в современной статистической физике. Кроме того, Больцман дал первое статистическое определение энтропии неравновесных процессов и сформулировал свою знаменитую H-теорему.

Далее Климонтович опять спрашивает себя, не есть ли высказывание Больцмана о роли Дарвина проявлением скромности великого ученого. И он отвечает, что, может быть, это отчасти и так, но главное в его высказывании – глубина замечательной научной интуиции великого ученого, которой мы удивляемся и сегодня. Несмотря на критику Пуанкаре и других ученых, несмотря на «накал страстей» в соперничестве динамической и статистической теорий необратимых процессов в сложных системах, Больцман с фантастической внутренней силой отстаивал свои взгляды, хотя и не мог в то время опираться на строгие математические доказательства своей правоты. Называя век XIX веком Дарвина, Больцман и утверждал, что его кинетическая теория неравновесных процессов будет основой описания процессов в открытых физических, химических и биологических системах.

Хотя рассматриваемые системы, как правило, далеки от состояния термодинамического равновесия, внутри них при определенных условиях могут возникать упорядоченные подсистемы. Например, типичным для синергетики является появление в нагретом снизу слое жидкости правильных геометрических шестиугольных образований. Они появляются, начиная с некоторых градиентов температуры, и носят название ячеек Бернара. В качестве второго примера можно указать поведение жидкости между двумя вращающимися



коаксиальными цилиндрами. При возрастании скорости их вращения возникает движение жидкости особого вида, организованного в так называемые вихри Тейлора, в которых жидкость движется то наружу, то внутрь в горизонтальных слоях. Дальнейшее увеличение скорости вращения цилиндров приводит к осцилляциям (т.е. колебаниям жидкости), вначале с одной частотой, а потом со многими частотами, и, наконец, наступает хаотическое движение. Подобные явления наблюдаются также в лазерной физике, физике твердого тела, в полупроводниках при росте кристаллов.

Не менее интересны случаи, когда изменения внешних условий вызывают резкие изменения в строительной механике, например, при изгибе стержней, разрушении автоматов, деформациях тонких оболочек, причем такие неустойчивости могут наблюдаться не только в статике, но и в динамике. Аналогичные случаи самоорганизации можно было бы привести из электро- и радиотехники, из электроники.

Важными являются применения синергетики и в химии. Обычно, если при реагировании различных химических компонент проходит достаточно много времени и существует хорошее их перемешивание, то продукты реакции получаются однородными. Но в некоторых реакциях могут возникать временные, пространственные или смешанные пространственно-временные структуры. Наиболее ярким примером может служить так называемая реакция Белоусова-Жаботинского, когда происходит соединение в смеси некоторых веществ и при перемешивании ее возникают колебания концентрации, которые наблюдаются непосредственно глазом при изменении цвета смеси от красного к синему. В замкнутой системе, без подвода новых добавок реагентов эти колебания затухают, но при непрерывной подаче реагентов колебания могут продолжаться неограниченно долго. Возможны случаи и других упорядоченных структур, например, концентрических волн.

Наблюдались и другие синергетические явления как в химии на молекулярном уровне, так и в биохимии с участием сложных биологических многоатомных молекул. Укажем, что синергетика успешно внедряется и в биологию как на клеточном уровне, так и на уровне сообществ (популяций) животных. Известны также применения общих принципов синергетики к иммунным системам живых организмов (т.е. системам, защищающим организм от инфекций).

Синергетика начала вторгаться и в общую теорию вычислительных систем. Можно, оказывается, построить сеть вычислительных машин, которые не подчиняются управляющему компьютеру, а связаны между собой и сами распределяют задания, т.е. в такой системе имеет место *самоорганизация*. Здесь возникает очень интересная проблема: как можно создать надежные вычислительные системы из ненадежных элементов, которые работают на молекулярном уровне. По-видимому, природа справилась с такой задачей в здоровом мозге человека, где мы имеем систему из живых элементов – нейронов. В компьютере с ростом миниатюризации элементов растет и их ненадежность, в данном случае методы синергетики тоже дают свой рецепт борьбы с этим неприятным явлением.

Приведем без доказательства описание приема синергетики, который позволяет построить надежную память из не очень надежных элементов. Для того, чтобы обсудить поведение отдельного элемента, воспользуемся понятием «параметра порядка», который мы определим как частицу, которая движется в двухъямном потенциальном поле. Два рабочих состояния частицы отождествляются с двумя минимумами потенциала. Очевидно, что, если потенциальный барьер низкий, то любой «шум» вынудит частицу беспорядочно перемещаться из одной неглубокой ямки в другую, и рабочее состояние становится невозможным. Однако если связать друг с другом несколько таких элементов, то потенциальный барьер между ямками возрастет, последние эффективно углубляются, и удержание частиц, т.е. параметр порядка станет возможным.

Синергетика в настоящее время уже находит широкое применение и в науках, которые не относятся к естествознанию и технике. С ее помощью научились решать некоторые проблемы экономики, социологии, экологии, философии, логики, искусствovedения и т.д. Подчеркнем, что главное в механизме всех таких применений сводится к тому, что практически во всех случаях рассматриваемые системы состоят из большого числа подсистем, находящихся в весьма сложных и запутанных взаимодействиях. При изменении внешних и внутренних условий процессов, т.е. изменении управляющих параметров, в системах могут образоваться в макромасштабах качественно новые структуры. Системы могут переходить из однородного состояния покоя в неоднородное



динамическое состояние, либо хорошо упорядоченное, либо неупорядоченное. В упорядоченных состояниях могут происходить различные колебания с одной или многими частотами, а может возникать и хаос. Синергетика находит для решения этих проблем мощный математический аппарат, который состоит, как правило, из нелинейных дифференциальных уравнений, причем теория тесно связана с общими проблемами термодинамики необратимых процессов и статистической физикой.

Кратко упомянем о так называемой *нелинейной физике*. Дело в том, что в классической и квантовой физике мы обычно имеем дело с линейными дифференциальными уравнениями, в которые производные искомой функции и сама функция входят линейно. Поэтому сумма отдельных решений этих уравнений тоже является решением, т.е. имеет место так называемый *принцип суперпозиции*. Однако в теории квантованных полей, да и в классической теории мы теперь все чаще встречаемся с нелинейными дифференциальными уравнениями, что значительно усложняет все математические расчеты. Первое знакомство с этой проблемой в классической теории колебаний читатель может найти в книгах Г.С. Горелика или А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э. Хайкина, учеников академика Л.И. Мандельштама, которые одними из первых занялись разработкой нелинейной физики, а также книге академика В.Л. Гинзбурга.



3.8. О проблемах экологии

Экология – это раздел биологии, который изучает организацию и функционирование систем различного типа. К ним относятся:

1. *Популяции* – сообщества людей, животных и растений одного вида.

2. *Биоценозы* – совокупности животных и растений, обитающих в области с более или менее одинаковыми условиями существования, которые развиваются и характеризуются определенными взаимоотношениями между своими членами и средой обитания.

3. *Экосистемы* – природные комплексы, образованные живыми организмами и средой их обитания, связанные между собой обменом веществ и энергией.

4. *Биогеоценозы* – сообщества растений (фитоценозы) и животных (зооценозы), находящихся в соответствующих участках земной поверхности с их особыми свойствами – микроклиматом, строением земной коры, почвой и водным режимом, образующими единый комплекс.

5. *Биосфера* – это одна из оболочек Земли, занятая совокупностью организмов. Она включает в себя нижнюю часть земной атмосферы – тропосферу, всю водную оболочку – гидросферу и верхнюю часть твердой оболочки – литосферу, главным образом, кору выветривания. Верхняя граница биосферы находится примерно на высоте 10–15 км над уровнем моря, нижняя – на глубине 2–3 км ниже уровня моря, а в океанах до 10 км глубины.

Кроме того, экологию определяют как науку о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей средой. Современная экология очень внимательно исследует проблемы взаимодействия именно человека и биосферы. Экологическую науку также подразделяют на *общую* экологию, изучающую основные принципы организации и функционирования различных систем организмов, и *частную* экологию. Можно произвести еще классификацию применений экологических исследований, выделив в них следующие направления: *популяционную экологию*, т.е. экологию населения, изучающую популяцию совокупностей особей, объеди-



ненных общей территорией. Далее выделяют экологию сообществ, или *биоценологию*, изучающую структуру и динамику природных сообществ (ценозов), совокупностей совместно обитающих популяций различного типа, а также *биогеоценологию*, т.е. раздел общей экологии, исследующий экосистемы.

Частная экология делится на экологию растений и экологию животных. Кроме того, имеется и множество других разделов, среди которых упомянем (в связи с их большой актуальностью) вопросы влияния человеческой цивилизации на природу и защиту последней от вредных последствий урбанизации, в связи с чем уже в середине 20-х годов XX столетия возникла специальная дисциплина – *экология человека*. Заметим, что термин «экология» был предложен немецким зоологом Э.Геккелем в 1866 году. В России начало экологическим исследованиям положил известный русский зоолог профессор Д.Н.Кашкаров, который долгое время работал в Ташкенте, заведывая кафедрой в Средне-Азиатском государственном университете.

Основной задачей экологии на современном этапе ее развития являются изучение количественными методами (вот тут и нужна помощь математики и физики) основ структуры и функционирования природных и созданных человеком систем, что имеет очень важное значение для дальнейшего возможного обитания человека на Земле. Мы должны всемерно стремиться к тому, чтобы в разных отраслях промышленности, особенно в тех, которые наносят существенный вред окружающей среде, разрабатывать с помощью математики, физики и химии *экологически чистые технологии* и вести непрерывную борьбу с нарушителями экологической чистоты, что приобретает особое значение на современном этапе научно-технической революции, когда влияние человека на биосферу резко возросло.

Экология также является теоретической основой для рационального ведения различных промыслов, например, рыболовства и рыбовоспроизводства, охотничьего хозяйства и т.п. Очень важно сохранять чистоту водной оболочки Земли – рек, озер, морей и океанов. В качестве примера сошлемся на авторов американского научного журнала «Диалог-США» № 44 за 1990 год. Там приведен положительный результат действия людей совместно с самой природой, очис-

тивших от загрязнения реку Каламазу в штате Мичиган. Река была полна самых разнообразных загрязнений и фактически полностью мертва для жизни животных и людей. И вот, благодаря настойчивым совместным усилиям людей и самой природы, река ожила, теперь в ней снова живут многочисленные цапли, утки, форели и окуни. И все это происходит вблизи тех же, что и раньше, многочисленных фабрик и заводов, которые продолжают нормально и успешно действовать, но только теперь они строго придерживаются экологического режима.

Таким образом, многие экологические проблемы, которые по своей сложности кажутся непреодолимыми, на конкретном локальном уровне, при добром желании людей могут быть вполне успешно решены. В том же американском журнале в № 46 за 1991 год высказывается любопытная мысль, что именно при частном предпринимательстве мы будем иметь наиболее эффективные стимулы для сохранения чистоты рек, озер и лесов. Эта точка зрения принадлежит крупным ученым, которые имеют заметное влияние на политическую и научную жизнь США – Ричарду Л. Строупу и Джейн С. Шоу из университета штата Монтана. Они считают, что, поскольку государственные чиновники тратят на экологические проблемы не свои собственные, а правительственные денежные средства, им не хватает стимулов, способных сделать их деятельность результативной. Поэтому лучшей гарантией чистоты земли, воздуха и воды является рынок и система частной собственности на землю. Они указывают также, что поскольку все больше людей стремится проводить свободное время в красивых и экологически чистых местах, то охрана окружающей природной среды будет все более доходным капиталовложением. В качестве примера приводится частный курорт Биг-Скай, созданный в 70-х годах XX века в штате Монтана, где посетителям предоставляется возможность наслаждаться чистой и красивейшей природой северной части Скалистых гор. Собственники земли в этом районе очистили и обезопасили местность от загрязнений, хотя и значительно увеличили стоимость земли.

Конечно, все это не означает, что частные организации в состоянии решить все экологические проблемы. Здесь, наверное, необходимо иметь тесное и разумное сотрудничество между частной инициативой и разумным участием государ-

ства. И, конечно, необходимо всемерное использование физических, химических, биологических и математических количественных методов в применении к рациональному ведению соответствующего экологически чистого хозяйства.

Хотелось бы отметить и интересный факт создания великолепного в экологическом смысле района на Северном Кавказе вокруг города Кисловодска в Ставропольском крае, возникшего еще в первой половине XIX века. Прекрасный уголок чудесного кавказского предгорья с очаровательным видом на двуглавую сверкающую белоснежную вершину Эльбруса стал любимым местом отдыха многих десятков и даже сотен тысяч людей. В этом экологическом оазисе чистейший воздух, многочисленные целебные воды и вся окружающая среда способствуют укреплению жизненных сил и всей психики человека.

Подчеркнем, что научно-техническая революция связана с непрерывной интенсификацией и расширением деятельности человеческого общества. Указанное обстоятельство обостряет взгляд и на экологические проблемы, связанные с сильным побочным влиянием технической деятельности человека на состояние и свойства атмосферы, тепловой режим планеты, фон радиоактивности, загрязнение мирового океана, а также других водоемов и уменьшение количества источников чистой пресной воды, истощение невозобновляемых природных сырьевых и энергетических ресурсов, выделение в биосферу переработанных биохимических и токсичных отходов, которое оказывает вредное влияние на физическое и психическое здоровье людей. Все эти социальные аспекты экологии стали предметом научных исследований, особенно в самые последние десятилетия.

Предмет и статут социальной экологии является предметом жарких дискуссий. В частности, она понимается либо как наука о социальных механизмах взаимосвязи человеческого общества с окружающей средой или как наука, делающая акцент на человеке как биологическом виде

Экология существенно изменила научное мышление не только естественников, но и гуманитариев, выработав специфическую экологическую идеологию. С помощью количественного системного подхода экология анализирует природную среду как сложную дифференцированную систему, различные компоненты которой находятся в динамическом

равновесии. При этом биосфера Земли рассматривается как обиталище человечества, где природа и деятельность человека связаны в единой системе «природа – общество», раскрывающей воздействие человека на равновесие природных экосистем и ставящей вопрос об управлении и рационализации взаимоотношения человека и природы. Планетарный характер воздействия человека на среду его обитания требует международного сотрудничества для осуществления общенациональных и межгосударственных мероприятий.



3.9. О зарождении органической жизни на Земле

Поставим важный вопрос о зарождении жизни на Земле и развитии органической жизни не только на ней, но и вообще в различных частях Вселенной. Согласно современным научным воззрениям, жизнь возникла на Земле из «сырья», изготовленного звездами, благодаря случайному обстоятельству – положению возбужденного уровня энергии в атомном ядре углерода ^{12}C , которое позволило происходить его синтезу из атомных ядер гелия и бериллия. Но это могло случиться не только на нашей Земле (такая точка зрения была бы слишком самонадеянной).

В последние годы биохимики достигли значительных успехов в понимании того, какие условия нужны для формирования жизни органических существ. В 1953 году в Чикаго американские ученые Миллер и Юри произвели замечательные опыты, воссоздав в лабораторных условиях ситуацию, которая, как они полагают, существовала на Земле 3–4 миллиарда лет тому назад. В результате многодневных опытов им удалось синтезировать большие количества важных органических молекул. Хотя и возникло еще не живое существо (вроде амебы), полученный результат подтвердил предположение о том, что в довольно широком интервале условий возможно образование «предбиологического» строительного материала. И современные биохимики твердо верят, что пусть и не так скоро, но они или их последователи смогут искусственно создать и настоящий живой организм. Переход от «кирпичиков» предбиологического материала к живым самовоспроизводящимся организмам является самым трудным звеном, и здесь еще многого мы пока не понимаем.

Ученые-биохимики уверены, что органическая жизнь вполне может возникать и развиваться на других планетах в окрестности большинства звезд, подобных нашему Солнцу. Уже открыты планеты, значительно большие по размерам, чем наша Земля, у ряда ближайших звезд. Возможно, что в существующей на них органической жизни основой является не углерод, а жизнь развивается на совершенно другой биохимической основе. В настоящее время биологическое вещество можно рассматривать как *четвертую* разновид-

ность агрегатного состояния вещества – газ, жидкость, твердое тело и биологическое вещество.

Возникла и специальная наука экзобиология, изучающая жизнь вне Земли, в настоящее время она еще находится без реальных объектов исследования, однако полна теориями. Для обнаружения жизни на других планетах имеются в принципе два способа. Один из них – это космические полеты, но он пока недоступен, по крайней мере, при современной космической технике. Недоступность связана также с тем, что при околосветовых скоростях полета становятся смертельно опасными столкновения со встречными частицами, метеоритами и излучением. Второй способ более надежный – радиосвязь. Но возникает вопрос: где с ее помощью надо искать соответствующие объекты с органической жизнью? Заметим, что количество звезд – миллиарды миллиардов объектов! Интенсивные изыскания в этом направлении тем не менее идут все время. Самое сложное при рассмотрении места человека во Вселенной состоит в том, что человек представляет собой весьма частный случай, появление которого требует непременно выполнения весьма специфических условий.

3.10. Место человека во Вселенной

В заключение нашего курса остановимся еще раз на выяснении места человека и вообще человечества во Вселенной, а также рассмотрим вопрос об условиях и возможности жизни в Космосе.

До Коперника в просвещенном обществе господствовала точка зрения, согласно которой человечество наделялось исключительным правом считать, что оно находится в центре Вселенной. Наша Земля считалась специально сотворенной для пребывания на ней человека и являлась той осью, вокруг которой вращалось «колесо» всего Космоса, все в мире подчинялось «уникальному жилищу» человека – центру деятельности всего в мире.

Однако после трудов Коперника и особенно в настоящее время научная картина мира, т.е. картина Вселенной, а вместе с тем и картина существования человека на Земле, которая в XX веке принята всеми сознательными и образованными людьми, стала как нельзя более удаленной от прошлого эгоцентрического «бреда». Земля теперь навсегда лишилась своего исключительного положения во Вселенной, а ее состояние и происхождение считается во всех отношениях *типичным* и *заурядным* для всех частей Вселенной. Так же и Солнце – обычная звезда в огромном числе звезд нашей Галактики, которая не выделяется чем-либо особенным из миллионов других галактик, рассыпанных по бескрайним просторам Вселенной. Если Солнце, Земля и вся наша Галактика столь типичны, то легко себе представить, что и биосфера Земли, и человеческое общество – также типичные явления в Космосе.

В настоящий момент (в свете подобных представлений) стало привычным рассматривать *жизнь* как один из обычных этапов эволюции и самоорганизации во Вселенной. Мы теперь знаем, что Вселенная возникла из огненного шара, и все удаленные от нас части Метагалактики подчинены одним и тем же законам астрономии, физики и химии. Это надежно установлено на основании спектроскопических и радиоспектроскопических наблюдений, которые производятся с помощью разнообразных приборов. Однако утверждение, что другие части Вселенной подчинены таким же *биологи-*

ческим законом, все еще вызывает довольно много споров. Причина их лежит в больших трудностях, которые имеются на пути изучения внеземной биологии.

Если жизнь – действительно всемирное явление, то такое предположение решительно меняет все наши оценки важности места человека во Вселенной. Потребуется столь же значительный пересмотр всех наших представлений, как и в случае появления учения Коперника. Встает вопрос: неужели действительно так неоригинальна жизнь на Земле?

Мы уже приводили некоторые доводы в пользу широкого распространения законов биологии в бесконечных просторах Метагалактики. Важно то, что земная биология находится в постоянной зависимости от непрерывного термодинамического *неравновесия* вблизи мощного генератора *негэнтропии* – Солнца. Из наблюдений астрономов следует, что во Вселенной нет недостатка в градиентах температур, но жизнь, кроме неравновесия, нуждается еще и в большом промежутке времени для своей эволюции. Например, чтобы от амёбы пройти путь до человека, требовалось бы до трех миллиардов лет, а это уже заметный промежуток времени в существовании Солнца и Земли.

Солнце, по данным современной астрофизики, находится в весьма устойчивом состоянии. Хотя для жизни на Земле необходимо *неравновесие*, постоянство условий, создаваемое Солнцем в окружающем его пространстве и обусловленное испусканием огромного количества лучистой энергии, тоже имеет место, но для самого Солнца такие потери энергии являются лишь *слабым возмущением* его внутренней структуры. Поэтому нет пока противоречия между термодинамическим неравновесием вокруг Солнца и долгосрочной стабильностью источника негэнтропии. Для жизни также нужно особое «сырье», что, по-видимому, накладывает очень жесткие ограничения на характер среды, подходящей для развития органической жизни. Биохимики, несмотря на многие еще не очень понятные проблемы происхождения жизни, полны оптимизма в том смысле, что жизнь должна развиваться в окрестностях большинства звезд того же типа, что и наше Солнце, если около них есть планеты, подобные Земле. Но пока, к сожалению, мы не нашли такие планеты, т.к. это слишком мелкие космические образования, чтобы их можно было наблюдать в существующие сейчас приборы



астрофизиков и подвергнуть детальному изучению. Тем не менее, уже открыты планеты, не похожие на Землю (много большие по размерам, чем Земля) около ближайших к нам звезд, и некоторые биологи предполагают, что на них может возникнуть совершенно иная жизнь, которая *не* основана на соединениях углерода и воде.

Главный вопрос еще не решен: существует ли жизнь повсюду или она – исключительное событие, случившееся в условиях нашей солнечной системы? Поскольку биологическое вещество – одно из агрегатных состояний материи, оно может образовываться естественно и неизбежно, но, конечно, при наличии строго определенных условий. Пока что мы должны с некой долей оптимизма довольствоваться лишь утверждением вероятностного порядка: планеты с органической жизнью являются не исключительным случаем Земли.

И все же нас мучает вопрос о том, насколько специфична наша Вселенная. Самое удивительное, что за несколько десятилетий существования радиоастрономии мы узнали о происхождении и строении Вселенной больше, чем за тысячи лет наблюдений до этого. Успехи астрономии, астрофизики и всей космологии последних лет внесли определенные представления о месте человека во Вселенной. Даже сейчас трудно со всей определенностью сказать, насколько «тонко» зависит жизнь от физических и химических условий окружения. Но, пожалуй, мы можем, или вернее, должны сказать, что наш мир устроен так, а не иначе, не для того, чтобы нам было удобно в нем жить. Наоборот, мы созданы так, а не иначе, чтобы соответствовать этому миру.

Пока нам не известно до конца, в какой мере должна была бы измениться организация Вселенной, чтобы все мыслимые формы жизни стали невозможными. Скажем, что если бы фоновая реликтовая температура была равна не трем градусам Кельвина, а, например, близка к комнатной температуре (около 300 К), то необходимое для жизни термодинамическое неравновесие могло существовать лишь на более жаркой планете, где вода находилась бы в парообразном состоянии, а жидкая фаза воды необходима именно для нашей формы жизни. Кроме того, высокая температура реликтового фона вообще бы препятствовала созданию галактик во Вселенной в целом, ибо при таком уровне фона излуче-

ние преобладало бы над веществом с его гравитационным притяжением, а без галактик не могла бы возникнуть и жизнь. Кроме указанного условия, обязательного для существования жизни, требуется еще, чтобы существовали достаточно устойчивые звезды типа нашего Солнца, а это зависит от соотношения гравитационных и ядерных сил в микромасштабах, что лежит в основе «жизни» звезд, подобных нашему Солнцу.

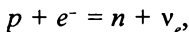
Важно понять, что существование во Вселенной разумной жизни не объясняет тех свойств, которые необходимы для ее бытия. Если они были совсем другие, то мы бы об этом не знали, так как нас тогда просто не было. Мы живем во Вселенной потому, что в ней есть почему-то такие условия, которые необходимы для существования земной жизни. Современная научная картина Вселенной, данная нашей наукой, абсолютно противоположна той картине, которая покоилась на религиозных догмах. Согласно современной науке, существенным фактором являются крупномасштабные свойства Вселенной, а положения в ее локальных участках «образуются сами собой». При подходящих глобальных условиях неизбежно должны возникать такие локальные, удобные для возникновения жизни системы, как наша Солнечная система.

Когда мы спрашиваем себя, что такое Вселенная, как она родилась и каковы законы ее эволюции, то лучше всего ответить словами знаменитого немецкого математика Германа Вейля (1885–1955), который писал: «Мир не “оказывает-ся”, он просто “есть”!» Мир – это и есть пространство-время, материя, различные взаимодействия, идущие из прошлого в будущее, от точки к точке, от события к событию в великом сплетении многообразия и многосложности их сосуществования.

Еще раз напомним об *антропном принципе*, о котором шла речь во второй части нашего курса. Здесь очень важным представляется вопрос о фундаментальных мировых постоянных физики. В 1991 году в журнале «Успехи физических наук» по данному вопросу появилась очень интересная статья известного физика Л.Б. Окуня. Дело в том, что существование человечества на Земле в значительной степени зависит от вполне определенного набора значений мировых фундаментальных констант, какими они возникли в процессе кос-



мологической эволюции Вселенной на ее ранних стадиях развития, причем они с большей или меньшей вероятностью могли иметь и другие значения. Например, как указывает в своей статье Л.Б. Окунь, если бы разность масс покоя нейтрона и протона была бы на один МэВ меньше существующей, стабильной частицей был бы нейтрон, а не протон, и поэтому атом водорода стал бы нестабильной микрочастицей. Тогда была бы возможной такая ядерная реакция:



вся эволюция образования и сгорания звезд была недолговечной, и органическая жизнь стала бы невозможной.

Следовательно, все строение и эволюция Вселенной крайне чувствительны к совсем небольшому, как выражается Окунь, «шевелению» величин массы покоя различных микрочастиц, что точно так же относится и к энергии связи нуклонов в ядрах. Ее изменение могло бы совершенно изменить характер термоядерных реакций внутри звезд. Различие масс покоя нейтрона и протона, как теперь известно, зависит от соотношения этих масс у разных типов кварков, из которых состоят протоны и нейтроны. Таковую необычайную чувствительность всей жизни Вселенной к *расположению* энергетических уровней нуклонов в атомных ядрах мы уже видели на примере «знаменитого» уровня возбужденного состояния атомного ядра изотопа углерода ^{12}C с энергией в 7,65 МэВ. Согласимся со словами автора статьи: «Когда глядишь на расположение уровней энергий атомного ядра изотопа ^{12}C и видишь там этот уровень с энергией в 7,65 МэВ, то душу охватывает чувство глубокой благодарности к нему за то, что он не спустился на некоторое число МэВ ниже!» Природа дала нам очень малый запас прочности для построения органического мира во Вселенной.

Антропности Вселенной посвящено очень много научной и научно-популярной литературы. Мы можем также, следуя Окуню, указать, что для будущего развития физики очень важным фактором являются так называемые планковские значения фундаментальных масс, длин и времен. Они получаются из комбинаций трех мировых постоянных: константы G , постоянной Планка h и скорости света в вакууме c .

Тогда, для массы Планка m_p мы имеем:

$$m_p = (hc/2\pi G)^{1/2} = 1,2 \times 10^{19} \text{ ГэВ}/c^2,$$

длина Планка равняется:

$$l_p = h/2\pi m_p c = 10^{-33} \text{ см,}$$

время Планка:

$$t_p = h/2\pi m_p c^2 = 10^{-43} \text{ сек.}$$

Еще в 1918 году Эддингтон вслед за Планком подчеркивал, что из всех физических систем единиц *система cGh* является абсолютно выделенной и что планковская длина «должна служить ключом к некоторой весьма существенной структуре материи». Однако другой физик Бриджмен (это отражено в его известной и весьма полезной книге «Анализ размерностей») в противоположность Эддингтону считает, что планковская длина не имеет никакого значения для реальной физики. Теперешнее состояние физической науки склоняет чашу весов в сторону именно предсказания Эддингтона, а не критики Бриджмена.

В заключение нашего курса остановимся еще раз на понятии и чувстве времени. Человек наблюдает Вселенную не как *единое явление*, а лишь ее малую часть в «окошко» своего *разума*. Картина, которую мы видим, представляет собой своеобразный «кинофильм». Она движется, мир полон действия. События случаются потому, что проходит время, причем только в одном направлении. В психологии людей понятие «время» отлично от времени, с которым мы имеем дело в физике, где есть только различия прошлого и будущего, а в нашем уме различается еще и настоящее – *теперь* или *сейчас*.

Что такое «сейчас»? Его нет в физике, а особенно в современной физике, где специальный принцип относительности Эйнштейна открыл нам относительность понятия одновременности. Для всех точек пространства нет единого общего настоящего момента. Поэтому одна из характерных черт мысленного «сейчас», предполагающая, что все люди повсюду испытывают одно и то же «сейчас», оказывается неоправданной экстраполяцией. Всеобщего «сейчас» не существует, есть только индивидуальное «здесь и сейчас». Это является важным указанием на то, что истоки разделения времени на прошлое, настоящее и будущее надо искать в нашем разуме, а не в физике. «Сейчас» в нашем



сознательном мироощущении представляется все время движущимся из прошлого в будущее. Такое ощущение и создает у нас резкое различие между прошлым и будущим, что отражено и в нашем языке: время «летит», будущее «становится» реальностью, а прошлое «уходит», как и человек нас покидает, умирая.

Повторяем, для нас существует только настоящее. Все время как бы происходит непрерывное умственное творение – мир в каждое мгновение обновляется. Взаимосвязь последовательных миров создает у нас впечатление, что один мир «превращается» или «переходит» в другой, «последующий» мир. Ничего подобного в физике нет, не было физических экспериментов, которые позволили бы установить течение времени. Обращаясь к объективному окружающему нас миру, мы теряем ход времени, он пропадает, как призрак.

Таким образом, в существующей ныне картине мира и места человека во Вселенной будущее несомненно должно принести открытие новых данных о природе пространства и времени, которые раскроют перед нами новые глубокие и широкие перспективы в понимании и использовании взаимосвязей между человеческим разумом и бесконечно разнообразной природой нашей Вселенной.

Литература

Бронштейн М.П. Атомы и электроны // Библиотечка «Квант». Вып. 1. М.: Наука, 1980.

Миздал А.Б. Квантовая физика для больших и маленьких // Библиотечка «Квант». Вып. 75. М.: Наука, 1989.

Фейнман Р. Характер физических законов // Библиотечка «Квант». Вып. 62. М.: Наука, 1987.

Чернин А.Д. Физика времени // Библиотечка «Квант». Вып. 59. М.: Наука, 1987.

Кеннет Форд. Мир элементарных частиц. М.: Мир, 1965.

Фраунфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика. М.: Мир, 1989.

Физика микромира. Маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1980.

Оррир Дж. Популярная физика. М.: Мир, 1966.

Девис П. Пространство и время в современной картине Вселенной. М.: Мир, 1966.

Хокинг С. От большого взрыва до чёрных дыр. Краткая история времени. М.: Мир, 1990.

Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.

Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 1: Введение в атомную физику. М.;Л.: ГИТТЛ, 1949.

Эллиот Л., Уилкоккс Г. Физика / Пер. с англ. М.: Наука, 1975.

Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1983.

Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. М.: Бюро Квантум, 1995.

Горелик Г.С. Колебания и волны: Введение в акустику, радиофизику и оптику. М.;Л.: ГИТТЛ, 1950.

Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. 2-е изд. М.: ГИФМЛ, 1959.

В.Ю. Ирхин, М.И. Кацнельсон

**Естественно-научный
и гуманитарный подходы
к современному мировоззрению**

В оформлении использованы работы М.К.Эшера.

Предисловие

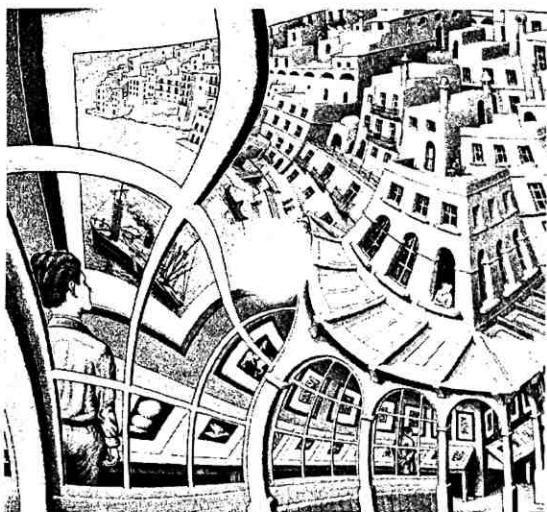
Не секрет, что в настоящее время как в России, так и в мире в целом заметна тенденция к падению интереса к «классическим» естественным наукам. В то же время наблюдается размытие границ между различными науками, даже между гуманитарными и естественными, и растет интерес к «пограничным» отраслям знания. В силу последнего обстоятельства, знакомство с естественными науками не через «третьи руки» становится актуальным для людей со специфически «гуманитарными» интересами. С учетом этих тенденций и для расширения возможного круга читателей было сочтено возможным включить в настоящее издание дополнение, посвященное месту естественных наук в общей картине мира современного человека, и добавить соответствующую библиографию. Разумеется, вступая в эту обширную и непростую область, мы сталкиваемся с рядом проблем. В частности, отбор материала и обсуждаемых точек зрения неизбежно становится субъективным. В то же время мы надеемся, что местами дискуссионный характер дополнения будет способствовать активной выработке собственного мировоззрения читателя.

Сергей Васильевич не успел подробно осветить эту тему, и мы излагаем соответствующий материал исходя из собственных оценок. Однако нам кажется, что он прочитал бы этот текст со свойственным ему доброжелательным вниманием и интересом, поскольку нам известна широта его взглядов из личного многолетнего общения с ним. Было бы неправильно судить о мировоззрении Сергея Васильевича по его немногочисленным публикациям, касающимся философских вопросов: на них наложило свой отпечаток тяжелое время, пережитое нашей страной. Приведем в этой связи отрывок из письма к Т.П. Козляковской от 16.01.94:

И вот то, что я написал в ответ на статью [Тростникова] из «Нового мира», – это тоже еще отрывок от рабства. И вот, может теперь... я найду в себе силы душевные, чтобы изгнать все рабское, что сохранилось внутри меня. В чем я согласен с тобой полностью это с тем, что должна быть какая-то идея. Здесь может быть много разных путей. Здесь и наука, и искусство, и религия. Все они ставят свои цели. Самое главное, это чтобы общество было высоко интеллигентным, вот, наверное, это самое главное, мой друг.

О богатстве мировосприятия Сергея Васильевича говорят заключительные страницы последней главы книги, впечатляющие своей глубиной. Наше дополнение как раз касается поднятых там вопросов.

*В.Ю. Ирхин
М.И. Кацнельсон*



Введение

Вот что я вижу и что приводит меня в смятение. Куда бы я ни поглядел, меня везде окружает мрак. Все, являемое мне природой, рождает лишь сомнение и тревогу. Если бы я не видел в ней ничего, отмеченного печатью божества, я утвердился бы в неверии; если бы на всем видел печать творца, успокоился бы, полный веры. Но я вижу слишком много, чтобы отрицать, и слишком мало, чтобы преисполниться уверенности, и сердце мое скорбит... Я по-прежнему не понимаю, что я такое и что я должен делать, не ведаю ни своего положения, ни дома.

(Б. Паскаль. Мысли)

Лицемеры! лице земли и неба распознавать умеете, как же времени сего не узнаете? Зачем же вы и по самим себе не судите, чему быть должно?

(Евангелие от Луки 12:56-57)

– Родится ли истинная вера у существ, если они услышат такого рода речи?

– Не говори так ... Тщательное изучение подобного рода речей сможет породить разум, исполненный веры, если к этим речам они будут относиться как к истине.

(Алмазная сутра)

Важнейшую роль в построении технической цивилизации и культуры, в которой мы живем, сыграла естественно-научная картина мира, основанная на постулировании объективных (не зависящих от человека) законов природы. Она доминировала в сознании европейцев в течение некоторого времени (в основном на протяжении «рационалистического» XIX века, после разрушения традиционной религиозной картины). Как сейчас становится очевидным, такая картина является не единственной и имеет весьма ограниченную область применения. Это не может не вызывать ощущения неудовлетворенности у всех мыслящих людей.

В науке мне не хватало смысла, а в религии фактов.

(К.Г. Юнг. Воспоминания)

На протяжении XVIII в. выросла печально известная пропасть между верой и знанием. Вере недоставало опытного подтверждения, науке же недоставало души.

(К.Г. Юнг. AION)

На протяжении прошлого столетия и частично предшествующего общепризнанной была непримиримость конфликта между знанием и верой. Среди передовых умов превалировало мнение, что настало время все больше заменять веру знанием... Это правда, что убеждения лучше всего поддерживаются опытом и ясным сознанием... Однако убеждения эти, необходимые и определяющие для нашего поведения и суждений, нельзя обнаружить исключительно на твердой стезе науки.

(А. Эйнштейн. Science and Religion)

Несмотря на все достигнутые практические успехи, проблемы смысла остаются для человека главными.

Что толку, что вы Космос допросили?
Часть тайны выдав, он все так же в силе.
Его не прошибешь миллиардерством,
И, с вашим не считаясь люциферством,
Он снова сбросит вас –
И в том ваш «звездный» час.

(Н. Матвеева)

В настоящее время вновь происходит обращение человека «внутрь себя» и, в процессе поисков смысла жизни, возврат к традиционным духовным ценностям.

Допустим, что ты знаешь определения всех субстанций
и того, что они порождают.

Какой в этом толк?

Знай подлинное определение самого себя.

Это незаменимо.

А когда ты узнаешь определение для самого себя,
беги от него, чтобы ты мог достичь Одного,
которого определить невозможно, о просеиватель

праха.

(Руми, Маснави 5)

Наблюдается бурный рост гуманитарных наук, в особенности психологии, которые, благодаря отказу от модели абсолютного противопоставления субъекта и объекта, позволяют обратиться к потребностям человека, выходящим за рамки

материальных. Как реакция на «чересчур полное» разделение наук на естественные и гуманитарные, радикально различающиеся своими методами, все больший интерес вызывают «пограничные» области исследования (биофизика, синергетика, социология и даже парапсихология), в то время как интерес к традиционным естественным наукам падает. Эти процессы далеко зашли на Западе, но они заметны и в России. Как бы то ни было, естественные науки далеко не исчерпали своих резервов, и их связи со многими областями культуры только углубляются.

Несмотря на отмеченную принципиальную неполноту, к концу XX века естественные науки образуют стройное и в основном завершенное здание, а попытки «подкопа» под него кустарными средствами наивны. Не являясь специалистами в области философии и гуманитарных наук, мы можем отметить недостаточный уровень понимания естественно-научных вопросов гуманитариями, что делает их легкими жертвами наукообразно (например, математически) оформленных и нередко недобросовестных спекуляций. Отсюда возникает актуальная сейчас проблема «лженауки». С другой стороны, среди ученых-естественников часто возникает отторжение с ходу любых идей о «духовных факторах» и пренебрежительное отношение ко всему, выходящему за рамки их кругозора (в ряде случаев причиной этого является тривиальное непонимание образного и символического языка религиозных текстов и т.д.). Такая позиция чревата неразличением истинной духовности и подделок под нее, ведущим к опасному отсутствию иммунитета по отношению к последним.

Придерживающиеся же традиционных религиозных убеждений ученые-физики обычно ограничиваются простой констатацией согласованности науки и религии без серьезной аргументации (см., напр., лекцию М. Планка «Религия и естествознание»). Впрочем, в конечном счете такие вопросы действительно должны решаться каждым человеком заново путем *личных* усилий.

Имеющиеся попытки осмысления ситуации в современной науке в широком ракурсе как правило основаны на «модных» восточных философских подходах, часто поверхностно понятых (что, впрочем, неизбежно: для по-настоящему глубокого понимания здесь нужны радикальная смена понятийного аппарата и разрыв с западной традицией, которая всегда присутствует в сознании или в бессознательном европейца).

Например, изложение в известной книге физика-теоретика Ф. Капры «Дао физики» опирается на индобуддийскую философию и даосизм. При таком подходе не используется главное преимущество западного человека – его личность, сформировавшаяся в христианской культуре.

Зерно личности долго созревало в тебе и
наконец взошло и обрело форму,
Отныне и навсегда ты в безопасности,
что бы с тобой ни случилось.
Долго сучили нить, пока наконец уток не переплел основу,
прочен рисунок ткани.
Все приготовления были продуманы и взвешены,
Долго настраивался оркестр, но вот взлетела
дирижерская палочка.
Желанный гость, которого так долго ждали, устроен в доме.
(У. Уитмен. Мысли о времени)

Кроме того, игнорирование библейской традиции неверно и по существу – при правильном осмыслении она также содержит все необходимые элементы для построения любой «метатеории». Мы попытались восполнить этот пробел и продемонстрировать глубокие собственные корни европейской науки, одновременно излагая и «восточную» точку зрения. В ходе обсуждения естественных наук основное внимание мы уделяем физике, о которой можем судить достаточно профессионально.

Хотя классическая физика успешно работала в своей ограниченной области описания, в квантовой механике ситуация существенно усложнилась – старая картина, по-видимому, действительно оказалась даже внутренне неполной, поскольку возник ряд глубоких парадоксов, связанных с «вторжением» субъекта-наблюдателя в законы природы. По нашему мнению, оптимистические заявления о завершенности новой научной картины мира в настоящее время необоснованы – реально здесь больше поставлено проблем, чем найдено решений. В ряде случаев нам кажется необходимым указать на незаконные (по крайней мере, сейчас) претензии естественных наук и отграничить область их полномочий от других сфер реальности, поскольку «простые» объяснения, основанные на применении неадекватного аппарата и языка, часто ведут к глубоким заблуждениям.

Кратко остановимся теперь на подходе традиционных религий и учений (более подробное изложение см. в нашей

книге «Уставы небес»). В отличие от критического научного метода, важнейшую роль во всех духовных традициях играет авторитет священного писания и предания. Поэтому даже для элементарного аутентичного знакомства с религиозными представлениями необходимо обратиться не к сведениям из вторых и третьих рук, а к оригинальным текстам. Такой подход в целом соответствует и гуманитарным наукам.

Текст есть зеркало, коррегируя по которому мы проходим Путь. Не начав строить текст, то есть продуктивным воображением не начав собирать что-то.., я ничего не пойму.

(М. Мамардашвили)

Мы будем следовать этому принципу, обильно цитируя как канонические тексты, так и апокрифические и философские сочинения, которые в чем-то поучительные для наших целей. Мы не упускаем из виду и модные сейчас (не всегда в хорошем смысле) эзотерические и оккультные трактаты. Некоторые наши комментарии к цитатам (включая восклицательные знаки!) даны в скобках.

Следует подчеркнуть, что религия ставит совершенно другие задачи по сравнению с наукой, так что любые «светские» (в том числе научные) рассуждения с религиозной точки зрения являются второстепенными.

В повествовании Библии нет ровно никакой ни астрономии, ни геологии, ни вообще науки. Совершеннейшей глупостью и полной беспредметностью надо считать попытки богословов «разгадать» повествование Моисея с точки зрения современных научных теорий.

(А. Ф. Лосев. Диалектика мифа)

Священные тексты описывают не столько строение внешнего мира, сколько путь развития каждого человека, приходящего в мир, в особенности стадии его духовного роста («внутренний» смысл Писания); при этом все категории творения приобретают символическое значение. В человеке (микрокосме) отражены все законы Вселенной.

Сотворен был только один человек. Это должно служить указанием, что: тот, кто губит хотя бы одну человеческую душу, разрушает целый мир, и тот, кто спасает одну душу, спасает целый мир; не может один человек возгордиться перед другим человеком, говоря: мой род знатнее твоего

рода; каждому человеку следует помнить, что для него и под его ответственность создан мир.

(Талмуд, трактат Санхедрин)

Во всех религиях также подчеркивается, что Бог пребывает внутри человека.

Ибо вот, Царствие Божие внутри вас есть.

(От Луки 17:21)

Как бы зрачок в глазу – Господь в душе людской:
Искать Его вовне – безумье, труд пустой.

(Ади-Грантх)

Несмотря на все эти различия, научное и религиозное познание дополняют друг друга, хотя с точки зрения религии откровению Писания принадлежит ведущая роль:

И до тех пор, пока ученый и богослов остаются в пределах своих дисциплин, между ними не может быть никакого разногласия... У авторов Священного Писания, или, точнее, у Духа святого, говорившего через них, не было намерения раскрывать то, что не имеет никакого значения в плане Спасения, то есть внутреннюю структуру чувственной реальности.

*(Папа Лев XIII. Providentissimus Deus,
18 ноября 1893)*

Вину за открытый конфликт, который, в конце концов, разразился между верой и знанием, следует возложить на человеческую нетерпимость и близорукость. Между несоизмеримыми вещами невозможны ни конфликт, ни соперничество. Между ними может существовать только взаимная терпимость, ибо ни одна из них не может отнять у другой ее истинность.

*(К. Юнг. *Mysterium Coniunctionis*, с.140)*

Мы не ставим цель выдвижения революционных идей, а тем более новой концепции, объединяющей науку и религию. Скорее мы считаем своей задачей объективное изложение различных (особенно традиционных) точек зрения, которые, по нашему мнению, могут быть полезными для будущего развития науки или для активного формирования личного понимания читателя. Этим объясняется и достаточно концентрированное изложение, сопровождаемое обилием цитат, которые апеллируют не только к логическому, но и к образ-

ному мышлению. Мы сознаем, что выбранный жанр не является легким и требует существенных усилий при чтении. Наконец, на всякий случай напоминаем, что обсуждение очень серьезных вопросов с абсолютной внешней серьезностью было бы ошибкой.

В разделе 1 обсуждается зарождение и современное состояние европейской науки, а также вопрос о критерии истинности знания. Далее мы в основном следуем логике изложения основного текста книги. В главе 2 затронуты вопросы, связанные с микромиром: строение вещества, атомизм, первоэлементы. В главе 3 детально рассматриваются мировоззренческие проблемы, возникшие в связи с квантовой механикой, в частности, проблема взаимоотношений субъекта и объекта. В главе 4 затронуты различные понимания энергии в физике, религии, восточной философии, психологии. В главе 5 мы трактуем понятия пространства, обсуждаем внутренние миры человека, проблему соотношения сознания, тела и мозга. В главе 6 обсуждаются космологическое, термодинамическое и психологическое понятия времени, эволюция и необратимость, происхождение и судьба Вселенной.

1. Западная научная картина мира

И предал я сердце мое тому, чтобы исследовать и испытать мудростью все, что делается под небом: это тяжелое занятие дал Бог сынам человеческим, чтобы они упражнялись в нем.

(Екклесиаст 1:13)

Как идею, как некое предчувствие или желанный идеал мы находим прообраз Игры еще в древности, например у Пифагора, затем на закате античной культуры – в гностических кругах эллинизма, не реже у китайцев, еще позднее – в периоды наивысших подъемов духовной жизни арабско-мавританского мира, после чего следы ее предыстории ведут через схоластику и гуманизм к математическим академиям XVII и XVIII столетий, вплоть до философов романтизма и рун из магических мечтаний Новалиса.

(Г. Гессе. Игра в бисер)

В этой главе мы попытаемся продемонстрировать сложность и неоднозначность как процесса формирования привычной нам западной светской картины мира, так и ее современного состояния (включая и достижения, и понесенные утраты). Для начала отметим, что в некотором смысле западная наука, охарактеризованная во введении, представляет собой уникальное явление.

Наука ищет доказательств, не зависящих от личности исследователя, даже когда предметом исследования является сам человек... Между прочим, эта черта является результатом медленного развития, особенно западной мысли.

(А. Эйнштейн, цит. по Р. Дилтсу)

Наука Востока, как правило, опирается на древнюю традицию, и говорить о ее развитии едва ли правомерно. Например, даже современная буддийская наука (Тибет) слабо отличается от древней и средневековой: главную роль в ней играют дисциплины, связанные с человеком (астрология, медицина).

Ему (царю) были ведомы многие науки, а именно: шрути (писание), предание, санкхья, йога, политика, вайшешика, арифметика, музыка, врачевание, четыре веды, древние ска-

зания и были, астрономия, колдовство, логика, совещания, военное [искусство], стихосложение и счет на пальцах – словом, девятнадцать наук.

(Вопросы Милинды)

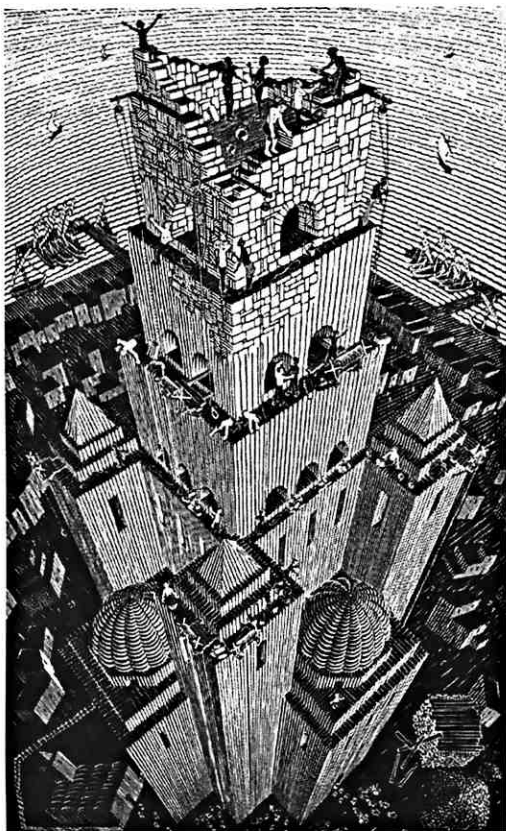
Кроме того, мировосприятие Востока является достаточно цельным, и проблема антагонизма Афин и Иерусалима (рационального философского знания и веры) там никогда остро не вставала.

Наука античности, по существу, сводилась к математике и натурфилософии и, вопреки распространенному мнению, резко отличалась по своим задачам от науки Нового времени (ниже мы постараемся показать, что утверждение о «темных веках» европейского средневековья необоснованно).

Между греческой наукой и наукой современного Запада существует не просто различие, а прямо-таки бездонная пропасть. Отличительная особенность христианского мира – та исторически сложившаяся в нем, и только в нем одном, всеохватность жажды знания, непреклонная настойчивость в поисках истины, которая воплотилась в нашей науке. То, что такая наука с ее универсальностью, не признающей никаких границ, и с ее внутренним единством возникла только на Западе и только на христианской почве, есть бесспорный факт... Для грека предмет познания – космос, то есть Совершенное и Упорядоченное...; все прочее для него ничто, материя... Но если мир есть Творение Божие, тогда все, что есть, достойно познания... И Аристотель, и Демокрит, и даже Фома и Декарт следуют тому же греческому импульсу, расслабляющему движущую пружину науки, – стремятся к замкнутой форме и завершенности.

(К. Ясперс. Ницше и христианство, с. 59–62)

Для характеристики мироощущения древних греков можно вспомнить мистическую философию Пифагора; в качестве редкого примера мышления, близкого к современной физике, можно привести разве что Архимеда. Арабская наука, впитавшая достижения античности и культуры Востока и бурно развивавшаяся в средние века, имела синкретический характер и была тесно связана с религией ислама и толкованием Корана (а также трудов Аристотеля). Хотя европейская наука долго «училась» у более культурных арабов, которые сохранили и передали ей наследие античности, со временем она шагнула гораздо дальше.



1.1. Наука средневековья и переход к Новому времени

Что общего между Афинами и Иерусалимом, Академией и Церковью, еретиками и христианами?

(Тертуллиан. О прескрипции против еретиков)

Мне становилось все труднее вылуцивать мир магии из того, что мы называем сегодня миром точных измерений. Я вновь сталкивался с людьми, о которых еще в школе говорили, что они несут свет математики и физики в дебри суеверий, и обнаруживал, что свои открытия они делали,

опираясь, с одной стороны, на лабораторию, а с другой — на каббалу. ... Вскоре мне в руки попались подлинные тексты, где рассказывалось о том, как физики-позитивисты прямо с университетской скамьи спешили на десерт посетить сеансы медиумов и собрания астрологов и каким образом Ньютон открыл закон всемирного тяготения, вел в существование оккультных сил (я вспомнил его исследование о космологии розенкрейцеров).

(У. Эко. *Маятник Фуко*, гл. 63)

Для того чтобы хотя бы частично решить поставленную задачу, нам нужно попытаться понять средневековое мышление, формировавшееся вместе с христианской цивилизацией. Первоначально (до XII–XIII вв.) католичество, стоявшее в центре культурной жизни Западной Европы, ориентировалось на «субъективную» философию Блаженного Августина (354–430), для которой характерен глубокий психологизм (например, в «Исповеди» дано блестящее описание становления личности христианина), а онтология основана на неоплатонизме.

Средневековая схоластика, часто несправедливо осмеиваемая, позволила критически осмыслить ряд категорий и методов и подготовила почву для европейского рационализма. Например, рационализм св. Ансельма Кентерберийского (1033–1109) проявился в попытке доказать бытие Бога (онтологическое доказательство) и необходимости Его воплощения. Для схоластики характерны дедуктивное мышление и установление авторитетов: на уровне сверхъестественного знания — св. Писания и Предания, а на уровне философии — тексты Платона и Аристотеля. Аргументами в дискуссии служили цитаты, которые играли роль единиц формального языка (наших алгебраических символов). Таким образом, схоластика была противоположна как опытной науке, так и мистическому познанию. Некоторые схоласты, сознавая логическую противоречивость авторитетных текстов, смело опровергали законы аристотелевой логики, включая закон противоречия (см. также обсуждение в книге Л. Шестова «Афины и Иерусалим»). Св. Петр Дамиани (1007–1072; к нему восходят слова «философия — служанка теологии») писал:

Вот, к утверждению, что Бог не может восстановить деву после падения, будто бы последовательно, прибавляют: разве Бог может сделать так, чтобы бывшее стало небывшим? Как если бы раз [навсегда] было установлено, что если дева порочна, уже более невозможно стать ей чистой. Что, конечно, по отношению к природе истинно и право-

мерно утверждать; не может быть, чтобы одному и тому же чего-либо случилось и быть, и не быть [одновременно]. Ведь одно другому противоположно, так что если одно, другого быть не может ... Однако эта невозможность ... никак не касается божественного всемогущества. Ведь тот, кто дал начало природе, легко, если пожелает, устраняет природную необходимость.

(О божественном всемогуществе)

В зрелой схоластике происходит переориентация на Аристотеля, что позволяло строить более четкую и конкретную логику понятий, но и вело к определенным ограничениям. Учение Аристотеля вошло в средневековую философию и культуру благодаря трудам знаменитого теолога, философа и алхимика Альберта Великого (1193?–1280, монах-доминиканец, за широту познаний получивший титул *doctor universalis*, уже в наше время признан святым католической церковью). Он оказал большое влияние на св.Фому Аквинского (1225–1274, *doctor angelicus* – ангельский доктор), учение которого (томизм) в дальнейшем стало официальной доктриной (согласно энциклике папы Льва XIII от 1879 г. – «вечной философией») католической церкви и активно используется ею сейчас. В частности, Фома провозглашал примат разума над волей. Для его сочинений (хотя он положительно относился к астрологии и алхимии), в противоположность ранним схоластам, характерен упор на здравый смысл (см. также Г.К. Честертон «Святой Фома Аквинский»).

Самый интеллектуальный свет в нас есть не что иное, как некое подобие, через причастие к нему, того несотворенного света, в котором заключаются все вечные истины.

В согласии с «Метафизикой» Аристотеля Фома пишет:

Только то исключено из всемогущества Бога, что противоречит сущности разума (!), а именно, что нечто одновременно существует и не существует или что бывшее стало небывшим.

Главный труд Фомы Аквинского «Сумма теологии» остался незаконченным из-за резкой смены интересов после личного мистического озарения, происшедшего незадолго перед его смертью.

Дни моего писания закончились; ибо такое было открыто мне, что все, что я написал и чему учил, представилось мне ничего не значащим, поэтому я уповаю на Бога моего в том,

что, равно как пришел конец моему учению, так и жизни моей наступит конец.

(Цит. по Дж. Кэмпбеллу).

Впрочем, переход к мистике на определенном этапе был характерен для многих теологов. Отношение к науке другого крупного мистика (уже восточного христианства) – св. Григория Паламы видно из следующих слов:

Поэтому мы не мешали бы обучаться внешней науке желающим их тех, кто не избрал монашеской жизни, но всю жизнь заниматься ею никоим образом не советуем никому, а ожидать от нее каких-либо точных познаний о божественных предметах и вовсе запрещаем, потому что от нее нельзя научиться ничему надежному о Боге.

(Триады 1.1.12).

Среди поздних схоластов наиболее известны Дунс Скот (1266?–1308, *doctor subtilis* – тонкий доктор) и У. Оккам (1285?–1349, *doctor invincibilis* – непобедимый доктор). Первый из них – последователь Августина; ему принадлежат слова «верую, Господи, ... но, если возможно, сделай так, чтобы я знал». Второй ввел принцип бритвы Оккама – «сущности не следует умножать без необходимости». Оккам также решительно защищал номинализм (реальное существование только единичных субстанций, а не общих понятий) и отстаивал теорию двойственной истины – разделение теологии и философии (истинное в одной области может быть ложным в другой; с двойственностью абсолютной и относительной истины, т.е. наличием разных уровней понимания, мы встречаемся и в буддизме). В концепции Оккама вера и воля получали приоритет перед разумом.

Научная мысль средневековья созревала в монастырях. Основоположителем индуктивного и экспериментального методов естествознания часто считается Роджер Бэкон (1220?–1292?, *doctor mirabilis* – чудесный доктор) – монах-францисканец, который занимался многосторонним опытным изучением природы, особенно оптикой, механикой, астрономией, конструированием механизмов (как реальным, так и мысленным; им предлагались даже проекты воздухоплавания). Он преследовался за свои теологические взгляды и на короткое время был заключен в монастырскую тюрьму. Интересно, что несколько столетий спустя большой вклад в индуктивный метод внес его однофамилец Фрэнсис Бэкон (1561–1626). Именно к этим столетиям относится формирование науки в нашем понимании.

Наша наука возникает из Логоса, который не замыкается в себе, но открыт для «Алогона» (иррационального) и сам проникает в него... Необходимая констелляция сложилась к четырнадцатому веку, когда мощь веры еще не начала слабеть, но содержание ее уже было поколеблено. Это было время последнего значительного углубления христианских импульсов, время высочайшего духовного напряжения, когда происходившая в самых сокровенных глубинах человеческой души борьба вывела на свет новую науку.

(К. Ясперс, цит. соч., с. 62, 66).

Остановимся теперь на иррациональных источниках европейской науки. Образное и символическое мышление и интуиция, вопреки частому мнению гуманитариев, играют большую роль в научном творчестве, особенно если оно происходит на достаточно высоком уровне.

Разумный человек видит сердцем результат с самого начала; тот, у кого нет знания, открывает его в конце.

(Руми, Маснави 3.3372)

Истина не пришла в мир обнаженной, но она пришла в символах и образах. Он не получит ее по-другому. Есть возрождение и образ возрождения. Следует воистину возродить их через образ. Каково воскресение? И образ через образ – следует, чтобы он воскрес. Брачный чертог и образ через образ – следует, чтобы они вошли в истину, которая – восстановление. Это следует тем, которые не только приобретают имя Отца, и Сына, и Духа святого, но приобретают их для самих себя. Если некто не приобрел их для себя, имя также будет отнято у него.

(Евангелие от Филиппа 67)

Важная сторона научной мысли средневековья – использование алхимических символов. Эти символы часто встречаются в научных трактатах и личной переписке ученых того времени. Зашифрованные символами сообщения имели целью не столько сохранить приоритет, сколько выразить невыразимое (без снижения уровня) более простыми средствами. Впрочем, проблемы понимания алхимических текстов, смысл которых практически полностью утерян для нас, возникали и у современников.

Несмотря даже на то, что поглощал их писания одно за другим, бессменно склоняясь снова и снова над трудами мудрецов, я не нашел в них сути того, что сии мудрецы провозглашали в своих сочинениях. Я изучал алхимические книги

двойко, стараясь уразуметь в них и то, что говорит в пользу мужей, их написавших, и то, что говорит против них, но установил, что эти книги никчемны, бессмысленны и бесполезны.

(Альберт Великий. Малый алхимический свод)

Предпосылки научного мышления можно найти и в еврейской мистической философии – каббале, которая ставила задачу путем интуитивного прозрения увидеть и понять скрытый глубинный смысл за каждой буквой Писания.

Каббала – не только музейный экспонат, но и особого рода метафора мышления.

(Х.Л. Борхес)

Дух европейской науки до сих пор несет на себе печать всех этих факторов – переход от языка каббалы и алхимии к более простому языку математики, который произошел достаточно поздно, с этой точки зрения не принципиален. С другой стороны, современная математика является не только количественной, но и все больше развивает методы качественного анализа.

Вы принадлежите к миру измерений, но пришли вы оттуда, где нет никаких измерений. Закройте первую лавку, пора открывать вторую.

(Руми)

Прежде всего, речь идет о топологии, качественно исследующей свойства пространств и многообразий (по выражению А. Вейля, за душу каждого математика борется ангел топологии и бес абстрактной алгебры). С ней связаны такие дисциплины, как созданная Пуанкаре качественная теория дифференциальных уравнений, теории бифуркаций и особенностей гладких отображений; приложение этих теорий к широкому кругу естественно-научных и даже социальных проблем получило известность под названием теории катастроф.

В ходе этих расчетов он пришел к выводу, что геометрические тела имеют одни и те же значения и на небе и на земле, как бы они ни были обозначены. Цифры вели себя иначе. Их значения могли изменяться, и Леандр понимал, что при строительстве ему придется принимать к сведению и происхождение чисел, а не только их значение в данный момент. Дело в том, что числа, так же как и деньги, в разных условиях котируются по-разному, – догадался он, – поэтому их значения непостоянны.

(М. Павич. Внутренняя сторона ветра)

Качественная сторона математики подчеркивается и в известном высказывании А. Пуанкаре:

Математика – это искусство называть разные вещи одинаковыми именами.

Слово «имена» (возможно, употребленное бессознательно) подчеркивает связь математики с определенной символической системой (такие же связи физики обсуждаются в работах П. Флоренского). По словам Паули (K.V. Laurikainen, p. 59), реальность символична по самой своей природе (в том смысле, как использовал слово «символ» Юнг).

Проникновение герметической философии в западное мировоззрение происходит рано и связано с философом и мистиком Раймондом Луллием (1232?–1315, doctor illuminatus), который много взял у еврейских и арабских мыслителей. Его главный труд носит название *Ars magna* (великое искусство) и включает, в частности, трактат *Arbor scientiae* (дерево познания); намеки на Луллию, в частности, на изобретенную им «логическую машину» есть в последних частях «Путешествия Гулливера». Согласно одной из легенд, Луллий добился цели обретения личного бессмертия, но затем, поняв его бессмысленность, стал монахом-францисканцем, долгие годы провел в миссионерских путешествиях и с трудом вымолил у Бога смерть.

У истоков христианской каббалы стоят Пико делла Мирандола (1463–1494; его «Речь о достоинстве человека» стала манифестом Ренессанса), Иоганн Рейхлин (1455–1522) и Агриппа Неттесхаймский (1485–1535). Книга последнего «Об оккультной философии» и дала начало слову «оккультизм». Младшим современником Агриппы был алхимик и врач Филипп фон Гогенгейм (Парацельс, 1493–1541), которого считают одним из главных представителей (а иногда даже основателем) эзотерического учения розенкрейцеров. К.Г. Юнг называет Парацельса отцом естественных наук и подчеркивает двойственность его духовной жизни, приводя в работе «Парацельс как духовное явление» ряд цитат из его трудов (см. также Теофраст Парацельс, Магический Архидокс, М., 1997).

Хотя Церковь оставалась для Парацельса матерью всю его жизнь, у него все же было две матери, второй была мать-Природа. ... Он говорит: «Признаюсь и в том, что пишу язычески, будучи, однако же, христианином». «В человеке не может быть ничего, что не было бы даровано ему светом природы, а в свете природном все – действие светила. ...

Действовать же в свете природном и оным услаждаться – божественно, пусть ты и смертен». До пришествия Христа мир еще был одарен светом природным, но в сравнении с Сыном Божьим то был «меньший свет». «Итак в этом мире две премудрости, вечная и смертная. Вечная проистекает непосредственно от света Святого Духа, другая – непосредственно от света природы». «Посему надлежит нам знать, что мы природу должны толковать из духа природы, Слово Божье – из Духа Божьего, дьявола – опять же из его духа». ... Бог Отец «сотворил человека снизу доверху», Бог Сын – «сверху донизу». «Поскольку же Отец и Сын суть одно, как я могу почитать два света? Меня осудили бы как идолопоклонника – но меня хранит число один. И если я двум отдаю свою любовь и каждому уделяю свет его, как и наказал всем Господь, – как же я могу быть язычником?»... Не всем выпадает благодать веры, предвосхищающей все решения, и не всем дано безмятежно довольствоваться солнцем истины, явленной в откровении. Тот свет, что возжигается в сердце благодатью Святого Духа, тот самый *lumen naturale* (природный свет – понятие, широко использованное Агриппой), сколь бы слаб он ни был, для ищущих важнее или по крайней мере столь же важен, как и великий свет, во тьме светящий и тьмой не объятый (Ин. 1:5). ... Свет свыше делает тьму еще кромешней, но *lumen naturale* – это свет самой тьмы, он озаряет свой собственный мрак, и этот свет тьма объемлет.

Парацельс оставался еще в лоне католической церкви, но жил уже во времена реформации. Протестантизм положил начало свободному, т.е. без опоры на авторитеты, исследованию Писания (а затем и других областей). С другой стороны, нужно отметить, что отношение к разуму самого основоположника реформации – Лютера было весьма критическим:

Значит, одна из главных причин, по которым просто невозможно понять слова Моисея и Павла (имеется в виду Рим.9), – это их нелепость. Но против какого пункта веры грешит эта нелепость? Кого она сокрушает? Разум человеческий она сокрушает, который, будучи ко всем словам и делам Божьим слеп, глух, глуп, нечестив и кощунствен, берется здесь судить о делах Божьих.

(О рабстве воли)

Провозгласив внутреннюю свободу христианина, Лютер в полемике с гуманистами и католической церковью решительно отрицал свободу воли («свободная воля сама по себе у всех людей – это царство сатаны»); он также называл порождением

сатаны философию Аристотеля и резко отзывался о теории Коперника. По мнению Ницше, европейский Ренессанс кончился ничем по вине Лютера.

Для эпохи Возрождения характерен интерес к античности. По мнению гуманистов, Пифагор – отец точных наук; растет интерес к магии чисел и фигур. Коперник (1473–1543), Кеплер (1571–1630), а затем Лейбниц (1646–1716) во многом основывались на пифагорейской философии и открыто признавали свою связь с этой традицией. Законы Кеплера (в частности, вращение планет по эллиптическим орбитам) впервые позволили обосновать гелиоцентрические представления (ранее теория круговых орбит Коперника была отвергнута Тихо Браге (1546–1601), так как она хуже согласовывалась с астрономическими данными, чем геоцентрическая теория эпициклов Птолемея). Однако наиболее важным своим достижением Кеплер считал не эти законы, а простые гармонические соотношения между максимальной и минимальной скоростью данной планеты, которые теперь забыты.

Со смертью Кеплера об его открытиях забывают. Даже мудрый Декарт ничего о них не знает. Галилей не считал нужным прочесть его книги. Только у Ньютона законы Кеплера обретают новую жизнь. Но Ньютона гармония уже не интересовала. У него были Уравнения. Пришли новые времена.

(Ю.А. Данилов, Я.А. Смородинский. Иоганн Кеплер: от «Мистерии» до «Гармонии», Успехи Физ. Наук, 1973, т. 109, с. 175)

Хотя для Кеплера планеты все еще двигаются своими духами, а герметическая философия сохраняет свое влияние, с его именем уже можно связать переход науки на привычный нам математический язык. В статье о Кеплере современный физик В. Паули говорит о начале разрушения целостного средневекового мировоззрения:

Идеи [Иоганна Кеплера] знаменуют важный промежуточный этап между прежним магико-символическим и современным количественно-математическим описанием природы. Многое из того, что позднее было критически отделено друг от друга, в те времена еще составляло единое целое, мировоззрение еще не делилось на религиозное и научное. Религиозные высказывания, почти математический символ Троицы, отдельные положения оптики того времени, серьезные достижения в теории зрения, в частности, указание

на то, что сетчатка должна быть воспринимающим органом глаза – все это содержится в одной книге «Дополнение к Вителло»... Кеплера восхищала старая пифагорейская идея о «музыке сфер», игравшая в его время немалую роль и в алхимии... У Кеплера планеты еще были живыми существами, наделенными индивидуальной душой... И все же отказ от представления об одушевленности материального мира у Кеплера уже начался... Хотя влияние Парацельса и его учеников на идеи Кеплера неоспоримо, все же отличие естественно-научного мышления Кеплера от магико-символического мышления алхимиков отличается настолько сильно, что известный в свое время алхимик и член ордена розенкрейцеров Флудд (1574–1637) открыл яростную полемику, выступив против основного труда Кеплера «Гармония мира»... Взгляды Флудда станут несколько понятнее, если мы укажем на их связь с общим, происходящим на протяжении всей истории разделением мыслителей на два класса, одни считают существенным количественные отношения между частями, другие, наоборот, – качественную неделимость целого... Именно эта целостность составляет содержание идеи об аналогии между микрокосмом и макрокосмом. Повидимому, она отсутствует уже у Кеплера и полностью выпадает из картины мира классического естествознания.

(В. Паули. Физические очерки, с. 137–175)

Следует также упомянуть переплетение «магического» и современного языка в трудах врача, математика и астролога Дж. Кардано (1501–1576), описавшего свое решение кубического уравнения в сочинении *Ars magna*.

С другой стороны, изложение Галилея (1564–1642) в «Диалоге о двух системах мира» (см. Избранные труды, М., 1964) уже вполне рационалистично и напоминает по стилю современные учебники физики, а тайны пифагорейских чисел объявляются баснями. По словам Галилея, религия учит нас тому, как взойти на небо, а не тому, как небо вращается. Свои научные теории он строил путем наблюдений – чтения «книги природы» (выражение, встречающееся уже у отцов Церкви).

Философия записана в грандиозной книге, постоянно раскрытой перед нашими глазами (я разумею Вселенную), на которую нельзя понять, не выучив прежде ее языка и букв, какими она написана. Язык этой книги – математика, а буквы – треугольники, окружности и прочие геометрические фигуры.

(цит. по Х. Борхес. О культуре книг)

Следует отметить, что подход Нового времени к науке привел и к некоторому сужению горизонта. В отличие от схоластов, стремившихся вслед за Аристотелем хотя и к умозрительному, но к достоверному знанию, новый метод говорил лишь о познании некоторых математически описываемых явлений.

Несмотря на тесную связь науки и теологии в Западной Европе, нужно отметить, что причиной преследования Джордано Бруно (1548–1600) и Галилея инквизицией явились не их научные исследования и взгляды, а именно теологические концепции и особенно политические интриги, жертвой которых пали многие выдающиеся люди этого по-своему жестокого времени. Что касается существа научной деятельности Дж. Бруно, А.Ф. Лосев пишет:

Отрицая всякие личностные подходы к бытию и взывая ко всеобщей закономерности, он, конечно, был предшественником новейшей точной науки. Но, будучи пантеистом и диалектиком неоплатонического типа, он, конечно, имел мало общего с этой точной наукой. Здесь достаточно указать на его учение о магии, которая была для него самой точной и самой жизненной наукой.

(Эстетика Возрождения)

Главным обвинением против Джордано Бруно был не спор о вращении Земли, а его воззрения на таинство евхаристии (пресуществления). Этой темы, возможно невольно, коснулся и Галилей своими атомистическими теориями в применении к качествам вещества (согласно исследованиям историка П. Редонди, главную роль в его обвинении сыграла книга «Пробирщик» (1623), на которую поступил донос в инквизицию).

Часто их обоих называют «мучениками» в науке, хотя для Джордано Бруно астрономия была лишь средством выражения своих философских и теологических идей. Галилея же судили отчасти потому, что ему ошибочно приписывали цели Джордано Бруно.

(Д.С. Лернер, Э.А. Госселин. Галилей и призрак Джордано Бруно, В мире науки, 1987, № 1)

В то же время экспериментальный метод Галилея никогда не подвергался сомнению церковью. Как и Джордано Бруно, Мигель Сервет преследовался католической церковью, а затем был осужден протестантами Женевы за отрицание догмата о св. Троице и активную политическую деятельность.

Основные черты рационалистической философии Рене Декарта (1596–1650) состоят в упоре на самосознание (а не внешний опыт) и дуализме разума (духа) и материи, породившем трудную проблему их связи. Несмотря на механистическое воззрение, он оставался верующим человеком, хотя его отношения с католической церковью были непростыми (по тем же причинам, что и у Галилея). Для понимания взглядов Декарта полезно привести два его высказывания.

Но я не думаю, что о какой бы то ни было вещи можно утверждать, что Бог не мог ее сделать; так как основание истины и блага зависит от его всемогущества, то я не посмел бы даже сказать, что существует гора без долины или что один и два не составляют трех; я скорее скажу, что Он дал мне такой разум, который не мыслит горы без долины и не видит другой суммы единицы и двух, как три.

Бог был так же свободен сделать так, чтобы все линии, проведенные из центра окружности, не были равны, как и не творить мир.

(цит. по книге Л. Шестова «Афины и Иерусалим»)

Декарту и Лейбницу принадлежит вероятностный подход к описанию физических объектов, выходящих за внутренний мир человека, о котором только и могло быть получено достоверное знание.

Современником Декарта был Блез Паскаль (1623–1662), который, сделав ряд крупных открытий в математике и физике, обратился к религиозной философии и мистике. Осознав ограниченность философии и «научного» метода, он отверг новый европейский рационализм и стал предшественником современных иррационалистических философских систем, провозглашающих приоритет существования перед сущностью (экзистенциализм).

Вопреки всякому догматизму, мы бессильны доказать, обладаем ли истиной, и, с другой стороны, никакой пирронизм (т.е. скептицизм) не в силах у нас этого оспорить. Мы ожидаем истины, а находим в себе одно сомнение. Ищем счастья, а встречаем лишь горе и смерть. Мы не в состоянии не желать истины и счастья, но не способны ни к верному знанию, ни к счастью. Это желание оставлено нам столько в наказание, сколько и для того, чтобы дать нам почувствовать, с какой высоты мы пали.

(Б. Паскаль. Мысли)

Весьма сложной является и крупнейшая фигура европейской научной революции – Исаак Ньютон (1643–1727). Будучи глубоко религиозным, он, хотя и занимал должность в колледже св. Троицы (Тринити), придерживался самостоятельных еретических антитринитарных убеждений, близких к арианству. Следует также отметить влияние на Ньютона группы «кембриджских платонистов», особенно Генри Мора (1614–1687), который познакомил его с герметизмом. Отсутствие философских утверждений в научных трудах Ньютона обусловлено скорее нежеланием вступать в опасные теологические споры, чем равнодушием к метафизическим проблемам. Как бы то ни было, философские взгляды Ньютона имели далеко идущие последствия.

До тех пор, пока в европейской культуре в основе представлений о природе как божественном творении лежала ортодоксальная тринитарная концепция, ничто не могло разрушить антропоцентричность средневекового образа Вселенной. И лишь после того, как из фундамента христианского мироздания было удалено представление о Сыне-богочеловеке как ипостаси, единосущной Отцу, Троица Афанасия была заменена единым Богом антитринитариев-деистов, «распались концы» старой Вселенной. Ее заменил бесконечный однородный изотропный универсум, предельно чуждый антропоцентризму и антропоморфизму. Самый серьезный, решительный удар старой Вселенной был нанесен антитринитарием Ньютоном: будучи связан еще с теологией, его образ мира уже не является христианским.

*(Л.М. Косарева. Рождение науки
Нового времени из духа культуры, с. 357)*

Ньютон сделал свои основные открытия в области физики и математики в молодом возрасте и публиковал их часто с опозданием на десятки лет в полемике с Лейбницем и Гуком (этому примеру следовал позднее ряд других крупных ученых – Кавендиш, Гаусс, Хевисайд). Большую часть своей жизни он посвятил толкованию апокалиптических книг Библии (впрочем, достаточно рационалистическому) и алхимическим исследованиям. Существует ряд легенд и собственных утверждений Ньютона о достигнутых им успехах в алхимии; здесь его предшественником был Роберт Бойль (1627–1691). Эти факты (однако в крайне «светском» осмыслении) можно найти, например, в Британской энциклопедии и книге С.И. Вавилова «Исаак Ньютон». Как пишет в ньютоновской биографии Дж. Кейнс (J. Keynes), Ньютон был последним из великих магов, а не первым из вели-

ких ученых. По словам Вестфалля (R.S. Westfall, Force in Newton's Physics, 1971, цит. по работе М. Элиаде «Кузнецы и алхимики», в кн. Азиатская алхимия), «современная наука есть результат брака герметической традиции с философией механики». В указанной работе Элиаде можно найти и другие ссылки на академические труды, подтверждающие эпиграф к главе.

В то же время не подлежит сомнению и оригинальный стиль Ньютона. Следуя во многом математическому методу Декарта, он не доводил его до логического конца, а удачно сочетал с индуктивным методом, что и определило успех новой натурфилософии. Субъективность картины мира, построенной в результате работ Ньютона и его последователей, подчеркивается В. Паули («в семнадцатом столетии они зашли немного дальше, чем следовало», что и привело к детерминистической системе организации мира, см. K.V. Laurikainen, p.55).

Попытки историософского осмысления формирования науки можно найти, например, в трудах О. Шпенглера, который разработал концепцию относительно независимых «культур» (постепенно вырождающихся в «цивилизации»), сменяющих друг друга в ходе исторического развития. В частности, он проанализировал связь господствующих в науке, принадлежащей к той или иной культуре, мировоззренческих установок (говоря современным языком, парадигм) со свойственными этой культуре тенденциями не только в религии, но и в живописи, музыке и т. д.

Итак, не может быть сомнений, перед нами полная идентичность в последних основаниях формы физики с математикой, религией и большим искусством... Сила, двигающая массы, вот что изобразил Микеланджело на потолке Сикстинской капеллы, вот что вознесло фасады соборов, начиная с первого примера «Il Gesu» вплоть до мощной выразительности у Делла Порта и Мадерна, что вознесло фугированный стиль со времен Орландо Лассо до колоссальных звуковых масс церковной музыки XVIII в., что наполняет мировым событием расширенную до бесконечности сцену Шекспировых трагедий и что, наконец, Галилей и Ньютон заколдовали в формулы и понятия.

(О. Шпенглер. Закат Европы, т. 1, с. 518, 519)

Указание на связь науки с религией кажется достаточно глубоким, хотя сама религия при этом рассматривается скорее как «феномен культуры». В целом такой подход представляется достаточно интересным для анализа некоторых проблем социологии и психологии научного творчества.

Нет науки без бессознательных предпосылок, над которыми никакой исследователь не имеет власти, притом таких предпосылок, которые можно проследить с первых дней пробуждающейся культуры. *Нет естествознания без предшествовавшей ему религии.* С этой точки зрения, нет разницы между католическим и материалистическим природосозерцанием, они говорят одно и то же разными словами (!)... современная механика есть точь-в-точь слепок с христианских догматов (!!).

(там же, с. 499)

В то же время любой субъективный подход, ставящий во главу угла обстоятельства повседневной жизни творцов культуры и оставляющий в стороне содержательную часть науки, по-видимому, применим лишь для обсуждения сравнительно второстепенных вопросов. В крайних своих проявлениях такой метод может быть использован для деления науки на арийскую/неарийскую, пролетарскую/буржуазную и т.д.

Вполне возможно различать католические, протестантские и атеистические понятия силы. Спиноза, как еврей, следовательно душевно принадлежавший еще к магической культуре, не был в состоянии вообще принять фаустовское понятие силы. Оно отсутствует в его системе. Удивительный признак интенсивности исконных понятий проявляется в том, что Герц, единственный еврей среди больших физиков нынешнего времени, один из всех сделал попытку решить дилемму механики путем исключения понятия силы.

(там же, с. 550)

На самом деле, реальное отличие «еврейского» (библейского) подхода от западного технократического (который как раз и близок к магии) заключается в том, что в качестве высшей ценности рассматривается человек. Сила всегда – на стороне царя Нимрода, который в традиции иудаизма противопоставлен «отцу веры» Аврааму.

1.2. Современная наука

Но разве не проклятье тот факт, что со времен появления науки и христианство, и человек тешатся самообманом, доказывая себе самоочевидные истины, пыжятся от удо-

вольствия, умножая эти доказательства, — только тем и живут!

(А. Рембо. Невозможное)

Я призрак истин сплавил в стройный бред.

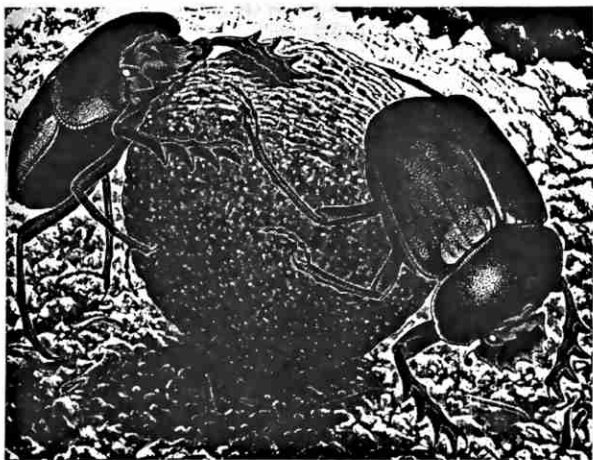
(М. Волошин)

И я отошел от Фрэнка, как учили меня Книги Боконона. «Берегись человека, который упорно трудится, чтобы получить знания, а получив их, обнаруживает, что не стал ничуть умнее, — пишет Боконон, — и он начинает смертельно ненавидеть тех людей, которые так же невежественны, как и он, но никакого труда к этому не приложили».

(К. Воннегут. Колыбель для кошки)

По мере того как наука все больше и больше доказывала свою практическую эффективность и полезность, она все дальше и дальше отходила от своих религиозных, мистических и магических корней, все больше и больше претендовала на роль «единственно верного» мировоззрения. XVIII век вошел в историю европейской мысли как «век Просвещения», век ломки традиционных мировоззрений, роста материалистических и атеистических настроений, которые, начиная с этого времени, начинают ассоциироваться с «научностью». Складывается новая, «научная» мифология.

Для науки XVIII–XIX столетий ее собственные категории отнюдь не в такой мере реальны, как мифически реальны



для сознания его собственные категории. Так, напр., Кант объективность науки связал с субъективностью пространства, времени и всех категорий. И даже больше того. Как раз на этом субъективизме он и пытается обосновать «реализм» науки ...

Я категорически протестую против... лженаучного предрассудка, ... что наука побеждает миф... Если брать реальную науку..., творимую живыми людьми в реальную историческую эпоху, то такая наука не только сопровождается мифологией, но и реально питается ею, почерпая из нее свои исходные интуиции... Когда «наука» разрушает «миф», то это означает только, что одна мифология борется с другой мифологией.

(А.Ф. Лосев. Диалектика мифа)

В наше время уже приходится делать оговорки типа ниже следующей:

Кстати, не все то, что не наука, уж обязательно плохо. Любовь, например, тоже не наука. Словом, когда какую-то вещь называют не наукой, это не значит, что с нею что-то неладно: просто не наука она, и все.

(Фейнмановские лекции по физике, вып. 1–2, М., Мир, 1976, с. 56)

История формирования европейской науки (см. предыдущий раздел) не подтверждает претензии материализма на его какую-то особо тесную связь с наукой и расхожие мнения о ненаучности идеалистических взглядов.

Наука и научность не есть признак материализма. Идеалисты тоже разрабатывают и создают науку; и научность построений прельщает их не менее, чем материалистов. «Реализм», «жизненность», «практика» и прочие принципы тоже не характерны для материализма. Это – чисто религиозные категории; и всякий религиозный человек также хочет утверждаться только на подлинно реальном бытии, только на жизненном опыте... Даже и призыв к земной жизни не характерен для материализма, так как все язычество есть не что иное, как славословие земле, плоти, земным радостям и утешениям, а язычество есть мистика. Единственное и исключительное оригинальное творчество новоевропейского материализма заключается именно в мифе о вселенском мертвом Левиафане... Ведь это же подлинное чудо – появление вещей из материи.

(А.Ф. Лосев. Диалектика мифа)

В век Просвещения окончательно закрепилась тенденция, возникшая в эпоху Возрождения: внимание «интеллектуальной элиты» Западного мира оказалось окончательно перенесено с высших трансцендентных («потусторонних») реальностей на тварный мир.

Однако полностью разорвать пуповину, связывающую науку с магией и неортодоксальными религиозными взглядами, так и не удалось. Рецидивы оккультизма и мистики в научной среде, конечно, не являются случайными. Неоднозначные явления этого рода происходили и при рождении новой физики на границе XIX–XX веков. Достаточно вспомнить спиритизм, месмеризм, исследования многочисленных излучений (физическими из них оказались только рентгеновские и гамма-лучи), в которых принимали участие и крупные ученые (например, Крукс, Бутлеров). Прямое продолжение эти идеи получили в оккультизме третьего рейха, где они были соединены с «обычной» военной техникой (см. Л. Повель, Ж. Бержье «Утро магов»).

Научный подход Эйнштейна, стоявшего у истоков революции в физике, существенно отличался от ньютоновского положения «*hypotheses non fingo*», которое он считал устаревшим («Счастливым Ньютоном! Счастливым детством науки!»).

В настоящее время известно, что наука не может вырасти на основе только опыта и что при построении науки мы вынуждены прибегать к свободно создаваемым понятиям, пригодность которых а posteriori можно проверить опытным путем. Эти обстоятельства ускользали от предыдущих поколений, которым казалось, что теорию можно построить чисто индуктивно, не прибегая к свободному творческому созданию понятий. Чем примитивнее состояние науки, тем легче исследователю сохранять иллюзию по поводу того, что он является эмпириком.

(Цит. по книге А. Пайса)

В творчестве Эйнштейна основной упор делался не на эксперимент, а на наглядные образы (например, связанные с распространением света). В своих исследованиях он всегда следовал собственной интуиции и проявлял невероятное упорство в попытках создания Единой теории поля. По-видимому, на Эйнштейна оказала влияние (возможно, не всегда осознанное) религиозная мистическая традиция иудаизма (в удачном сочетании с блестящей логикой талмудистов), которая передавалась через предшествующие поколения.

Еще будучи довольно скороспелым молодым человеком, я живо осознал ничтожество тех надежд и стремлений, которые гонят сквозь жизнь большинство людей, не давая им отдыха... Выход отсюда указывался прежде всего религией, которая насаждается всем детям традиционной машиной воспитания. Таким путем я, хотя и был сыном совсем нерелигиозных (еврейских) родителей, пришел к глубокой религиозности, которая, однако, уже в возрасте 12 лет резко оборвалась... Для меня ясно, что утраченный таким образом религиозный рай молодости представлял первую попытку освободиться от пут «только личного», от существования, в котором господствовали желания, надежды и примитивные чувства.

Там, во вне, существовал большой мир, существующий независимо от нас, людей, и стоящий перед нами как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере, отчасти, нашему восприятию и нашему разуму. Изучение этого мира манило как освобождение...

(А. Эйнштейн. Собр. науч. трудов, т. 4, с. 259,260)

Ряд других крупнейших деятелей научной революции XX века, прежде всего В. Гейзенберг и В. Паули, придерживались «идеалистических» и «мистических» взглядов. В частности, В. Гейзенберг был сторонником платоновской философии, а В. Паули – сторонником взглядов К.Г. Юнга, с которым он даже совместно опубликовал книгу. М. Планк был убежденным верующим христианином. С другой стороны, заметным фактором того времени было давление со стороны официальной советской идеологии и желание западных физиков сделать свои идеи более доступными для ученых социалистических стран (тогда достаточно авторитетных и многочисленных благодаря государственной поддержке). Н. Бор и М. Борн старались идти на уступки материалистической философии, по крайней мере, в вопросах терминологии (см. книгу Лаурикайнена, где говорится о влиянии на Бора советского физика Фока). В то же время, они безусловно не были ни материалистами, ни позитивистами. М. Борн писал:

Но я сержусь за то, что ты упрекаешь меня в позитивистских идеях; этого как раз мне только не хватало. Этих парней я терпеть не могу.

(Из письма А. Эйнштейну 31.03.48, цит. по: Эйнштейновский сборник 1972, М., Наука, 1974, с. 48)

Н. Бор всю жизнь глубоко интересовался творчеством такого религиозного философа, как С. Кьеркегор (у которого находил аналогии идеи квантового скачка), а также восточными ре-

лигиями. Интересно отметить, что, получив за научные заслуги дворянство, он выбрал в качестве герба известный китайский символ инь и ян. Интерес к восточной философии проявлялся и у ряда других физиков, например, у Д. Бома, который практиковал индуистскую традицию. И. Раби писал о Р. Оппенгеймере (одном из создателей атомной бомбы):

Я понял его (Оппенгеймера) проблему... Его проблемой было самоотжествление (личность, identity)... Оппенгеймер желал любых переживаний (experience). В этом смысле он никогда не концентрировался. По моим ощущениям, если бы он изучал Талмуд и еврейский, а не санскрит, он стал бы более великим физиком.

(Cит. no: R. Rhodes. Dark Sun, N.Y., 1995, p. 241)

Обсуждать философские поиски и взгляды ведущих деятелей советской науки, пожалуй, не вполне корректно. Разделяя судьбу других общественных явлений, наука не могла формироваться в условиях свободного выбора, что вело к ряду трагических противоречий.

Потеря корней и утрата традиции невротизируют массы, готовя их к коллективной истерии, а коллективная истерия требует коллективной терапии, состоящей в уничтожении свободы и установлении террора. Те государства, где властвует рационалистический материализм, имеют тенденцию превращаться не столько в тюрьмы, сколько в сумасшедшие дома.

(К.Г. Юнг. AION, с. 207)

Можно назвать и ряд глубоко верующих ученых, так или иначе вписавшихся в советскую систему (физиолог И.П. Павлов, физик Н.Н. Боголюбов). Однако убеждения большинства деятелей науки формировались под влиянием марксизма. Как и всякое развитое учение, в принципе он давал возможность обсуждения достаточно глубоких вопросов, примыкая в конце концов – через Маркса и Гегеля – к искаженной иудео-христианской традиции. Но реально (особенно начиная с сороковых годов) официальный «марксизм» представал в настолько неприглядном виде, что, в значительной мере, в силу подсознательного протеста, большинство советских исследователей придерживалось позитивистских взглядов. Такие взгляды едва ли способствовали их научному творчеству, об истинных механизмах которого сейчас можно только гадать (по-видимому, революция в России, устранив социальные преграды, действительно позволила освободить творческий потенциал, накопленный за много

поколений в патриархальном обществе). Впрочем, постановка мировоззренческих вопросов в советских научных кругах едва ли была на уровне даже стандартного философского позитивизма. Уместно процитировать следующие воспоминания о Л.Д. Ландау:

Мне не приходилось видеть другого человека со столь цельным (для нас горькая ирония – *В.И., М.К.*) мировоззрением. Дау часто повторял, что он – последовательный марксист. Вспоминаю семинар, на котором вспыхнула дискуссия о снежном человеке... На семинаре обнаружилось, что, по крайней мере, двое из его участников свято верят в существование снежного человека. Научная честность заставила их признать, что им самим не привелось встретить гипотетического обитателя гор. «Но, Дау, – взывал один из адептов, – почему этого не может быть?». «Потому, – был ответ, – что вы хотите верить. Снежный человек – ваше суеверие. А суеверие интеллигента в тысячу раз отвратительнее, чем суеверие невежественной бабки!»

(В.Л. Покровский. В сб.: Воспоминания о Л.Д. Ландау. М., Наука, 1988, с. 201)

Здесь обращает на себя внимание не столько пренебрежительный и агрессивный тон Ландау (который напоминает стиль классиков марксизма-ленинизма), сколько уровень обсуждаемых проблем. Действительно, мировоззрение, тем более цельное, должно проявляться скорее в отношении к проблеме существования человека вообще, да и мира в целом, чем к вопросу о существовании именно снежного человека.

В наше время узкая специализация профессиональных ученых, занимающихся естественными науками, привела к резкому сужению их кругозора. В частности, адекватное понимание символического языка священных текстов в этой среде утрачено почти полностью; буквалистское же понимание (например, пренебрежительные высказывания о «библейских сказках») ведет зачастую к очевидным недоразумениям при общении с гуманитариями. При этом, по крайней мере, у «среднего» научного работника отсутствует осознание того, что наука, в сущности, тоже является не прямым описанием реальности, а некоторой символической системой (например, установление связи какой-нибудь «модели Гейзенберга» в теории магнетизма с физической реальностью требует, вообще говоря, не меньших усилий, чем толкование библейской книги Даниила, которым занимался Ньютон).

С другой стороны, современная ситуация в европейской культуре характеризуется падением престижа физики и воз-

вратом «нетрадиционных» наук, который в значительной степени вызван тягой к утраченной духовности и целостности. При этом часто поднимаются вопросы, выходящие за рамки рационалистических представлений.

Проблема «невероятных» совпадений, с которыми встречается в своей жизни практически каждый человек, интересовала (в целом позитивистски настроенных) создателей квантовой механики, в особенности Н. Бора. Этому вопросу посвящена работа К. Юнга «Синхронистичность, акаузальный объединяющий принцип», которая была опубликована в сборнике «Интерпретация природы и псюхе» вместе с цитированной нами работой знаменитого физика В. Паули «Влияние архетипических представлений на формирование естественно-научных теорий Кеплера». Юнг определил синхронистичность как параллельность времени и смысла психических и психофизических событий в отсутствие причинной связи между ними. Исследуя это явление экспериментально, он статистически проанализировал эксперименты с угадыванием одной из 25 карт Рейна с различными символами, а также психокинетический эффект – влияние наблюдателя на падение игральных костей (см. также обсуждение исследований Рейна в книге Дж. Мишлага). Оказалось, что положительные результаты получаются независимо от удаленности угадывающего от места эксперимента, а угадывание возможно как до, так и после перетасовки карт или бросания костей, т.е. существует предвидение. Таким образом, имеет место психическая относительность пространства и времени, причем принцип причинности не выполняется. Выяснились плохая воспроизводимость результатов и большая роль субъективного фактора, результаты оказывались много лучше, если «измерения» выполняются с энтузиазмом, и ухудшались по мере потери интереса, хотя прямое влияние на эксперимент исключалось. В этой связи Юнг цитирует Альберта Великого:

Человеческой душе присуща определенная способность изменять вещи... Когда душу человека охватывает сильная страсть любого рода, то, и это можно доказать экспериментальным путем, она [страсть] подчиняет вещи [магическим] образом и изменяет так, как ей угодно. ... Любой, кто хочет научиться секретам, как делать и уничтожать эти вещи, должен знать, что любой человек может магически повлиять на любую вещь, если его охватит сильная страсть ... и он должен совершить это с теми вещами, на которые указывает душа, в тот момент, когда страсть охватывает его. Ибо душа ... сама выхватывает самый важный и самый лучший аст-

рологический час, который также управляет вещами, гонящимися для этого дела.

По-видимому, близкая ситуация возможна и для других случаев экстрасенсорного восприятия и воздействия. Пытаясь объяснить (или, скорее, описать) наблюдаемые корреляции, Юнг ввел понятие «смыслового поля», которое он отождествил с китайским Дао. В результате дискуссий с Паули было предложено также описание в терминах четверки, содержащей пары: пространство-временной континуум – сохранение энергии (эта пара здесь удобнее обычного пространства-времени) и причинность – синхронистичность.

Аналогичный подход Юнг применил к анализу больших подборок астрологических гороскопов. Хотя результаты оказывались значительно лучше статистических оценок, сам процесс отбора гороскопов (в частности, ожидания экспериментатора) сильно влиял на результат, а при увеличении размеров выборки и максимально случайном отборе определенных выводов сделать было уже нельзя. Таким образом, снова субъективный фактор оказывается решающим – астрологические прогнозы предстают близкими к практике гадания (что, впрочем, не означает их неэффективности), а «объективные» физические предпосылки астрологии, которые в последнее время формулируются в наукообразных терминах (космическое излучение, влияние планетарных соединений на излучение протонов солнцем и т.д.), оказываются неподтвержденными. Об отсутствии таких предпосылок говорит и то, что расположение знаков Зодиака (которое в астрологии считается неизменным) в результате прецессии с начала нашей эры уже сместилось почти на 1/12 полного круга: об этом также свидетельствует разнообразие противоречащих друг другу астрологических систем. С другой стороны, на современном языке астрологический подход может пониматься как феноменологический метод анализа периодических процессов.

Но ты должен правильно уразуметь здесь эту высокую вещь: рождение или восхождение семи планет и всех звезд есть не что иное, как образ вечного рождения жизни и дивной соразмерности Божества.

(Я. Беме. Аврора, 26.20)

Ряд работ Юнга посвящен алхимии (разумеется, не понимаемой вульгарно как поиски золота). Для Юнга алхимия – не только мать химии, но и предшественница современной психологии. Он формулировал цель алхимии как переживание бессоз-

нательного в алхимических символах и создание единства двух разделенных природ человека – соединение физического с духовной истиной (объект алхимика – как вне, так и внутри него, как физическое, так и психическое).

Юнг также проявлял большой интерес к китайской Книге Перемен (И Цзин), по его выражению, – экспериментальному основанию классической китайской философии. Юнг пишет, что эта философия преследует цель оценки ситуации как целого (детали рассматриваются на космическом фоне взаимоотношения инь и ян) и опирается на иррациональные функции сознания – чувства и интуицию, а не на логику и разум, которым такая цель просто непосильна (здесь Юнг проводит параллели со своей психологической классификацией). В отличие от западного эксперимента, который заключается в постановке точного правильного вопроса, в гадании по И Цзин устанавливается как можно меньше правил, чтобы «природа могла отвечать в полную силу». Технически оно осуществляется путем случайной сортировки 49 стебельков тысячелистника или шестикратного подбрасывания трех монет, в результате чего получается одна из 64 возможных гексаграмм, которая толкуется по И Цзин. Разумеется, ответ будет крайне двусмысленным, и для его актуального понимания нужна духовная работа. Таким образом, гадание отражает скорее скрытое внутреннее состояние человека, чем объективную реальность, и позволяет представить это состояние как внешнее.

Адепт традиционализма («традиционного» эзотеризма, резко критикующего оккультизм и теософию) Рене Генон (1886–1951) высказывает крайне пессимистический взгляд на современную западную фундаментальную науку, обвиняя ее в потере единства и главных составных частей. Еще более резко он выступает против попыток современной «реставрации» (в том числе подходов типа К. Юнга).

... Не следует слишком обольщаться торжественной глупостью некоторых заявлений, дорогих для научных «популяризаторов» (мы должны были бы сказать, скорее, «саентистов»), которые с удовольствием утверждают по любому поводу, что современная наука отодвигает без конца границы познанного мира, что на самом деле в точности противоположно истине: никогда в действительности эти границы не были столь узкими, какими они являются в концепциях, предлагаемых этой профанной мнимой наукой, и никогда ни мир, ни человек не оказывались столь уменьшен-

ными до такой степени, что стали сведенными к простым телесным единствам, гипотетически лишенным малейшей возможности связи с любым другим порядком реальности!

(Царство количества и знамения времени, с.120)

Совершенно неверно рассматривать астрологию и алхимию как науки, развившиеся постепенно в современную астрономию и химию. ... Современные науки вышли из предшествующих им наук не в ходе «эволюции» или «прогресса», а в результате глубокого вырождения последних. ... Никто не знает, чем на самом деле была древняя астрология, и все попытки возродить эту науку привели пока лишь к созданию явной пародии на нее. Сегодня некоторые стремятся даже превратить астрологию в сугубо современную экспериментальную науку, основанную на статистике и исчислении вероятностей, т.е. использующую методы, абсолютно не свойственные и глубоко чуждые духу Античности и Средневековья. Другие готовы ограничиться лишь возрождением «гадательного искусства», которое действительно существовало ранее, но являлось при этом уже извращением астрологии, ее упадком или, в лучшем случае, самым заниженным и не заслуживающим никакого серьезного внимания применением ее методов. ... Химия – это лишь результат разложения и извращения алхимии, начавшихся только в Средние Века благодаря полной некомпетентности определенных ученых, не способных постичь истинное значение символов и воспринявших алхимические доктрины буквально. Посчитав, что речь идет только о материальных операциях, эти люди занялись более или менее хаотическим экспериментаторством. ... Современная математика является лишь внешней оболочкой, «экзотерической» стороной пифагорейской математики. ... Таким образом, вся современная наука основана на руинах древних наук, на останках, отвергнутых ими и оставленных в распоряжение невежд и «профанов».

(Кризис современного мира, с. 50–52)

Широкое развитие экспериментальных наук, ограниченных миром материи, Генон интерпретирует как отказ от настоящего знания «высшего порядка». Признавая реальность достижений прикладных наук, он подчеркивает в них негативные разрушительные аспекты. Хотя критика Генона в ряде случаев справедлива, стоит отметить, что его анализ лежит вне языка современной физики (например, отрицается существование атомов и т.д.). Как мы видели выше, обвинение, что современная наука перешла в мертвое царство количества, не вполне правильно.

В настоящее время можно констатировать разрыв между биофизикой, использующей привычные физические методы исследований, и психологией, особенно трансперсональной. Еще в большей степени это относится к парапсихологии, хотя в ней также накоплен большой объем материала (см., напр., обсуждение экспериментальных данных по телепатии, ясновидению, телекинезу, телепортации и др. в книгах А. Дуброва и В. Пушкина, Дж. Мишлага, а также способностей шаманов в книгах М. Элиаде). Проблема «биологического поля», которое предполагается ответственным за экстрасенсорные явления, до сих пор не только не решена, но даже четко не поставлена. По-видимому, обычные физические поля только сопровождают биополе, но не определяют наиболее важные аспекты его информационного и энергетического воздействия (вопрос об источнике потока энергии, который здесь бывает достаточно мощным, наиболее труден для физики).

Для «физического» объяснения парапсихологических явлений часто без всяких реальных оснований привлекаются биоплазма, виртуальные фотоны, нейтрино, микролептоны и т.д. (см., напр., Учебный курс мюнхенского института парапсихологии, М., 1992). В последнее время модным стало использование понятия торсионного поля, математическая теория которого детально изложена в книге Г.И. Шипова «Теория физического вакуума» (см. также более поздние работы А.Е. Акимова и Г.И. Шипова и сб. «Сознание и физический мир» М., 1995; впрочем, соответствующие физические идеи в применении к конкретным астрономическим наблюдениям восходят еще к исследованиям Н. Козырева). Сознание в таких построениях произвольно определяется как «полевая форма жизни» – взаимодействие материальных объектов с торсионным полем. «Философскую» часть упомянутой книги можно характеризовать как переход к упрощенным (даже в оккультном смысле) схемам. Не вдаваясь в вопрос о математической правильности этой теории, укажем, что навряд ли она может объяснить физические явления, приписываемые «торсионным генераторам», поскольку уравнения типа уравнений гравитационного поля Эйнштейна дают наблюдаемые эффекты лишь в сверхсильных полях.

Еще один пример некорректного смешения науки и духовности дает объемистая монография А.И. Вейника «Термодинамика реальных процессов» (Минск, 1991). В рамках «Общей теории» (ОТ) природы (вспомним Единую Теорию Всего у С. Лема) для описания парапсихологических явлений он вводит

понятие хронального поля и его кванты – хрононы. Для измерения этого поля с полной серьезностью используются стандартные экстрасенсорные рамки (которые обычно понимаются лишь как стрелки-индикаторы, поскольку «измерительным прибором» здесь служит сам человек), а также сложные электронные устройства, причем результаты измерений используются для этических (в терминах добра и зла) и эстетических оценок. Для накопления и генерации хронального поля используются устройства магического типа, например, с геометрией египетских пирамид (автор вынужден отметить и опасность подобных экспериментов). Отметим, что те же «полевые» понятия и образы могут использоваться и в различных направлениях современной практической психологии (например, в холодинамике), но здесь они понимаются только как рабочие.

Наглядный пример вводящего в заблуждение нетрадиционного применения «научной» математической методики представляет собой «новая хронология» А. Фоменко, где история человечества переосмысливается на основе данных астрологического типа. Возможно, авторам этого подхода действительно удалось обнаружить ряд новых корреляций между историческими событиями разных эпох (подтасовка фактов под схему и игнорирование ее очевидных промахов, отмечаемые критиками, не обязательно имеют сознательный характер, а могут быть аналогичны «цепи случайностей» в астрологическом эксперименте Юнга). Однако такие корреляции имеют не причинный, а «синхронистический» характер и не дают никаких оснований для научных выводов. К проблемам современной науки мы еще раз вернемся в заключении.

1.3. Критерии истинности в научном исследовании

Как свет обнаруживает и самого себя, и окружающую тьму, так и истина есть мерило и самой себя, и лжи.

(Б. Спиноза. Этика 2.43).

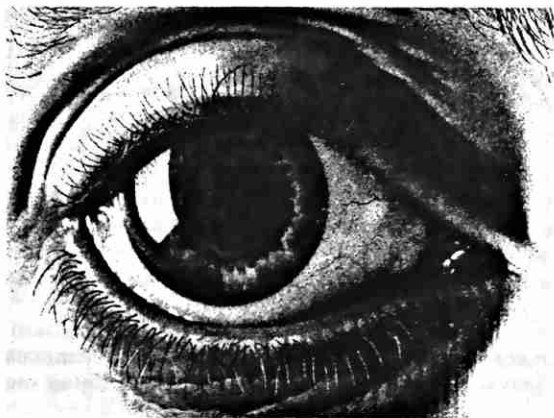
*Закон ученый открывает
Другой приходит – отменяет
А тот хватает пистолет
И гада в сердце убивает
Поскольку вот – закона нет*

*Кроме страсти человеческой
И милосердия*

(Д.А. Пригов)

Для современного человека понятия «научность» и «истинность» зачастую выступают как синонимы. О «научности» своих построений охотно говорят как идеологи («научный коммунизм»), так и сторонники различных оккультных подходов («духовная наука», «христианская наука» и т. д.), пытаясь таким путем радикально поднять авторитет своих учений. По существу же они претендуют (насколько обоснованно – это другой вопрос) на истинность своих утверждений. При этом критерии истинности в самой науке отнюдь не являются, как мы подробно обсудим ниже, сколько-нибудь ясными и самоочевидными. Возникает забавная ситуация «самозванства второго уровня», когда нищий выдает себя за предполагаемого миллионера, финансовое положение которого на самом деле само нуждается в тщательной проверке! Разумеется, прежде всего в такой проверке заинтересован сам миллионер (если он является честным человеком или, по крайней мере, хочет казаться таковым). Поэтому забота о дальнейшем развитии науки, не отождествляемая с заботой о корпоративных интересах «жрецов науки» (в смысле Л.Д. Ландау – это те, кто «жрет за ее счет»), требует рассмотрения время от времени весьма «неудобных» вопросов.

Начнем с расхожего мнения, что «наука основана на эксперименте». Это мнение действительно отражает одну из сторон науки (но только одну!), однако нуждается в расшифровке и подробных комментариях.



Экспериментальный метод изучения природы имеет специфику по сравнению, скажем, с простым наблюдением. Последнее до сих пор широко используется в «описательных» науках, таких, как зоология или антропология, где, в идеале, важно как можно меньше вмешиваться в наблюдаемый процесс. При постановке эксперимента мы, напротив, стараемся контролировать условия таким образом, чтобы выделить и, соответственно, изучить какой-то один фактор. Упрощая, можно сказать, что наблюдение – метод «синтетического» исследования (например, в зоологии при наблюдении поведения животных в естественных условиях важно не потревожить его; претензия состоит в познании животного «как оно есть»). Эксперимент же – аналитический метод (например, мы пытаемся изучить какой-то один аспект поведения животного путем создания искусственной ситуации, в которой, предположительно, должен проявляться именно этот аспект). Как подчеркивал, в частности, один из создателей квантовой механики Э. Шредингер, современная западная наука (прежде всего, механика Ньютона), вопреки господствующему мнению, возникла не столько из попыток объяснить результаты эксперимента, сколько из попыток объяснить результаты астрономических *наблюдений* (законы Кеплера). Экспериментальный метод гораздо более эффективен в смысле получения большого количества информации. Однако, если говорить о достоверности этой информации, то есть об истинности результатов, с ним связаны определенные опасности. Все дело в том, что выделение того или иного фактора в эксперименте всегда основано на предположениях, что важно, а что неважно для изучаемого явления. Прочитируем здесь слова выдающегося российского ученого и организатора науки А.Н. Крылова по поводу некоторых биофизических исследований 20-х годов:

Я, например, не припомню, каким образом было выделено влияние широты места на чувствительность глаза или иных органов от прочих влияний: температуры, давления, времени года, времени дня, влажности воздуха, направления и силы ветра и прочих физически измеримых факторов, и обеспечено сохранение постоянства факторов физиологических, как, например, сыт или голоден субъект, чем питался, что и сколько пил, как действовал желудок, не имел ли каких радостей или огорчений, и пр. В таких случаях требуется несколько миллионов или даже несколько миллиардов наблюдений, чтобы случайные изменения параметров во всем множестве их возможных сочетаний компенсиро-

вались и можно было бы иметь хотя бы некоторое доверие к результату.

Забвение этого важного правила может приводить к анекдотическим выводам, подобным утверждению, что тараканы слышат ногами (таракан с неповрежденными ногами бежит от шума, а с оторванными – в этом смысле не реагирует на шум).

По словам А. Эйнштейна, «только теория решает, что именно можно наблюдать [в эксперименте]» (цит. по книге В. Гейзенберга «Часть и целое»). Особенно важно это помнить, говоря о современных экспериментах, которые практически всегда являются косвенными. Продолжим цитату:

Подлежащий наблюдению процесс вызывает определенные изменения в нашей измерительной аппаратуре. Как следствие, в этой аппаратуре развертываются дальнейшие процессы, которые в конце концов косвенным путем воздействуют на чувственное восприятие и на фиксацию результата в нашем сознании. На всем этом долгом пути от процесса к его фиксации в нашем сознании мы обязаны знать, как функционирует природа, должны быть хотя бы практически знакомы с ее законами, без чего вообще нельзя говорить, что мы что-то наблюдаем. Таким образом, только теория, то есть знание законов природы, позволяет нам логически заключать по чувственному восприятию о лежащем в его основе процессе.

В наше время следовало бы еще добавить о широком использовании вычислительной техники, позволяющей представить результаты эксперимента в псевдонаглядной, а в действительности условной форме. Реально, когда мы говорим о том, что научное знание основано на эксперименте, необходимо иметь в виду, что проверяется всегда *совокупность* наших представлений об окружающем мире, и она должна быть в разумной степени непротиворечивой.

Нет логического пути, приводящего к созданию теории; существуют лишь осуществляемые на ощупь конструктивные попытки, контролируемые посредством тщательного анализа познанных фактов... На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории.

(А. Эйнштейн)

Научное творчество самого Эйнштейна дает яркие примеры «первичности» физической теории по отношению к физичес-

кому эксперименту. В позитивном плане – это, прежде всего, одно из величайших творений человеческого разума – общая теория относительности (ОТО), созданная им в 1907–1915 гг. как достаточно формальная математическая конструкция и блестяще подтвержденная всеми последующими экспериментами и астрономическими наблюдениями. Первой такой проверкой было измерение отклонения лучей света в поле тяготения Солнца во время солнечного затмения 1919 года. Эти измерения, выполненные английской астрономической экспедицией под руководством А. Эддингтона, положили начало всемирной славе Эйнштейна. Точность таких измерений была не слишком велика; систематическая проверка предсказаний ОТО (включая существование гравитационных волн) стала возможна лишь после открытия американскими астрономами Тейлором и Халсом редчайшего объекта – двойного пульсара – через 60 лет после создания теории. Интересно отметить, что, как показали исследования американского историка науки Д. Холтона, и в создании специальной теории относительности основную роль играли не экспериментальные данные (знаменитый опыт Майкельсона-Морли), а тщательный анализ трудностей и внутренних проблем теории электромагнитного поля, созданной Максвеллом. Та огромная роль, которую опыт Майкельсона-Морли играет в современных учебниках, обусловлена скорее педагогическими причинами – реальная история науки подгоняется в преподавании под расхожие представления, что теория основана на эксперименте! Впоследствии неоднократно сообщалось об «опровержениях» специальной и общей теории относительности, однако в конечном счете проверка выявляла несостоятельность этих экспериментов, теория же благополучно выходила из всех передряг.

Творчество Эйнштейна предоставляет нам и «негативный» пример подчиненной роли физического эксперимента. Речь идет об эффекте Эйнштейна – де Хааза (вращение ферромагнитного стержня при перемагничивании), открытого ими в 1915 году, – в этой работе Эйнштейн выступал как экспериментатор! Опыты Эйнштейна и де Хааза подтвердили качественно и количественно блестящую идею молекулярных токов Ампера как причины магнетизма, и все было бы замечательно, если бы не одно обстоятельство. Ферромагнетизм – явление чисто квантовое, и классическое рассмотрение дает ответ, отличающийся от правильного в два раза! Именно этот неправильный результат и был подтвержден экспериментально, что было результатом ошибки (впоследствии исправленной). О ней рассказал соавтор Эйнш-

гейна по этой работе В. де Хааз (цитируется по книге А. Пайса «Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна»):

Значения, которые мы получили [для некоторой величины], были равны 1,45 и 1,02. Второе значение почти равно классическому значению 1, поэтому мы решили, что первое значение оказалось слишком большим из-за погрешностей эксперимента. Мы не измеряли поле соленоида, а рассчитывали его... Мы также не измеряли намагниченность цилиндра, а рассчитывали или оценивали ее... Обо всем этом говорится в статье. Полученные предварительные результаты оказались нам удовлетворительными, и легко понять, почему мы сочли значение 1,02 более подходящим.

В общем, как видно, шутливая формулировка закона Ома, данная датским физиком Розеном (см. сборник «Физики шутят»), вполне корректно описывает статус законов физики, устанавливаемых реальными людьми *в реальном физическом эксперименте*:

Если использовать тщательно отобранные и безупречно подготовленные исходные материалы, то при наличии некоторого навыка из них можно сконструировать электрическую цепь, для которой измерения отношения тока к напряжению, даже если они проводятся в течение ограниченного времени, дают значения, которые после введения соответствующих поправок оказываются равными постоянной величине.

Для того чтобы уменьшить влияние «субъективного фактора», в научных исследованиях часто выдвигается требование повторяемости и воспроизводимости результата эксперимента. С практической точки зрения это означает, что сообщение об открытии нового физического явления будет игнорироваться (подобно, скажем, сообщению Б. Кабреры 1982 года об обнаружении магнитного монополя) до тех пор, пока оно не будет подтверждено в нескольких ведущих лабораториях. Конечно, при этом неизбежен элемент субъективности: сколько именно подтверждений нужно, какие именно лаборатории считать ведущими, и т.д. При достаточной затрате усилий статус новых утверждений может определиться быстро. Скажем, из двух претендующих на сенсационность физических открытий конца 80-х годов – высокотемпературная сверхпроводимость и «холодный термояд» – первое было почти сразу включено в «канон» современной науки (в данном случае число подтверждений измеряется уже десятками, если не сотнями тысяч!), а второе отвергнуто как невоспроизводимое. Но опять-таки, если говорить

о реальном содержании научных журналов, можно выделить достаточно широкую полосу «серой» науки – результаты, которые никто не может (или не хочет) ни подтвердить, ни опровергнуть. Причем далеко не всегда речь идет о пустяках. В любом случае, требование воспроизводимости слишком напоминает предложение решать научные вопросы голосованием (с введением высоких цензов – требование, чтобы результаты были подтверждены именно в ведущих лабораториях и т. п.). Но как же быть со словами Галилея, что в науке мнение одного может быть ценнее, чем мнение тысячи?

Иногда требование воспроизводимости считается критерием, отличающим науку от «лженауки», и распространяется даже на гуманитарные дисциплины. В этой связи приведем слова известного современного физика А.Б. Мигдала:

Даже в физике, химии и астрономии не всегда удается повторить условия эксперимента. Как быть с биологией или психологией, где объекты отличаются друг от друга? Можно ли и там требовать повторяемости и воспроизводимости результатов? Да, можно и нужно – без этого нет науки! Разумеется, здесь гораздо труднее поставить недвусмысленный эксперимент, но зато не требуется той неслыханной точности, которая необходима была, чтобы обнаружить астрономические отклонения от классической механики. В этих науках, по крайней мере на их современной стадии, часто довольствуются не количественными, а качественными результатами.

Как обсуждалось выше, условие воспроизводимости очень часто не выполняется в парапсихологии, где результаты зависят от субъекта наблюдения, и именно это служит формальным основанием для объявления парапсихологии «лженаукой». На самом деле в явлениях, где невозможно четко отделить субъект от объекта, воспроизводимость должна пониматься в более строгом смысле: сравнивать можно лишь результаты, полученные в сходных внешних условиях при сходном психическом состоянии участников эксперимента. В «стандартной» науке такое требование звучит анекдотически (если, скажем, речь идет о физическом явлении, которое наблюдается лишь при определенной степени опьянения всех участников эксперимента). В исследованиях, связанных с психикой человека, оно, тем не менее, отражает существо дела. Непонимание этого часто приводит к тяжелым недоразумениям.

С другой стороны, многие данные, полученные при наблюдении уникальных и невозпроизводимых (по крайней мере, по желанию заказчика) явлений природы, например, вспышки Сверхновой 1987 года, рассматриваются как вполне научные. Конечно, можно сказать, что и здесь критерий воспроизводимости выполняется – в том смысле, что имеются результаты наблюдения хоть и уникального явления, но полученные в разных обсерваториях. Однако при этом мы попадаем в зависимость от «человеческого фактора» и отнюдь не избавляемся от необходимости отвечать на неудобные вопросы. Скажем, гораздо больше людей наблюдало Благодатный огонь на Пасху в Иерусалиме, чем рождение каких-нибудь анти-сигма-минус-гиперонов – ну и что? Или мы должны считать только наблюдателей «со справкой» (докторские дипломы и т.д.)? Приемлема ли такая апелляция к социальным факторам, когда речь идет об Истине? Для сравнения можно процитировать (по книге Ш. Костера «Легенда об Уленшпигеле») указ испанского короля, направленный на искоренение ереси в Нидерландах:

Вообще да не дерзнет никто, какого бы он ни был звания и состояния, рассуждать или препираться о священном писании, даже о сомнительных речениях такового, *если только он не какой-нибудь известный и признанный богослов, получивший утверждение от какого-либо знаменитого университета.* (Курсив наш. – Авт.)

По-видимому, реальным критерием для включения новых данных в научную картину мира служит трудно формализуемое, но интуитивно вполне ясное каждому «работающему» ученому требование «согласованности» этой картины (ее конгруэнтности – в том смысле, как данный термин используется в современной психологии). Грубо говоря, если здание науки строится из красных обожженных кирпичей стандартного размера, деревянный кирпич, или слишком длинный кирпич, или слишком толстый – будет «отвергнут строителями» (Мф. 21:42). Но, может быть, именно этот кирпич и украсил бы все здание или даже встал во главу его угла? Здесь уместно процитировать ранний христианский текст – «Пастырь» Гермы:

Действительно, строилась квадратная башня теми шестью юношами, которые пришли с нею. Многие тысячи других мужей приносили камни. Некоторые доставали камни со дна, другие из земли и подавали тем шести юношам, они же принимали их и строили. Камни, извлеченные со дна,

сразу клали в здание, потому что они были гладкие и ровные и так плотно примыкали один к другому, что соединения их нельзя было заметить, и башня казалась возведенной из одного камня. Камни же, принесенные из земли, не все использовались для строительства. Некоторые из них строители откладывали, потому что были они шероховаты, или с трещинами, или светлы и круглы и не годились для здания башни. А некоторые камни они раскалывали и отбрасывали далеко в сторону. И отброшенные камни, видел я, падали на дорогу и, не оставаясь на ней, скатывались: одни в место пустынное, другие попадали в огонь и горели, иные падали близ воды и не могли скатиться в воду, хотя и стремились попасть в нее.

Далее в этом тексте говорится, что отброшенные камни могут быть использованы («спасены»), но уже в другой башне. Здесь можно увидеть намек не только на иные миры, но и на научные революции...

Исходя из критерия конгруэнтности, данные парапсихологических исследований никогда не будут включены в научную картину мира, так как не согласуются с ее исходной базовой установкой о возможности жесткого разграничения субъекта и объекта и познания «мира как он есть» безотносительно к тому, кто его познает. Но означает ли в данном случае «ненаучность» таких исследований – их бессмысленность и заведомую ложность результатов? Французская Академия наук в конце XVIII века постановила не рассматривать как антинаучные проекты вечных двигателей (пока все хорошо...), а также сообщения о камнях, падающих с неба (а как же метеориты?!). По словам одного из крупнейших современных физиков Р. Фейнмана,

Кстати, не все то, что не наука, уж обязательно плохо. Любовь, например, тоже не наука. Словом, когда какую-то вещь называют не наукой, это не значит, что с нею что-то неладно: просто не наука она, и все.

Конгруэнтность может рассматриваться как необходимый признак истинности (хотя и это нуждается в тщательном рассмотрении; должна ли истина быть непротиворечивой?), но заведомо не как достаточный. Приведем яркое высказывание, восходящее к школе одного из наиболее известных современных мистиков – Шри Ауробиндо, которое поучительно и для научных работников:

Есть история об одном индийском брамине, который каждый день, отправляя ритуал, был вынужден привязывать

своего кота, чтобы тот не мешал совершению ритуальных действий. Брамин умер, умер кот, и теперь уже его сын, заботясь о «точном» соблюдении ритуала, купил кота и с примерной аккуратностью привязывал его каждый раз во время жертвоприношения! Кот перешел от отца к сыну как необходимый элемент эффективного проведения ритуала. Возможно, что к нашим «абсолютно бесспорным» законам привязаны такие вот коты.

(Сатпрем. Шри Ауробиндо
или Путешествие сознания)

Поскольку никакое конечное число экспериментов не может гарантировать правильность теории (через конечное число экспериментальных точек можно провести бесконечное множество кривых), австрийский философ К. Поппер предложил считать критерием научности какого-либо утверждения принципиальную возможность его экспериментального *опровержения* (критерий фальсифицируемости). *Подтверждение* же теории в конечном числе экспериментов, строго говоря, ничего не доказывает. Этот критерий действительно позволяет отличить научные утверждения от, скажем, философских концепций, которые никогда не могут быть строго опровергнуты – их можно лишь «правильно» или «неправильно» понимать и применять. К сожалению, он неконструктивен и ничего не говорит об истинности или ложности принимаемых или отвергаемых утверждений.

В марксистской философии критерием истинности, в том числе и научного знания, считалась практика. В действительности указанный критерий гораздо старше марксизма.

Некто спросил: что такое изучение явлений?

Су Шань отвечал: одеться и поесть.

(Разумеется, если говорить серьезно, то нужно помнить, что эти слова сказаны дзенским монахом – человеком, который уже превзошел любые рациональные критерии.) Когда теорию удается *использовать* с ожидаемыми результатами, она является правильной. Во многих случаях применимость критерия практики не вызывает сомнений. Скажем, изобретение транзистора подтверждает правильность наших представлений об энергетическом спектре электронов в полупроводниках, взрыв атомной бомбы – правильность представлений о делении ядер и т.д. В то же время, заведомо неправильные (по крайней мере, по современным меркам) теории также иногда позволяют прийти к практически правильным выводам, подтверждение чему можно найти, например, в сказках Киплинга.

Марс указал мне, что чума переносится крысами, тварями Луны. Именно Луна, покровительница всего темного и дурного, и была всему виной...

Я помчался на поле, где лежали больные, и попал к ним как раз в то время, как они молились:

– Эврика, люди добрые! – крикнул я и бросил им под ноги дохлую крысу, которую я взял на мельнице. – Вот ваш настоящий враг. Звезды наконец мне его открыли...

... Как бы то ни было, чума прекратилась и отступила от нашей деревни. С того дня, как Марс открыл мне на мельнице причину болезни, от чумы умерло всего три человека...

Я доказал свое первоначальное утверждение: Божественная Астрология... позволяет мудрым мужам сражаться даже с чумой.

Напомним еще, что в средние века с эпидемиями боролись колокольным звоном, и часто безуспешно. При изготовлении булата практически полезной оказалась теория, согласно которой сильный раб, если заколоть его раскаленным клинком, отдаст ему свою силу. Отметим, что открыть секреты, подобные секрету булата, иногда оказывается не по силам современной науке, хотя строго научный подход к проблеме, конечно, существует. В данном случае он состоит в рассуждениях о закалке, мартенситном переходе, обогащении азотом и углеродом и т. д., однако желаемых практических результатов можно при этом и не добиться (кочующая по авторефератам диссертаций фраза о том, что «целью работы является получение материалов с заранее заданными свойствами») является стандартным объектом шуток в профессиональных кругах). В общем, здесь скорее нужно говорить о критерии практики в смысле «фальсифицируемости»: если устройство, созданное на основе какой-то теории, не работает как ожидается, теория скорее всего неверна. К тому же этот критерий слишком узок: скажем, большинство физиков не сомневаются в правильности общей теории относительности, хотя об ее практическом использовании в обозримом будущем не может быть и речи.

Другим «эмпирическим» критерием истинности физической теории является ее математическая красота. По словам Эйнштейна,

Нужно сначала высказать несколько общих положений о точках зрения, или критериях, с которых можно критиковать физические теории. Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта... Во втором критерии речь идет... о предпосылках самой теории, о том, что можно

было бы кратко, хотя и не вполне ясно, назвать «естественностью», или «логической простотой» предпосылок... Этот критерий, точная формулировка которого представляет большие трудности, всегда играл большую роль при выборе между теориями и при их оценке... Вторым критерием можно кратко охарактеризовать как критерий «внутреннего совершенства» теории, тогда как первый относится к ее «внешнему оправданию».

Важно подчеркнуть, что критерий «внутреннего совершенства» является, в сущности, «гуманитарным» (аксиологическим) и глубоко личным. Замечание Эйнштейна о трудности его формализации не является случайным, а отражает самую суть дела – привнесение личностных оценок в самый фундамент науки. В полном соответствии с этим критерием, Эйнштейн, большую часть жизни (работы по созданию теории относительности он завершил в молодости) посвятил построению единой теории поля в рамках программы геометризации физики – при полном отсутствии экспериментальных оснований и «социального заказа» для такой деятельности. Хотя все предложенные им многочисленные варианты единой теории поля оказались неудовлетворительными, заданный Эйнштейном импульс оказался очень сильным и в конечном счете привел к успеху уже после его смерти. Современные теории «неабелевых калибровочных полей», в рамках которых решен вопрос об объединении электромагнитных, слабых и (скорее всего) сильных взаимодействий, действительно являются развитием общей теории относительности – если угодно, ее применением к некоторому сложному конфигурационному пространству (что было впервые осознано японским физиком Р.Утияма).

Важность математической красоты физической теории подчеркивалась также П.Дираком, предложившим свое знаменитое уравнение, описывающее электрон, исходя из эстетических и формальных соображений. Подобные случаи обосновывают веру естествоиспытателей (или, по крайней мере, физиков), в «непостижимую эффективность математики», давшую название известной статье американского физика Е.Вигнера. Вигнер пишет:

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 в своих будущих исследованиях мы сможем по-прежнему пользоваться им.

С другой стороны, критерий «математического изящества» является достаточно субъективным (скажем, тот же Дирак считал отвратительной процедуру перенормировок в квантовой теории поля; дальнейшее развитие науки показало исключительную важность концепции «перенормируемости»). К тому же он применим (и то, по-видимому, ограниченно) только в физике и, более того, только в некоторых ее базовых разделах. Если нас интересуют, скажем, свойства какого-то конкретного сплава или соединения, вряд ли критерий математического изящества поможет нам дать надежное объяснение. В конце концов, различных сплавов и соединений – десятки и сотни тысяч, если не миллионы, и почему объяснение свойств данного конкретного вещества – одного из этих миллионов – должно непременно быть простым и изящным?

В целом, наука так и не смогла выработать единый, применимый во всех ситуациях и не знающий исключений критерий истинности своих собственных утверждений. Поэтому неудивительно широкое распространение в научной среде позитивистских взглядов, когда проблема истинности подменяется проблемой «общезначимости» (что по существу, если убрать «идеалистическую шелуху», сводится к обсуждавшемуся выше призыву решать научные вопросы голосованием), «экономичности описания» и т. д. Хотя позитивизм можно рассматривать как по-своему естественную реакцию на слишком легковесные «натурфилософские» спекуляции в духе Гегеля (не говоря уже об Энгельсе), отрицание существования объективной истины психологически чрезвычайно неблагоприятно для успешной научной работы.

Создается впечатление, что современная наука и тесно связанная с ней европейская философия Нового времени так и не смогли предложить убедительную альтернативу взглядам своих основоположников, которые, в сущности, отстаивали *самоочевидность* истины. Декарт писал:

Что касается меня, то я никогда не сомневался в том, что истина является столь ясным трансцендентально понятием, что невозможно его игнорировать; конечно, мы всегда каким-то образом проверяем весы, прежде чем ими воспользоваться. Но об истине мы ничего не узнали бы, если бы не знали ее уже по натуре.

Такие высказывания известны с глубокой древности:

Мы в себе самих имеем средство раскрытия лжи и доказательства истины.

(Пифагор)

В конечном счете, для этих мыслителей вера в способность человека познать истину коренилась в их религиозных взглядах: Бог создал мир и человека таким образом, что человек способен познать мир.

Если бы истина устанавливалась всегда впереди и мы действительно двигались бы по асимптоте к некоторой абсолютной истине, никогда ее не достигая, а имея все время лишь относительные истины, то, как вы сами понимаете, ни в одной точке этого движения никто никогда никакую истину вообще не мог бы высказать... Итак, мы двинулись. Двинулись! – требует Декарт... Двинулись в ... зазоре первичного шага мира. Потому что на первом шаге законов нет, они появятся только на втором, и нужно мыслить в зазоре между шагами... Но мыслить уже с символом, имея символ бесконечной мощи мышления. То есть символ Бога... И то, что мы можем понять, мы можем понять только духовно, то есть не по законам объекта, а по законам духа... Нечто красиво, потому что Бог так установил... Он так сделал, и потому это истина...

Декарту неоднократно приходилось отвечать на следующий вопрос: может ли атеист быть математиком? Математиком, уверенным в точности и правильности своих доказательств, и он упорно каждый раз отвечал: не может!

(М. Мамардашвили. *Картезианские размышления*)

К близким выводам приходят и наиболее глубоко мыслящие современные ученые. Широко известен афоризм Эйнштейна «Бог изощрен, но не злонамерен», названный Н.Винером «больше, чем афоризмом, положением, выражающим основы научного метода» («Кибернетика и общество»; как пример идеологической борьбы лингвистическими средствами, отметим, что в советском издании этой книги вместо «изощрен» стоит «коварен»; по-немецки raffiniert). Имеется в виду, что мир является «честным противником» ученого и не оказывает активного сопротивления попыткам его познать: наука – это разгадывание загадки, а не война с природой. Приведем слова Н.Винера:

Ученый-исследователь должен всегда проводить свои эксперименты, не боясь, что природа со временем раскроет его приемы и методы и изменит свою линию поведения.

Итак, в конечном счете, для обоснования возможности научного познания и научной истины приходится ссылаться на волю Божию. Потребность в познании (разумеется, не только научном) является неустранимой для религиозного человека. По словам раннего учителя церкви Климента Александрийского, если бы можно было отделить познание Бога от вечного спасения и ему было бы нужно выбрать между познанием Бога и вечным спасением, он выбрал бы познание Бога. Этому высокому стремлению противопостоит материалистическое обоснование стремления к познанию – «одеться и поесть». Разумеется, психологическая неприемлемость или «неэстетичность» какой-то точки зрения не может служить доказательством ее неправильности. Но как объяснить, скажем, «непостижимую эффективность математики» в естествознании или отмеченную выше роль эстетических критериев в научном познании? Вообще, как человек познает мир?

Мы не будем рассматривать здесь «онтологическую» сторону вопроса, например, «ленинскую теорию отражения», основанную на надежде, что наука в будущем поймет, как именно возникло сознание (кстати сказать, а как соотносится манера обосновывать философские положения будущими достижениями науки и столь важная для материализма идея причинности?). Если же говорить о гносеологических аспектах, то, по-видимому, единственный материалистический сценарий появления нового (не только научных идей, но и, по Дарвину, биологических видов) – случайный перебор различных возможностей. Так работают компьютеры. При исследовании искусственных «моделей» реальности, созданных человеком, например, игры в шахматы, такая «стратегия познания» действительно оказывается вполне успешной. Впрочем, даже в этом случае не следует забывать, что «функция оценки позиции», хотя и может подправляться компьютером, все-таки не вырабатывается им самостоятельно, а задается человеком-программистом. Если же говорить о научной работе, то она также содержит многие вполне «компьютерные» элементы. Подавляющее большинство научных работников действительно занимаются перебором вариантов (даже не слишком сложным), «собирая» свои работы из фрагментов работ предшественников (если метод, описанный в статье А, применить к задаче, сформулированной в статье Б...). Их, по-видимому, действительно можно, на радость материалистам, заменить компьютерами. Но может ли такая схема объяснить появление радикально новых идей? Можно ли пере-

бором вариантов прийти к общей теории относительности или к квантовой механике, или к теории множеств?

По-видимому, отрицательный ответ на этот вопрос можно вполне строго обосновать, даже если ограничиться одной лишь математикой. Такому обоснованию посвящены книги выдающегося современного математика и физика Р. Пенроуза «Новый разум императора» и «Тени разума», очень популярные на Западе, (первая из этих книг недавно переведена на русский язык). Здесь мы приведем краткое резюме утверждений Пенроуза, отсылая читателя за многими важными деталями к оригинальным текстам.

Человека-математика можно было бы полностью заменить компьютером (конечно, только в принципе и только если иметь в виду его профессиональную деятельность), если бы математика была бы полностью формализованной системой, выводимой из конечного набора аксиом. Однако такая лейбницевско-расселовско-гильбертовская программа аксиоматизации математики и сведения ее к «прикладной логике» была опровергнута К. Геделем и другими логиками в 30-х годах XX века. Речь идет прежде всего о знаменитой «теореме Геделя о неполноте», согласно которой даже в пределах арифметики натуральных чисел существуют утверждения, непроверяемые и недоказуемые (при любом строгом понимании слова «доказательство») на основании любого конечного набора аксиом. Близкое (и в действительности эквивалентное) утверждение состоит в существовании алгоритмически неразрешимых задач, то есть таких, которые в принципе не могут быть решены никаким компьютером за конечное число шагов. Важно подчеркнуть, что далеко не все такие задачи являются «бессмысленными» или «неинтересными»; известен ряд конкретных примеров алгоритмически неразрешимых задач – скажем, не существует общего способа определить, можно или нельзя замостить без зазоров плоскость плитками из данного набора (даже если ограничиваться только плитками-многоугольниками). Дело в том, что множество всех задач, которые могут быть решены всеми прошлыми, настоящими и будущими компьютерами, – счетно, то есть имеет ту же мощность (грубо говоря, «число элементов»), что и натуральный ряд. Человек же вполне способен работать с идеей актуальной бесконечности и с множествами мощности континуума (и, возможно, более высокой). Можно думать, что понятие континуума как некоторой первичной сущности, не сводимой к счетным множествам, действительно присуще человеческой

психике. На уровне физиологии различные виды мышления связываются с полушариями человеческого мозга (правополушарное мышление – непрерывное, образы, топология; левополушарное мышление – логическое, символы, буквы, слова, дискретное, алгебра). Данные нейрофизиологических исследований, по-видимому, также свидетельствуют против аналогии между мозгом и компьютером.

Иногда мозг уподобляют колоссальной вычислительной машине, отличающейся от привычных компьютеров лишь значительно большим числом составляющих его элементов. Считается, что каждый импульс возбуждения переносит единицу информации, а нейроны играют роль логических переключателей в полной аналогии с устройством ЭВМ. Такая точка зрения полностью ошибочна. Работа мозга должна основываться на совершенно других принципах. В мозге нет местной структуры связей между нейронами, которая была бы подобна электрической схеме ЭВМ. Надежность его отдельных элементов (нейронов) гораздо ниже, чем элементов, используемых для создания современных компьютеров. Разрушение даже таких участков, которые содержат довольно большое число нейронов, зачастую почти не влияет на эффективность обработки информации в этой области мозга. Часть нейронов отмирает при старении организма. Никакая вычислительная машина, построенная на традиционных принципах, не сможет работать при таких обширных повреждениях.

*(А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов.
Введение в синергетику)*

По мнению многих авторов, структура сознания еще более сложна, чем это можно себе представить исходя из исследования структуры мозга. Р. Пенроуз так пишет о взглядах К. Геделя по этому вопросу:

По-видимому, точка зрения Геделя состоит в том, что разум не ограничен «вычислительной» способностью и даже не ограничен конечностью мозга... Гедель отверг аргумент Тьюринга о том, что нет разума, отдельного от материи, назвав это предвзвешенным нашего времени. Видимо, для Геделя было очевидно, что физический мозг должен вести себя как вычислительное устройство, но разум – нечто за пределами мозга.

Впрочем, сам Р. Пенроуз пытается дать «материалистическое» (возможно, только по форме) объяснение очевидному

для него факту несводимости человеческого сознания к выполнению некоторой компьютерной программы, или, иными словами, наличию в человеческом (научном, и даже математическом!) мышлении иррациональных моментов. Для этого ему приходится делать предположения, далеко выходящие за рамки современной науки (утверждения о том, что материальным носителем сознания являются не клеточные, а внутриклеточные структуры – цитоскелет; о существенно квантовой природе биологических процессов; о неполноте существующей квантовой механики и вполне определенных схемах ее изменения и обобщения). Что ж, как говорится, поживем – увидим, следует ли понимать такие построения буквально.

Теперь мы дадим краткое резюме своих взглядов по затронутым вопросам. Критерии истинности научного исследования не могут быть установлены в рамках самой науки. Они основаны на вере и, в конечном счете, не являются полностью рациональными. Процесс возникновения новых научных идей также в значительной степени иррационален. Часто обсуждавшиеся критерии «практики» и «внутреннего совершенства» научной теории действительно охватывают многие важные стороны научной истины, но «критериями» в строгом смысле слова не являются, так как имеют ограниченную применимость и к ним могут быть предложены контрпримеры. Истина, в том числе и научная, всегда личностна. Из этого, разумеется, не следует, что мы стоим на релятивистских позициях: истина, безусловно, существует, и, как сказано в Библии, «Господь Бог есть истина» (Иеремия 10:10). Однако проявляться и преломляться в нашем мире она может только через человека, и любые попытки понять науку, игнорируя тот факт, что она делается людьми, бессмысленны.

2. Атомизм и первоэлементы

*Еще, быть может, каждый атом
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.*

(В. Брюсов)

*Разводит огонь в очаге – каждый свой –
Каждый смертный под кровом своим,
И Четыре Ветра, что правят землей,
Отовсюду приносят дым.*

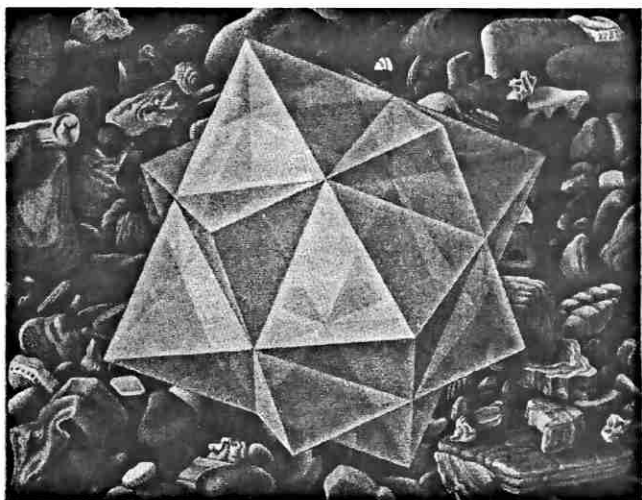
(Р. Киплинг. Очаги)

Помимо изучения макрокосма (наблюдаемого «мира вокруг нас»), наука ставит вопрос о строении и законах микромира (молекул, атомов, субатомных частиц). Последние могут существенно отличаться от привычных нам законов, действующих для видимых невооруженным глазом объектов. В настоящей главе мы рассмотрим как традиционные, так и современные научные представления об элементарных «кирпичиках», определяющих строение и свойства материи.

Представление о существовании мельчайших частиц вещества – атомов и молекул – является одним из важнейших положений современной физики.

Если бы в результате мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это *атомная гипотеза* (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): *все тела состоят из атомов – маленьких телец, которые находятся в беспрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижаться к другому.* В этой фразе, как вы убедитесь, содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения (!) и чуть соображения.

*(Фейнмановские лекции по физике.
Вып.1, М., Мир, 1977, с. 23–24)*



Наука давно уже не рассматривает атомы как неделимые частицы (скажем, как абсолютно твердые шарики). Известно, что они состоят из более мелких частиц – электронов и находящегося в центре атома тяжелого ядра; последнее, в свою очередь, состоит из протонов и нейтронов. Однако планетарная модель атома, описывающая его как миниатюрную солнечную систему, оказалась несостоятельной: согласно классической теории электромагнетизма, электроны, играющие роль планет, должны были бы излучать энергию и неизбежно упасть на ядро за микроскопически малые промежутки времени. Кроме того, такая модель не может объяснить полной тождественности атомов данного химического элемента (ведь орбиты электронов могут располагаться на любом расстоянии от ядра). Решение этих проблем дала лишь квантовая механика, которая описывает движение электрона в атоме как стоячую волну с помощью набора целых квантовых чисел (опять пифагорейская гармония!). Отметим, кстати, что существование различных частот вибраций и соответствующих уровней сознания для всех состояний материи является одной из центральных идей оккультизма. На основе «магии» этих чисел квантовая теория позволила полностью объяснить расположение элементов в таблице Менделеева, в том числе имевшиеся там «нарушения», связанные с редкоземельными металлами и т.д., вокруг которых было столько спеку-

ляций в оккультной литературе конца XIX – начала XX века (см., напр., «Тайную доктрину» Е.П. Блаватской).

Европейская традиция размышлений о природе «первома-
терии» (из чего все состоит) восходит к атомизму древней Гре-
ции. Общим местом в греческой философии было сведение ма-
терии к четырем первоэлементам: огню, воде, земле и воздуху,
мыслители разных школ лишь ставили на первое место один
из этих элементов. В большинстве школ Греции первоэлементы
понимались как способные к взаимному влиянию и превраще-
нию.

Огонь живет смертью земли, воздух живет смертью огня,
вода живет смертью воздуха, земля – смертью воды.

(Гераклит, см. также Платон. Тимей 49)

Символика первоэлементов так или иначе присутствует во
многих религиозных и «эзотерических» традициях и имеет
архетипический смысл.

Росток мой – от воды небытия,
От пламени скорбей – душа моя,
Как ветер, я кружу, ишу по свету –
Где прах, в который превратился я.

(О. Хайям)

Иногда (например, у Аристотеля и в некоторых восточных
учениях) добавляется пятый элемент – эфир. Элемент огня часто
символизируется опирающимся на основание (мужским) треу-
гольником или пирамидой, ему ставится в соответствие красный
или оранжевый цвет. Воде сопоставляются волнистые линии
или «женский» треугольник с вершиной вниз, зеленый и синий
цвета. Элемент земли изображается квадратом или кубом, его
цвет – желтый, коричневый или черный. Символы воздуха –
круг, полумесяц; цвета – голубой (небесный) или золотой. Четы-
рем стихиям могут быть сопоставлены и четыре масти играль-
ных карт. В китайской философии огонь и воздух считаются
активными мужскими элементами (ян), а земля и вода – пассив-
ными женскими (инь).

В алхимии четыре элемента связываются с четырьмя сос-
тояниями материи (твердое, жидкое, газообразное и «тонкое»).
Кроме того, здесь вводятся три «принципа»: сера или мышьяк
(активное, мужское начало), ртуть или меркурий (пассивное,
женское начало) и соль (их связь); их сакральный смысл – дух,
душа и тело. Эти принципы символизируют качества материи:

сера – цвет, сухость, горючесть, твердость, а ртуть – блеск, плавкость, летучесть. Семь металлов (золото, серебро, ртуть, свинец, олово, железо, медь) сопоставлялись семи планетам (Солнцу, Луне, Меркурию, Сатурну, Юпитеру, Марсу, Венере). В средневековой алхимии широко использовалась геометрическая символика.

Джон Ди (1527–1607) размышляет следующим образом: «Вполне разумным будет предположение, что четыре прямые линии, расходящиеся в противоположных направлениях из одной, отдельной точки, символизируют тайну четырех элементов... Источником вещей и существ является точка и монада»... Точно так же, как земля соответствует треугольнику, а вода – линии, так огонь соответствует точке... Точка символизирует свет и огонь, а также Божество, поскольку свет есть «образ Божий» или «пример Божества»... Золото обладает «простотой», близкой к простоте круга (символа вечности) и неделимой точки. Золото имеет «круглую форму»...

*(К.Г. Юнг. *Mysterium Coniunctionis*, с. 63, 64)*

Представление о четырех первоэлементах (стихиях) не чуждо и иудео-христианской (библейской) традиции. В текстах им сопоставляются четыре стороны света (направления ветра).

А что ты видел ее сидящую на скамье – это означает твердое положение, так как скамейка имеет четыре ножки и стоит твердо, да и мир поддерживается четырьмя стихиями.

*(Пастырь Гермь 1.3.13 –
ранний христианский текст)*

Тогда сказал Он мне: изреки пророчество духу, изреки пророчество, сын человеческий, и скажи духу: так говорит Господь Бог: от четырех ветров приди, дух, и дохни на этих убитых, и они оживут.

(Иезекииль 37:9, см. также Зах.2:6, Дан.7:2)

Согласно некоторым комментариям, о сотворении четырех стихий говорится уже в первом стихе Библии (Быт.1:1). В частности, еврейское слово «небеса» (шамаим) может расшифровываться как соединение «эш» (огонь) и «маим» (вода).

Проблема первоэлементов в применении к миру и человеку затрагивается и в святоотеческой литературе (например, у Григория Нисского, Иустина Философа).

С неодушевленными [существами] человек имеет сходство в том, что обладает телом и состоит из четырех стихий.

(Иоанн Дамаскин.

Точное изложение православной веры)

Представление о четырех неразрушимых стихиях, сохраняющих память, использовалось для обоснования христианского догмата о будущем телесном воскрешении. Ряд апокрифов, популярных в древней Руси, обсуждает на этом языке антропологическую тематику.

Григорий (Богослов) рече: от коликих частей Адам сотворен бысть? – Ото осми частей: первая вся то от земная тело, второе от камени кости, от моря кровь, от солнца очи, от облака мысли, от ветра дух, от огня теплоту, душу Господь вдохну.

(Беседа трех святителей)

Символика первоэлементов многозначна и может приобретать духовный смысл.

Хозяйство мира – из четырех видов, в хранилище их содержат: из воды, земли, воздуха и света. И хозяйство Бога подобно этому из четырех: из веры, надежды, любви и знания. Наша земля – это вера, в которую мы пустили корень, вода – это надежда, которой [мы] питаемся, воздух – это любовь, благодаря [которой] мы растем, а свет – [это] знание, [благодаря] которому мы созреваем.

(Евангелие от Филиппа 115, ср. с 1Кор.13:13)

Вопрос, на который должен был ответить античный атомизм, формулировался так – из чего состоят сами первоэлементы. Здесь существовали два основных подхода: теория неизменных неделимых материальных атомов Левкиппа и Демокрита (впрочем, насчет их материализма все же необходимы оговорки) и идеалистический атомизм Платона.

Демокрит (V в. до н.э.) был колоритной личностью и отличался большой проницательностью, которой он пользовался в своих теоретических построениях.

Однажды к нему пришел Гиппократ, и Демокрит велел принести молока, а посмотрев на молоко, сказал, что оно от черной козы, которая родила в первый раз; и Гиппократ изумился его проницательности. Девушку, сопровождавшую Гиппократа, в первый день он приветствовал словами «Здравствуй, девушка!», а на следующий день: «Здравствуй, женщина!» – и в самом деле, в ту самую ночь девушка лишилась невинности...

Мнения его были следующие. Начала Вселенной суть атомы и пустота... Ничто не возникает из несуществующего, и ничто не разрушается в несуществующее. Атомы бесконечны по величине и количеству, они вихрем несутся по Вселенной и этим порождают все сложное – огонь, воду, воздух, землю, ибо они все суть соединения каких-то атомов, которые не подвержены воздействиям и неизменны в силу своей твердости. Солнце и луна состоят из таких же телец, гладких и круглых, точно так же, как и душа; а душа и ум – одно и то же.

(Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов, кн. 9; 42,44)

Наиболее полное развитие учение Демокрита получило у Эпикура; в художественной форме оно выражено в знаменитой поэме Лукреция Кара «О природе вещей». Самый, пожалуй, нетривиальный вклад Эпикура в атомизм состоял в идее о спонтанных отклонениях атомов от прямолинейных траекторий (*clinamen*), что позволило ему согласовать атомизм с очевидным для него фактом наличия свободной воли (см., например, Б.Г. Кузнецов. Этюды об Эйнштейне, М., Наука, 1965, с. 88–110). Лукреций так пишет об этом:

Я бы желал, чтобы ты был осведомлен здесь так же точно,
Что, уносясь в пустоте, в направлении книзу отвесном,
Собственным весом, тела изначальные в некое время
В месте неведомом нам начинают слегка отклоняться,
Так что едва и назвать отклонением это возможно.
Если ж, как капли дождя, они вниз продолжали бы падать,
Не отклоняясь ничуть на пути в пустоте необъятной,
То никаких бы ни встреч, ни толчков у начал не рождалось,
И ничего никогда породить не могла бы природа.

Понятие *clinamen* является очень глубоким и имеет очевидные соответствия в современной статистической физике. Связь «случайных» процессов в движении атомов с проблемой необратимости, предсказуемости и свободы подробно обсуждается в гл. 6.

Хотя противопоставление «линии Демокрита» и «линии Платона» типично для советской традиции, следующей В.И. Ленину, более частым является сравнение Платона с Аристотелем, континуальная концепция которого противостояла атомизму на протяжении всего долгого развития западной науки.

Платон и Аристотель! Это не только две системы, но и типы двух различных человеческих натур, которые, с незапамят-

ных времен, облаченные в разные одеяния, более или менее враждебны одна другой... Натуры мечтательные, мистические, платоновские, из тайников своей души создают христианские идеи и соответствующие им символы. Натуры практические, приводящие все в порядок, аристотелевские, создают из этих идей и символов прочную систему, догматику и культ.

(Г. Гейне. К истории религии и философии в Германии)

Особую роль в платоновской атомистической системе играли абстрактные геометрические понятия, в частности, правильные многогранники. Наиболее детальное изложение этих идей дано Платоном в диалоге «Тимей», где четыре правильных (платоновских) многогранника соответствуют четырем первоэлементам: октаэдр – воздуху, тетраэдр – огню, куб – земле, икосаэдр – воде. Додекаэдр, по-видимому, соответствовал «пятому элементу», который Бог использовал, чтобы создать Вселенную. Интересно, что два последних многогранника имеют оси симметрии пятого порядка, которые, как мы знаем теперь, не реализуются в обычных кристаллах; Вернадский считал такую симметрию характерной для живых организмов. Согласно теории строения жидкостей Дж. Бернала, наличие локальных осей симметрии пятого порядка является важнейшим отличием структуры жидкостей от структуры кристаллов (икосаэдр по Платону соответствует воде!). Важно еще раз подчеркнуть, что эти «элементы» (а скорее – математические сущности) не понимались как неизменные и могли взаимно превращаться друг в друга (правильные многогранники можно разложить на грани, затем на треугольники, а из них собрать другие многогранники). О близости данной концепции современному пониманию элементарных частиц (в отличие от теории Демокрита) писал В. Гейзенберг:

Современная физика выступает против положения Демокрита [о неизменности атомов] и встает на сторону Платона и пифагорейцев. Элементарные частицы не являются вечными и неразложимыми единицами материи, фактически они могут превращаться друг в друга... В современной квантовой теории едва ли можно сомневаться в том, что элементарные частицы в конечном счете суть математические формы, только гораздо более сложной и абстрактной природы [чем платоновы многогранники]... Математическая симметрия, играющая центральную роль в правильных телах платоновской философии, составляет ядро основного

уравнения [речь идет об единой теории элементарных частиц]. Уравнение – только математическое представление всего ряда свойств симметрии, которые, конечно, не так наглядны, как платоновские тела. В современной физике речь идет о свойствах симметрии, которые соотносятся с пространством и временем и находят свое математическое выражение в теоретико-групповой структуре основного уравнения.

(В. Гейзенберг. Физика и философия, с. 36,37)

Таким образом, Гейзенберг выделяет в учении Платона как созвучные современной физике идеи об основополагающей роли математических понятий, прежде всего – соображений симметрии (формализуемых в рамках математической дисциплины, которая называется теорией групп).

Концепцию Платона уместно сравнить с современными естественно-научными (физическими) взглядами на проблему первоэлементов. В качестве таковых давно не рассматриваются атомы: их сложное строение достаточно убедительно было показано в конце XIX – начале XX в. (открытие электрона, радиоактивности, атомного ядра и т.д.). Частицы, считавшиеся «элементарными» в середине века (например, составные компоненты атомных ядер – протон и нейтрон), как оказалось, также имеют сложное строение. Оно проявляется, например, в опытах по рассеянию на ядерных частицах электронов сверхвысокой энергии, которые показывают наличие внутри протона и нейтрона «точечных» образований (партонная модель Р. Фейнмана). В настоящее время принято отождествлять составные части бывших «элементарных» сильно взаимодействующих частиц (адронов) с кварками – введенными М. Гелл-Манном гипотетическими «истинно элементарными» частицами с дробным зарядом.

Название «кварки» было взято из модернистского романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», где оно обозначало демонические существа. По-видимому, такое название было выбрано не случайно: его уместность впоследствии была оправдана необычными свойствами кварков (в частности, их ненаблюдаемостью в свободном виде) – странное название для странных существ! В первоначальной модели Гелл-Манна и Цвейга речь шла о трех типах кварков, откуда и ассоциации с джойсовским «три кварка для сэра Марка»; при конструировании из них элементарных частиц Гелл-Манн (видимо, без серьезных философских оснований) использовал «буддийскую» терминологию восьмеричного пути (четвертая благородная истина).

Впоследствии пришлось ввести кварки четвертого типа; в настоящее время принято, что все сильно взаимодействующие частицы (адроны) состоят из кварков шести типов. Электрон же, нейтрино и некоторые другие частицы, не участвующие в сильных ядерных взаимодействиях (так называемые лептоны), как и кварки, считаются истинно элементарными, причем число типов лептонов равно числу типов кварков (симметрия!). Кваркам был приписан «цвет»: три кварка, входящие в состав протона или нейтрона, в силу принципа запрета Паули, должны иметь разные цвета; наука о взаимодействии кварков была названа хромодинамикой.

Скинию же сделай из десяти покрывал крученого виссона и из голубой, пурпуровой и червленной шерсти, и херувимов (!) сделай на них искусною работою.

(Исход 26:1)

Кроме того, было введено понятие «аромата» (тип кварка), а также новые квантовые числа: странность, очарование, прелесть... Разумеется, причина выбора этих терминов интересна в основном с психологической стороны. Впрочем, мы до сих пор не понимаем по-настоящему, как работают математика и другие символические системы в естественных науках, а потому и не можем с полной уверенностью судить о том, в какой мере произвольны те наглядные образы, с помощью которых люди создают *успешные* естественно-научные теории.

В соответствии с общей направленностью книги мы не будем приводить здесь подробно соответствующий научно-популярный материал сам по себе, однако отметим параллели между теорией кварков и описанными выше традиционными представлениями. Прежде всего, в полном соответствии с приведенными выше словами В. Гейзенберга, современная физика явным образом перекликается с идеями Платона о лежащих в основе материи правильных многогранниках. Кварки возникли исторически как чисто математические объекты, как некие состояния, образующие, говоря более формальным языком, базис неприводимого представления некоей группы симметрии. С этой точки зрения, действительно можно сказать, что соображения симметрии (*правильные* платоновские многогранники) определяют структуру и свойства первоэлементов. Более того, описанные в «Тимее» взаимные превращения атомов путем перестановки составляющих их (многогранники!) треугольников вызывают явные ассоциации с современными представлениями о превращениях элементарных частиц путем перераспределения сос-

тавляющих их кварков. Другая интересная параллель состоит в том, что кварки не могут существовать в свободном виде – опять же подобно платоновским треугольникам, которые не являются объемными телами, а лишь *формируют* их. В этом смысле кварки выступают как символы, а не материальные объекты.

Кому вы страшны? – сказала Алиса. (Она уже выросла до своего обычного роста.) – Вы ведь всего-навсего колода карт.

(Л. Кэрролл. Алиса в стране чудес)

Проблемы, связанные с атомизмом, также напряженно дискутировались арабскими учеными, которые продолжали традиции греков. Некоторые их мысли также весьма напоминают идеи современной физики элементарных частиц.

Люди держались четырнадцати мнений в вопросе о теле: может ли оно соединиться и истребить всю соединенность, в нем имеющуюся, так что станет одна неделимая частица, или не может, а также о том, что внедряется в тело... Ан-Наззам передает, что некоторые говорили: частица имеет [только] одну сторону – так, вещи, обращенные к нам одной стороной, – и это та сторона, с которой мы к ним подходим... Некоторые говорили: частица имеет шесть сторон, причем они – ее акциденции и иное, нежели она, что она неделима... Другие говорили: частица имеется, но существует не благодаря себе самой, а благодаря не менее чем восьми неделимым частицам (кварки?!). Тот, кто спрашивает об одной из таких частиц, спрашивает о ее отдельном [существовании], тогда как ее отдельно не бывает. Однако она познается... Другие говорили: частицы делятся, пока не останется две частицы, которые, если ты задумаешь их разделить, делением будут погублены... Дирар, Хафс ал-Фард и ал-Хусейн ан Наджар говорили, что частицы – это цвет, вкус, жар, холод, жесткость и мягкость, что все эти вещи, собранные вместе, – тело и что «частицы» не имеют иного смысла, кроме перечисленных вещей. Наименьшее число существующих частей – десять... Муаммар говорил, что человек – это неделимая частица.

(Ал-Ашари. О чем говорили люди ислама и в чем разошлись творившие молитву, IX–X в.)

Как обычно, приведем менее серьезный комментарий.

Микроб так мал, что по рассказам невидим человеческим глазом, Хотя иные утверждали, что в микроскопе наблюдали Все шесть его больших хвостов неопишуемых цветов

(Причем на каждом из которых по десять хохолков в узорах),
Язык, прозрачный как слюда, и зубы в сорок два ряда,
И брови в шахматном порядке. Но, впрочем, это все догадки,
Хоть весь ученый мир, к примеру, их склонен принимать на веру.

(Х. Беллок)

Анатомия и физиология электрона подробно описана в повести А. Платонова «Эфирный тракт»; отметим такую интересную деталь, как «зубы с винтовой нарезкой» (наглядный образ спина – собственного момента вращения?).

Следует подчеркнуть еще раз, что кварки *внутри* протонов и нейтронов в определенном смысле видны непосредственно (как партоны). Долгое время в качестве альтернативы кварковой гипотезе рассматривалась концепция так называемого «бутстрапа» (зашнуровки), согласно которой все элементарные частицы в определенном смысле являются «равно фундаментальными» и «состоят друг из друга». Аргументом здесь служит возможность взаимных превращений: если приложить достаточно энергии, на ускорителе из данной частицы можно «выбить», как молотком, любую другую частицу (при выполнении определенных законов сохранения). Мироззренческий смысл концепции бутстрапа и особенно ее близость к даосским, индуистским и буддийским концепциям подробно рассмотрены в популярной книге Ф. Капры «Дао физики». Однако эта идея сейчас кажется «неконкурентоспособной» по сравнению с теорией кварков. Последняя же, как мы видим, скорее вызывает более традиционные для европейского мышления ассоциации.

Перейдем теперь к другому кругу вопросов, связанных с атомизмом, а именно, к диалектике дискретного и непрерывного. Серьезные логические трудности, связанные с демокритовской концепцией неизменных материальных атомов, отмечал, в частности, А.Ф. Лосев:

Но что такое атом? Если он материален, то он имеет форму и объем, например, кубическую или круглую форму. Но куб имеет определенной длины сторону... Сторону... можно разделить, напр., пополам, и, следовательно, атом делим, и притом до бесконечности делим. Если же он неделим, то это значит, что он не имеет пространственной формы, а тогда я отказываюсь понимать, что такое этот атом материи, который не материален. Итак, никаких атомов нет как материальных частиц, или они делимы до бесконечности.

(Диалектика мифа)

В приведенном отрывке непрерывность пространства является для Лосева самоочевидной. При этом формулируется вопрос о том, из чего состоит само пространство, который в действительности неразрешим в рамках атомистических представлений (хотя и связан с ними):

Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире.

(А. Эйнштейн. *Собр. научн. трудов, т. 4, с. 223*)

В современной физике атомизм дополняется понятием поля, которое детально рассматривается в гл. 5. Однако сама по себе антиномия дискретного и непрерывного является неустранимой.

Вообще кажется сомнительным, может ли теория поля объяснить атомистическую структуру вещества и излучения... Большинство физиков, несомненно, ответят убежденным «нет», ибо они считают, что квантовая проблема должна решаться принципиально иным путем. Как бы то ни было, нам остаются в утешение слова Лессинга: «Стремление к истине ценнее, дороже уверенного обладания ей».

(А. Эйнштейн. *Собр. научн. трудов, т. 4, с. 356*)

В теории элементарных частиц понятия непрерывности и дискретности оказываются взаимно дополнительными (корпускулярно-волновой дуализм, подробно рассматриваемый в следующей главе). Так, сам по себе электрон *дискретен*, т.е. наблюдается всегда целиком, как и квант света – фотон (например, в виде вспышки на экране, покрытом необходимым составом). С другой стороны, вероятность нахождения микрочастицы в данной точке пространства описывается *непрерывной* «волновой функцией».

Спор между концепциями непрерывности и дискретности материи шел на протяжении всей истории европейской науки. В средние века, когда доминировала философия Аристотеля, атомистическое учение считалось в Западной Европе «эпикурейской ересью». На это были серьезные теологические причины, связанные с таинством причастия и догматом пресуществления (принят Тридентским собором), согласно которому в сколь угодно малом количестве хлеба после пресуществления его субстанции присутствует все тело Христа. Как говорилось в гл. 1,

именно эта проблема стояла в центре борьбы инквизиции с неортодоксально мыслящими философами Нового времени, в частности, привела к преследованиям Дж. Бруно и Г. Галилея.

Ньютон, внесший важный (даже, возможно, решающий) вклад в математику непрерывности – математический анализ, в то же время писал в своей ранней работе «Некоторые философские вопросы»:

Существует наименьшее расстояние, наименьшая степень движения и наименьшая длительность... Наименьшая степень движения совершается в неделимый момент времени.

(Цит. по Л.М. Косаревой)

Впрочем, Ньютон заведомо не был сторонником взглядов Демокрита, признавая, в частности, возможность взаимных превращений атомов.

Каждое тело может преобразовываться в тело другого какого-либо рода, проходя все промежуточные ступени качеств.

(И. Ньютон. Начала, первое издание, Гипотеза III)

Данное убеждение было тесно связано с его практическими усилиями по превращению «неблагородных» металлов в золото (об алхимических интересах Ньютона см. также гл. 1). При этом С.И. Вавилов отмечает (см. написанную им биографию Ньютона), что трудности в решении этой проблемы привели Ньютона к гениальной догадке о существовании в атомах некоторой «твердой» структуры, не изменяемой традиционными химическими средствами, и относительно рыхлой оболочки, которую можно перестроить нагреванием, выпариванием, и т.д.

Для объяснения прохождения световых лучей через тела Ньютон предполагает, что основная часть тел – это поры... Предположение Ньютона о крайней пористости тел, как известно, вполне подтверждается современными сведениями о строении вещества. Схема Ньютона конкретизировалась в виде молекулярных связей, электронных оболочек и атомных ядер. Возвращаясь к приведенному «размышлению» о ртути и золоте, мысль Ньютона на современный язык можно перевести так: для разрушения атомов золота надо найти способ разделения наиболее тесно сближенных частиц, из которых атом составлен. Эта мысль вполне правильна: для разрушения атомов золота надо разрушить его ядро, т.е. то, что Ньютон называл «первым соединением».

Впрочем, общее отношение Вавилова к алхимическим занятиям Ньютона, вытекающее из его материалистических взглядов, возможно, привело к некоторой «модернизации» воззрений Ньютона.

Другой основоположник математического анализа – Лейбниц – твердо стоял на позиции «природа не делает скачков» (*nature non facit saltum*). В то же время в основе его философской системы лежала теория «истинных атомов» – монад, которые имели скорее «логическую» природу и считались нематериальными, неделимыми и неповторимыми (т.е. все различными).

Обсуждение проблемы дискретного и непрерывного берет начало еще с античных парадоксов (апорий). Например, апория об Ахиллесе и черепахе фактически сводится к вопросу о возможности бесконечного деления отрезка пути. В рамках современных «математически строгих» подходов возникают такие парадоксы, по сравнению с которыми бледнеют чисто логические (скорее даже психологические) трудности, отмеченные в приведенной выше цитате из Лосева. Согласно теореме Банаха-Тарского, любой шар (например, размером с апельсин) можно разрезать на *конечное* число кусков таким образом, что, сложив их в другом порядке, мы получим шар другого размера (например, размером с Землю). Здесь важно подчеркнуть лишь принципиальное различие между формальной процедурой разрезания и склеивания пустого пространства и соответствующей физической процедурой для реальных тел, *состоящих из атомов*. Конечно, число атомов, входящих в состав Земли и апельсина, мягко говоря, отличается, а сама процедура по этой причине *физически* нереализуема. Приведем в связи с этим еще один отрывок из поэмы Лукреция:

Предположим, например, что тела изначальные будут
Три или несколько больше частей заключать наименьших.
Если затем ты начнешь эти части у данного тела
Переставлять или снизу наверх, или слева направо,
Ты обнаружишь тогда, сочетания все их исчерпав,
Все изменения форм, что для данного тела возможны...
И таким образом, форм новизна превращения тела
Вслед за собою влечет; а поэтому нечего думать,
Будто вещей семена бесконечно различны по формам.

(Тит Лукреций Кар. *О природе вещей*, 2.485–498)

История атомизма Нового времени была достаточно драматической. Ряд крупных ученых, прежде всего, Оствальд и Мах,

стояли на антиатомистических позициях. Накал полемики был настолько велик, что приводил к человеческим трагедиям. Так, непризнание работ крупнейшего австрийского физика Л. Больцмана по обоснованию термодинамики на базе атомистической теории послужило одной из причин его самоубийства в 1906 г. (идеи Больцмана рассматриваются ниже в гл.6). Неопровержимым физическим аргументом в пользу атомизма оказалась (или показалась) теория броуновского движения, предложенная в 1905 г. А. Эйнштейном и М. Смолуховским, и ее экспериментальное подтверждение Ф. Перреном. Другим важнейшим аргументом в пользу атомизма было открытие элементарного неделимого заряда в опытах Милликена. Интересно, однако, что в проведенных одновременно опытах Эренхафта наблюдались заряды, равные $1/3$, $1/5$... заряда электрона (хотя позднее при поисках кварков эти результаты не были воспроизведены). Это лишний раз подтверждает, что, вопреки расхожим представлениям, критерием истинности в физике являются не просто результаты экспериментов (которые могут противоречить друг другу), а нечто более сложное. Стоит отметить, что, согласно современным представлениям, в системе многих взаимодействующих электронов последние иногда могут вести себя как «квазичастицы» с дробным электрическим зарядом (так называемый дробный квантовый эффект Холла в физике полупроводников). Подобные эффекты, однако, не отменяют того факта, что заряд любой *изолированной* частицы кратен элементарному заряду.

В настоящее время отдельные атомы можно просто-напросто увидеть с помощью таких устройств, как ионный проектор или туннельный микроскоп, так что на уровне физики вопрос об их существовании решен окончательно. Отрицание существования атомов в работах некоторых современных мыслителей, таких, как Р. Генон или А.Ф. Лосев, требует, при условии внимательного и благожелательного отношения к их концепциям, заведомо не буквального истолкования. То же самое следует, видимо, сказать (если говорить об авторах противоположной, материалистической направленности) и по поводу знаменитого высказывания В. И. Ленина об электроны, который «так же неисчерпаем, как и атом».

Перейдем к обсуждению менее известных на Западе (по крайней мере, до последнего времени) восточных атомистических представлений. В китайской традиции строение и развитие материального мира тесно связывается с числовой символикой.

Существует первонепостоянство, существует первоначало, существует первообразование, существует первоэлемент. При первонепостоянстве еще нет воздуха, первоначало – начало воздуха, существует первообразование – начало формы, первоэлемент – начало свойств [вещей]. Все вместе – воздух, форма, свойства – еще не отделились друг от друга, поэтому и называются хаосом. ... [Перво]непостоянство развивается и превращается в одно, одно развивается и превращается в семь, семь развивается и превращается в девять, девять (!) – предел развития, снова изменяется и становится одним. Одно – начало развития формы. Чистое и легкое поднимается и образует небо, мутное и тяжелое опускается и образует землю. Столкновение и соединение [легкого и тяжелого] воздуха образует человека. Оттого что во вселенной содержатся семена, порождается и развивается [вся] тьма вещей.

(Лецзы, даосизм)

В традиционной китайской философии вводится пять элементов (у-син) – дерево (му), огонь (хо), земля (ту), металл (цзинь), вода (шуй). На взаимном превращении пяти первоэлементов (эти превращения определяют взаимное влияние энергетических каналов) основана китайская медицина. Между элементами устанавливаются активизирующие связи «мать-сын», а также сдерживающие (угнетающие) связи. Дерево активизирует огонь и угнетает землю (житейский смысл здесь понятен), огонь, соответственно, землю и металл, земля – металл и воду, металл – воду и дерево, вода – дерево и огонь (ср. с цитатой из Гераклита выше). Элементам сопоставляются «органы» человека (печень, сердце, селезенка, почки, легкие, желчный и мочевой пузырь, тонкий и толстый кишечник, желудок, а также так называемый тройной обогреватель) и соответствующие энергетические каналы – меридианы; при этом органы понимаются скорее как функциональные системы.

В зороастризме (религии Ирана, где основу хозяйства составляли скотоводство и земледелие, многократно упоминаемые в Авесте, как, впрочем, и в Ведах) вводится шесть элементов: огонь, вода, земля, металл, растения и скот.

В индийской философии вводится пять «великих элементов» (махабхут): земля (притхиви), вода (джала), огонь (агни), ветер (вайю), пространство или эфир (акаша); в ведийской религии им сопоставляются боги.

Поистине, из этого Атмана возникло пространство, из пространства – ветер, из ветра – огонь, из огня – воды, из вод – земля, из земли – травы, из трав – пища, из пищи – человек.

(Тайттирия упанишада. II.1.1; этот отрывок можно также сопоставить с библейской последовательностью творения, см. Быт.1–2)

Индийские классификации включают как материальные, так и нематериальные элементы.

Эти пять нерасчлененных элементов и их проявление – тонкое тело – составляют вместе то, что называют 'Hiranyagarbha'. Материальное тонкое тело имеет семнадцать частей, а именно пять жизненных сил, десять органов восприятия и действия, разум и интеллект. Об этом говорится как о тонком теле Атмана.

(Шанкара. Пятиричность)

Помимо пяти «грубых» элементов-махабхут, в йоге рассматриваются соответствующие «тонкие» элементы: запах, вкус, свет, прикосновение, звук. К еще более «тонким» элементам относятся разум и интеллект (манас и буддхи). Кроме того, в индуизме вводится понятие трех гун: раджас (активность), тамас (инертность) и саттва (благость; она связывается с равновесием двух первых гун).

Атомизм, близкий к древнегреческому, подробно развивался в одной из ортодоксальной систем индийской философии – вайшешике. Атомам каждого из первоэлементов приписывались разные качества: атомам земли – запах, вкус, цвет, осязаемость; воды – вкус, цвет, осязаемость; огня – цвет, осязаемость; воздуха – только осязаемость; эфир (акаша) сопоставлялся с органом слуха. Концепция этой школы критикуется в исходном тексте веданты – Брахма-сутре. Шанкара полемизировал со школой вайшешика, опровергая учение об атомах как основе мира (согласно веданте, иллюзорный мир может иметь реальную причину – Атман, а не наоборот). В отличие от теории Демокрита, где душа состоит из атомов, в индийской философии часто предполагается, что души и атомы вечно сосуществуют. По этому поводу различные школы вели дискуссии.

Те, кто полагает, что душа атомична, доказывают это тем, что бесконечная душа не может двигаться; тем не менее считается, что она покидает одно тело и переходит в другое. Это высказывание, согласно Шанкаре, касается лишь вопроса о границах души, но не вопроса о душе как таковой. Возражение, заключающееся в том, что душа, если она ато-

мична, может пребывать в теле лишь в одном определенном месте, отклоняется указанием на следующий пример: точно так же, как кусок сандалового дерева освежает все тело, хотя прикасается к нему только в одном месте, так и атомичная душа способна чувствовать все тело посредством ощущений прикосновения, которые распространяются по всему телу

(С. Радхакришнан. Индийская философия, т. 2, с. 540)

Здесь аналогии с корпускулярно-волновым дуализмом в квантовой механике, теория «волны-пилота» де Бройля и редукции волнового пакета при локализации микрочастицы (см. гл. 3).

Ряд особенностей имеет и «атомистическая» концепция буддизма. Подробная классификация дхарм (элементов, не только физических, но и психических) дана в первом разделе Абхидхармакоши (энциклопедия Абхидхармы, составленная ученым Васубандху в V в.), который называется «Анализ по классам элементов». Всего дхарм по этой версии насчитывается 80 000 типов. Причинно-обусловленные дхармы подразделяются на пять групп (скандх): материи (рупа), чувствительности (ведана), понятий (санджня), формирующих факторов (самскара) и сознания (виджняна). Однако уже определение материи радикально отличается от привычного европейцу: «Материя – это пять органов чувств, пять видов объектов и непроявленное». Хотя параллели легко найти в греческой философии, отличие также важно – в индо-буддийской традиции, включая и атомизм школы вайшешика, атомы движутся не по естественным детерминистическим законам, а по «этическому» закону кармы. К необусловленным дхармам относятся нирвана, Учение буддизма и пространство. Впрочем, согласно продвинутым уровням Учения, «все дхармы пусты».

Появились мутные, видимые словно сквозь мерцавшую воду очертания сплавленных, изогнутых цепочек белка; поймав на черном скрещении одно из уплотнений белковых обломков, я медленно поворачивал ручку увеличителя, все поворачивал и поворачивал; вот-вот должен был наступить конец этого путешествия вглубь. Расплющенная тень молекулы заполнила все поле и... расплылась в тумане!... Я должен был увидеть мерцание студенисто дрожащих атомов, но их не было... Что, собственно, случилось? Что это значит? Это тело, на вид такое хрупкое и слабое, нельзя уничтожить? По сути, оно состоит из ничего?

(С. Лем. Солярис)

В третьей части Абхидхармакоши (85) говорится об атомах: «Атом, слогафонема, момент – пределы [делимости] материи, слова и времени» и даются соответствующие образные определения. Например, щелчок пальцами занимает шестьдесят пять моментов (аналогичные определения можно встретить и в античной и средневековой науке: по Бэде Достопочтенному (VIII в.), 1 час соответствует 22560 моментам времени). Впрочем, такие определения означают скорее минимальный промежуток времени, воспринимаемый человеком, а не физически неделимый интервал (подробнее см. раздел 7.1).

В классификацию Абхидхармы (как и в индуистских школах) входят и махабхуты – великие элементы-стихии: земля (твердость), вода (связуемость), огонь (теплота), ветер (подвижность); иногда вводится пятый элемент – пространство, так что устанавливается соответствие с пятью китайскими первоэлементами; в качестве шестого элемента может рассматриваться сознание, роль которого в понимании концепции первоэлементов первостепенна.

Материя не разлагалась на элементы, а в ходе понимания символов, в движении от знания к пониманию исчезала материя и появлялись элементы как «понимательный» субститут знания материи. Таким образом, элементы или стихии являются нам в качестве конкретных символов такого состояния (а не структуры!) сознания.

*(М.К. Мамардашвили, А.М. Пятигорский.
Символ и сознание)*

Махабхутам сопоставляются ткани и процессы человеческого тела (см. книгу В.Н.Пупышева). Несмотря на «символическое» понимание махабхут, практическое значение всех этих теорий не вызывает сомнений, например, они лежат в основе тибетской медицины. В тибетской медицине вводятся четыре махабхута, к которым добавляется всепроникающее пространство, причем махабхуты являются не физическими или химическими компонентами, а понятиями «тонкой материи», которые определяются их энергетическими функциями и взаимными переходами.

Рассуждения о различных видах «тонких» энергий можно встретить в различных направлениях восточной философии и медицины, а в упрощенном виде – в оккультных подходах. Простой пример нематериального «энергетического» (магического?) воздействия дает гомеопатия, где, после многократного

разведения активного вещества, в лекарстве может не остаться ни одного его атома. Тем не менее, практически гомеопатия вполне эффективна.

Крестьянин заболел желудочным катаром, ему дана была *Nux vomica* в 12-м делении. Лекарство давалось в виде порошка, растертого из 5–6 гомеопатических крупинок из молочного сахара... Через семь дней, согласно предписанию врача, крестьянин пришел показаться и сказал, что чувствует себя гораздо лучше. Чтобы не мешать дальнейшему действию лекарства и вместе с тем не огорчить пациента своим отказом в лечении, врач дал ему на этот раз порошки, подобные прежним, но состоявшие из одного молочного сахара. По прошествии недели крестьянин снова пришел к своему врачу и объявил, что лекарство, данное в последний раз, действовало хуже, чем предыдущее: «Те порошки были горькие, а эти сладкие, — прибавил он, — дай мне лучше опять горьких».

(А.М. Бутлеров. *Статьи по медиумизму*. СПб, 1889, с.451, цит. по П. Флоренскому)

Как и в буддизме, «атомистическое» учение можно найти в каббале, причем здесь также устанавливается связь с природой человека.

Двадцать две буквы образованы из трех букв-матерей, семи двойных и двенадцати простых. Три буквы-матери *алеф, мем, шин* представляют воздух, огонь и воду (аэр, маим, эш)... Семь двойных *бет, гимель, далет, каф, пе, реш, тау* составляют слова жизнь, мир, знание, богатство, прелесть, семя, господство. Они называются двойными, потому что при помощи перестановки букв превращаются в слова, имеющие противоположное значение... Двенадцать простых... Их основание следующее: зрение, слух, обоняние, речь, питание, действие, перемещение, гнев, смех, размышление, сон, размножение... Эти двенадцать букв суть по существу двенадцать членов человека.

(Сефер Йецира)

В Притчах Соломона упоминается о «начальных пылинках вселенной» (8:26, вариант перевода).

В космогонии манихейской дуалистической религии вводится пять светлых стихий (воздух, огонь, ветер, вода, свет) и пять темных (дым, темный огонь – пожар, ветер тьмы, яд, тьма). В последующей истории, особенно в новейшей, в список добавлялись другие темные стихии, в соответствии с политической конъюнктурой:

Просыпаюсь с бодуна – разболелась печень.
Денег нету ни хрена, похмелиться нечем...
Глаз подбит, пиджак в пыли, под кроватью брюки...
До чего же довели коммунисты-суки!

(И. Иртеньев)

Темные стихии и материя порождают силы зла – архонтов (ср. Еф.6:12), которые распределяются по всем областям мира. В теле человека насчитывается 8 400 000 архонтов, из них 28 главных. Архонты-звезды осуществляют тираническое правление над миром, а также телом и душой (но не духом) человека: все органы тела связаны со знаками Зодиака (см. коптский манихейский трактат Кефалайа, М., 1998). Представления о взаимосвязи мира атомов и мира звезд и планет типичны для современного оккультизма; см., например, высказывания Г.Гурджиева:

Расширение сознания происходит не в одном направлении, скажем, в направлении большого космоса; направляясь вверх, оно одновременно направляется и вниз... Если, допустим, человек начал чувствовать жизнь планет, если его сознание переходит на уровень мира планет, он одновременно начинает чувствовать и мир атомов, их жизнь, так как его сознание переходит и на этот уровень... И большее, и меньшее требуют для своего познания сходных перемен в человеке.

(П.Д. Успенский. В поисках чудесного, с. 236, 237)

Здесь важно отметить возможность психологического истолкования связи микро- и макрокосма (речь идет о развитии *сознания*). Подробнее «атомистика» Гурджиева обсуждается ниже.

В конечном счете «атомистические» подходы в традиционных религиях подчеркивают единство мира.

«Принеси сюда плод ньягродхи (символ космического дерева жизни)». «Вот он, почтенный». «Разломи его». «Он разломан, почтенный». «Что ты видишь в нем?» «Эти маленькие семена, почтенный». «Разломай же одно из них». «Оно разломлено, почтенный». «Что ты видишь в нем?» «Ничего, почтенный». «Поистине, дорогой, вот – тонкая [сущность], которую ты воспринимаешь; поистине, дорогой, благодаря этой тонкой [сущности] существует эта большая ньягродха... И эта тонкая [сущность] – основа всего существующего, То – действительное, То – Атман. Ты – одно с тем, Шветакету».

(Чхандогья упанишада 6.12)

[Тот], который един, лишен цвета, посредством многообразной силы творит, [согласно своей] скрытой цели, различные цвета. Это, поистине, огонь, это ветер, это и луна. Это, поистине, чистое, это Брахман, это вода, это Праджapati.

(Шветашватара упанишада)

Вкус воды – это Я, о Партха...

Я в земле благой чистый запах.

(Бхагавадгита 7)

При правильном понимании символов подобные места можно найти и в Библии.

От начала (!) для добрых создано доброе, как для грешников – злое. Главное из всех потребностей для жизни человека – вода, огонь, железо, соль, пшеничная мука, мед, молоко, виноградный сок, масло и одежда: все это благочестивым служит в пользу, а грешникам может обратиться во вред.

(Сирах 39:31–33)

Ибо чаша в руке Господа, вино кипит в ней, полное смешения, и Он наливает из нее. Даже дрожжи ее будут выжигать и пить все нечестивые земли.

(Псалтырь 74:9)

Для сравнения опять приведем слова ученого-физика.

Поэт сказал однажды: «Весь мир в бокале вина». Мы, вероятно, никогда не поймем, какой смысл он в это вкладывал, ведь поэты пишут не для того, чтобы быть понятыми. Но бесспорно, что, внимательно взглянув в бокал вина, мы поистине откроем целый мир. В нем и физические явления (искрящаяся жидкость, испарение, меняющееся в зависимости от погоды и вашего дыхания, блеск стекла) и атомы (о которых нам говорит уже наше воображение). Стекло – это очищенная горная порода; в его составе кроются секреты возраста Вселенной и развития звезд. А из какого удивительного набора реактивов состоит это вино! Как они возникли? Там есть закваска, ферменты, вытяжки и разные другие продукты. Ведь в вине скрывается большое обобщение: вся жизнь есть брожение... Сколько жизни в этом кларете, если он навязывает нашему сознанию свой дух, если мы должны быть столь осторожны с ним! Наш ограниченный ум для удобства делит этот бокал вина на части: физику, биологию, геологию, астрономию, психологию и т.д., но ведь природа на самом деле никакого деления не знает!

(Фейнмановские лекции по физике, вып. 1, М., Мир, 1977, с. 71)

Представления о строении микромира, аналогичные восточным, сохранились в оккультизме, где они часто сочетаются с уже устаревшими естественно-научными взглядами. В то же время, с символической (психологической) точки зрения, такие построения содержат рациональное зерно. По этому поводу в «Тайной доктрине» Е.П. Блаватской и книгах ее многочисленных последователей, наряду с изложением теософских идей, цитируются высказывания выдающихся ученых. Повторим цитату из «Сознания атома» Алисы Бейли:

Я не верю, что материя инертна и действует только под воздействием внешней силы. Мне кажется, что любой атом обладает определенным количеством примитивного разума. Посмотрите, сколькими тысячами способов соединяется атом водорода с атомами других элементов, образуя при этом самые различные вещества. Неужели вы хотите сказать, что они делают это неразумно? Атомы приобретают в гармоничном и полезном отношении красивые или интересные формы и цвета или издают прекрасные ароматы, как бы выражая свое удовлетворение. . . соединенные вместе в определенные формы, атомы составляют животных низшего порядка. И, в конце концов, они объединяются в человеке, который представляет собой разум всех атомов.

– Но откуда же появляется эта разумность?

– От какой-то силы, которая гораздо больше нашей.

– Так значит вы верите в разумного Создателя, в Бога?

– Конечно. Существование такого Бога, с моей точки зрения, вполне может быть доказано химией.

(Из интервью Т. Эдисона)

Разумеется, в оккультных и алхимических доктринах речь идет не о личном Боге, а о мировой душе (*anima mundi*).

Полезно также провести некоторые параллели с современной психологией. В «эзотерической» психологии (см, напр., Зеличенко А.И. Психология духовности. М., 1996) четырем первоэлементам сопоставляются типы психологических состояний: земле – тяжелые, вязкие, навязчивые состояния; воде – плавные, текучие состояния; воздуху – состояния парения, свободного, легкого творчества (но и хаотичность, беспорядочность); огню – состояние интуитивного прозрения, мистического озарения, экстаза.

В соционике (науке о классификации психологических типов человека) четырем юнговским психологическим функциям (логика, эмоциональность, сенсорика, интуиция) сопоставляются четыре «физических» понятия – материя, энергия, простран-

ство и время (см., напр., Филатова Е. Соционика для вас. Новосибирск, 1994).

В схеме «мироздания», которую объяснял своим ученикам Г. Гурджиев (см.: Успенский П.Д. В поисках чудесного.), все возможные состояния материи и духа (начиная с металлов и минералов и кончая людьми различного духовного уровня и Богом-абсолютом) связываются с различными частотами вибраций – типами «водорода», «углерода», «азота», «кислорода» (эти термины употребляются не в традиционном физико-химическом смысле). Само понятие атома у Гурджиева, как и обычно в оккультной литературе, также существенно отличается от естественно-научного:

Под атомом какого-то вещества понимается мельчайшее количество этого вещества, которое сохраняет все его химические, космические (!) и психические (!) свойства. Ибо помимо своих космических свойств любое вещество обладает также психическими свойствами, т.е. некоторой степенью разумности (!). Поэтому понятие «атом» относится не только к элементам, но и ко всем сложным формам материи, выполняющим определенные функции во вселенной или жизни человека. Существует атом воды, атом воздуха (атмосферного, пригодного для дыхания человека), атом хлеба, мяса и т.д.

(П. Успенский, цит. соч., с. 204)

Разумеется, сопоставлять такие взгляды с физическими и химическими, мягко говоря, затруднительно. В то же время представителям естественно-научного мировоззрения, вероятно, полезно узнать, что достаточное количество людей в XX веке придерживалось и придерживается аналогичных взглядов, причем в некоторых отношениях подобный подход демонстрирует свою высокую практическую эффективность – как и тибетская медицина, гомеопатия и др. Все это заставляет еще раз задуматься о том, является ли практика единственным критерием (научной) истины. В действительности в подобных схемах, как и в средневековой алхимии, физическая и химическая терминология используется скорее для описания психологии человека, от которой никуда не уйти.

В таком настроении Ульрих раскрыл свою работу, прерванную много недель и даже месяцев назад, и взгляд его тут же упал на то место с гидродинамическими уравнениями, дальше которого он не пошел. Он смутно помнил, что стал думать о Клариссе, когда на примере трех главных сос-

тояний воды попытался продемонстрировать новую математическую возможность; и Кларисса отвлекла его тогда от этого. Но порой память восстанавливает не слово, а атмосферу, в которой оно было произнесено, и Ульрих вдруг подумал: «углерод», и у него ни с того ни с сего возникло чувство, что он продвинулся бы вперед, если бы только знал сейчас, во скольких состояниях встречается углерод; но вспомнить это не удалось, и вместо этого он подумал: «Человек бывает в двух состояниях. Мужчиной и женщиной».

(Р. Музиль. Человек без свойств)

Эксперименты психиатра С. Грофа (см. ниже гл. 5) продемонстрировали возможность психологического проникновения человека в микромир. Такое погружение имело место и в мистическом опыте неиндуистской традиции Шри Ауробиндо, который достаточно хорошо воспроизводим, хотя, конечно, и требует осмысления.

Расщелина была бесконечной и бездонной, становилась как туннель: все уже и уже... И я опускалась ниже и ниже, без воздуха, без света, задыхаясь [ср. с «Алисой в стране чудес» и т.д.]. Внезапно я как будто натолкнулась на пружину у самого дна, пружину, которой я не заметила: с невероятной силой меня выбросило из расщелины и швырнуло в бесформенный, безграничный простор. Он был всемогущим и несметно богатым, как будто эта безбрежность была сотворена из бесчисленных крошечных точек, точек, не занимающих никакого пространства, — теплых, темно-золотых. Все было абсолютно оживотворенным, оживотворенным силой, казавшейся беспредельной. И, кроме того, неподвижным. Совершенная неподвижность, но заключающая в себе невероятную интенсивность движения и жизни. И жизнь была так... многочисленна, что ее можно было назвать лишь бесконечной. И энергия, власть, сила и покой — покой вечности... Я не чувствовала изменчивости: все было как бы усыпано (этими точками). И каждая из этих «вещей» (не могу их назвать частицами или осколками, если не брать точки в математическом смысле, точки, не занимающей пространства) была как оживотворенное золото: испещрена теплым светом; я не могу сказать ярким или интенсивным, это вовсе не было светящимся: масса крошечных золотых точек, ничего кроме этого.

*(Из дневника Матери,
цит. по: Сатпрем. Разум клеток)*

3. Квантовая механика: проблема субъекта и объекта

*Посылает слово Свое на землю; быстро течет слово Его;
дает снег, как волну; сыплет иней, как пепел.*

(Псалтырь 147:4–5)

*Пошевелись – и появится тень. Осознай – и родится лед.
Но если не двигаться и не сознавать, неминуемо окажешься
в норе дикой лисы.*

(Дзен)

*На Короле был красный ночной колпак с кисточкой и ста-
рый грязный халат. Он лежал под кустом и храпел с такой
силой, что все деревья вокруг сотрясались.*

*– Ему снится сон! – сказал Траляля. – И как по-твоему, кто
ему снится?*

– Не знаю, – ответила Алиса.

*– Ему снишься ты! – закричал Траляля и радостно захлопал
в ладоши. – Если б он не видел тебя во сне, где бы ты,
интересно, была?*

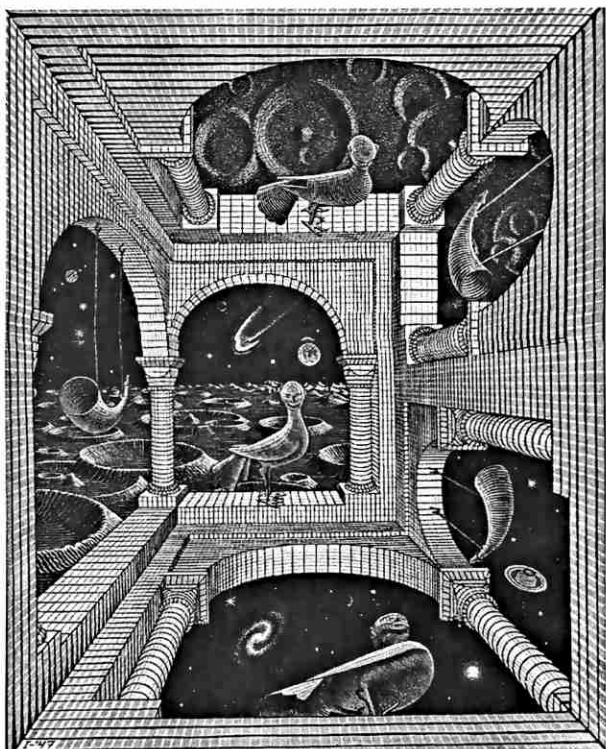
– Здесь, конечно, – сказала Алиса.

*– А вот и ошибаешься! – возразил с презрением Траляля. –
Тебя бы вообще не было! Ты просто снишься ему во сне!*

*– Если этот вот Король вдруг проснется, – подтвердил
Труляля, ты сразу же – фьють! – исчезнешь, словно тебя и
не было.*

(Л. Кэрролл. Алиса в Зазеркалье)

Крупнейшими событиями в физике начала XX века было создание теории относительности и квантовой механики. «Мировоззренческий» статус этих двух великих теорий различен: если теория относительности является в определенном смысле завершением классической физики, то квантовая механика, по мнению ряда исследователей, поставила вопросы, которые по-видимому не могут адекватно обсуждаться в рамках традиционного естественно-научного мировоззрения, сложившегося начиная с XVII века. Его основным постулатом является возможность четкого разделения субъекта и объекта познания и связанное с этим резкое противопоставление «материи» и «сознания». Явную философскую формулировку этого постулата принято связывать с именем Декарта, а примером его успешного приме-



нения к описанию очень, правда, ограниченной части «реальности» на многие века стали «Математические начала натуральной философии» Ньютона, в силу чего некоторые авторы называют эту фундаментальную мировоззренческую установку «ньютоновско-картезианской парадигмой». Именно она радикально отличает естественно-научную картину мира от других, как представляется, более глубоких подходов. Ее эмпирическая эффективность и полезность вне сомнения. Однако развитие квантовой физики заставило поставить вопрос о возможной исчерпанности такой парадигмы даже в рамках самого естествознания. В возникших спорах приняли участие почти все выдающиеся физики нашего времени (кроме позитивистски настроенных исследователей, вообще не склонных обсуждать мировоззренческие вопросы как «ненаучные»). По-видимому, спор далеко не завершен (хотя в

книгах гуманитарной направленности изложение каких-то конкретных точек зрения по этому вопросу зачастую предваряется словами «Современная физика установила, что....»). Здесь мы изложим некоторые проблемы, возникшие в связи с развитием квантовой механики и заставившие физиков впервые в истории их науки, обсуждать по-настоящему глубокие ее основы.

Ранний период развития квантовой физики (1900–1924) характеризуется прежде всего открытием законов излучения черного тела и введением «кванта действия» (М. Планк, 1900), открытием световых квантов и «корпускулярно-волнового дуализма» для света (А. Эйнштейн, 1905 и последующие работы), построением модели атома Бора (Н. Бор, 1913) и гипотезой Луи де Бройля о волновых свойствах электрона (1924). Ключевым моментом здесь является осознание «корпускулярно-волнового дуализма» как универсального свойства материи. Второй этап, начавшийся с 1925 года, характеризуется построением формальной теории, описывающей этот дуализм (В. Гейзенберг, М. Борн, П. Иордан, Э. Шредингер, П. Дирак, В. Паули, 1925–1927; Р. Фейнман, 1946, и другие исследователи) и глубоким обдумыванием возникших в связи с этим концептуальных проблем («принцип неопределенности» Гейзенберга, «статистическая интерпретация волновой функции» Борна, «принцип дополнительности» Бора, и др.). Существуют хорошие популярные изложения физической сути корпускулярно-волнового дуализма (см., например, прекрасные книги Р. Фейнмана «Характер физических законов» и «КЭД: странная теория света и вещества»), к которым мы и отсылаем читателя. Здесь мы лишь приведем без обоснования ряд относящихся сюда фундаментальных физических фактов.

Во многих физических явлениях свет ведет себя как волна, демонстрируя типичные явления «интерференции» и «дифракции» (например, цвета тонких пленок; «кольца Ньютона», наблюдающиеся при отражении света от выпукло-плоской линзы, лежащей выпуклой стороной на отражающей поверхности; непрямолинейное распространение света при прохождении через маленькие отверстия и др.). В то же время в ряде других явлений (например, фотоэффект – выбивание светом электронов из металла) он ведет себя как пучок частиц – световых квантов, или фотонов. То же самое справедливо для других микрообъектов, например, электронов, нейтронов и т. д. Скажем, при регистрации электрона любыми счетчиками он ведет себя как частица (всегда регистрируется целый электрон и никогда – его

часть), но при отражении электронного пучка от поверхности кристалла наблюдаются типично волновые явления интерференции и дифракции. Математическое описание такой ситуации возможно различными способами, из которых самым глубоким является, по-видимому, фейнмановский формализм «интегрирования по траекториям». Утверждается, что электрон представляет собой частицу, т.е. неделимый объект, проявляющийся всегда только как целое и характеризуемый вполне определенными значениями электрического заряда, момента количества движения (спина), массы и т.д. Однако под действием заданных внешних сил он не движется по вполне определенной траектории в соответствии с ньютоновской механикой, а движется с определенными вероятностями по всем траекториям *сразу*. Все, что мы можем найти, – это *вероятность* его нахождения в данной точке в данный момент времени. Здесь интерференционные (волновые) явления обусловлены тем, что эта вероятность не равна сумме вероятностей движения по каждой траектории: складываются не вероятности, а комплексные числа, называемые *амплитудами вероятности*; суммарная вероятность есть квадрат модуля суммарной амплитуды. При этом бессмысленно говорить о значении скорости электрона в данной точке пространства, поскольку он движется одновременно во многих (и даже в бесконечно большом числе) направлений. Типичная траектория электрона представляет собой непрерывную линию, ни в одной точке не имеющую касательной. Итак, если мы обнаружили (с помощью счетчика заряженных частиц), что электрон в данный момент времени находился в данной точке пространства, мы принципиально не можем сказать, чему была равна и куда была направлена его скорость. В то же время мы можем, применяя экспериментальную установку другого типа, измерить скорость электрона – но тогда мы принципиально не сможем сказать, где именно он находился в момент этого измерения.

В других ситуациях, не связанных напрямую с движением частиц, квантовая механика также ограничивается лишь вычислением вероятностей различных событий. Например, она может в принципе рассчитать, с какой вероятностью ядро радиоактивного изотопа распадется в определенный день с 10 утра до 5 вечера, и такие статистические предсказания при наличии достаточно большого числа ядер будут точны (скажем, если указанная вероятность была 20 %, то в 5 вечера действительно останется лишь 80 % ядер данного типа от числа бывших в 10 утра). Но она принципиально не может ответить на вопрос, когда

именно распадется данное конкретное ядро и распадется ли оно вообще в указанный промежуток времени. Более того, утверждается, что ответ на этот вопрос невозможен принципиально.

Разумеется, возникшая ситуация представляет собой серьезный вызов классическому идеалу строгой причинности. В рамках «ньютоновско-картезианской парадигмы» казалось бесспорным, что в принципе можно предсказать или объяснить любое явление, если знаешь достаточно детально все причинно-следственные связи в системе. Квантовая же механика утверждает, что вопрос о причине распада данного конкретного ядра ровно в полдень (если такое событие имело место) не имеет смысла — оно могло распасться на час раньше, или на час позже, или вообще не распасться в заданный промежуток времени, и наша невозможность ответить на вопрос о точном времени этого события является принципиальной, то есть не может быть устранена никаким более детальным исследованием этого ядра и его окружения.

Важно подчеркнуть, что в тех случаях, когда квантовая механика «соглашается» отвечать на тот или иной вопрос, ее ответы неизменно подтверждались всеми до сих пор выполненными экспериментами. Например, она может рассчитывать (в данном случае с достоверностью, ограниченной лишь точностью самих вычислений) характеристики различных спектральных линий в атомах, молекулах и твердых телах, расстояния между атомами в молекулах и т. д., и до сих пор физики нигде не столкнулись с ее неадекватностью (разумеется, в каждом конкретном расчете приходится делать какие-то дополнительные приближения, которые приходится контролировать отдельно, но в ряде случаев мы имеем точное решение задачи, скажем, для спектра атома водорода). В то же время на ряд вопросов, традиционно считавшихся вполне допустимыми (например, о значении координаты и скорости электрона в данный момент времени) она ответа не дает. В этой ситуации не приходится говорить о «неправильности» квантовой механики, но кажется уместной постановка вопроса о ее «неполноте», то есть неокончательном характере и существовании более фундаментальной теории, способной дать ответы на вопросы, лежащие за пределами квантовой физики. Такую позицию, в частности, занимал первооткрыватель корпускулярно-волнового дуализма А. Эйнштейн. Известно его высказывание «Бог не играет в кости», означающее отказ признать чисто статистическую теорию за истину в последней инстанции. Приведем более полную цитату, которая вызывает «каббалистические» ассоциации, и ряд связанных с ней.

Квантовая механика заслуживает всяческого уважения, но внутренний голос подсказывает мне, что это не настоящий Иаков. Теория дает много, но к тайнствам Старого она не подводит нас ближе. Во всяком случае, я убежден, что Он не играет в кости.

(Из письма А. Эйнштейна М. Борну 4.12.26, Эйнштейновский сборник 1972. М., Наука, 1974, с. 7)

Очевидно, никогда в прошлом не была развита теория, которая, подобно квантовой, дала бы ключ к интерпретации и расчету группы столь разнообразных явлений. Несмотря на это, я все-таки думаю, что в наших поисках единого фундамента физики эта теория может привести нас к ошибке: она дает, по-моему, неполное представление о реальности, хотя и является единственной, которую можно построить на основе фундаментальных понятий силы и материальных точек... Неполнота представления является результатом статистической природы (неполноты) законов.

(А. Эйнштейн. Собр. науч. трудов, т. 4, с. 220)

Целью теории является определение вероятности результатов измерений в системе в заданный момент времени. С другой стороны, она не пытается дать математическое представление того, что действительно имеет место, или того, что происходит в пространстве и времени. В этом пункте современная квантовая теория радикально отличается от всех предшествующих физических теорий как механических, так и полевых. Вместо того, чтобы дать модель для изображения реальных пространственно-временных событий, она дает распределения вероятности для возможных измерений как функций времени.... Некоторые физики, и в том числе и я сам, не могут поверить, что мы раз и навсегда должны отказаться от идеи прямого изображения физической реальности в пространстве и времени или что мы должны согласиться с мнением, будто явления в природе подобны азартным играм.

(там же, с. 238, 239)

Наиболее глубокий анализ причин указанных затруднений концептуального характера был дан Н. Бором в ходе разработки его знаменитого «принципа дополнительности»:

...Решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться с помощью классических понятий.

Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова «эксперимент». Словом «эксперимент» мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщить другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики.

Из этого основного положения... можно сделать следующий вывод. *Поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их взаимодействия с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления...* Вследствие этого данные, полученные при разных условиях, не могут быть охвачены одной-единственной картиной; эти данные должны скорее рассматриваться как *дополнительные* в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта.

(Н. Бор. *Собр. науч. трудов, т. 2, с. 406–407*)

Согласно Бору, коренная причина наших затруднений состоит в том, что в действительности термины «волна», «частица» и т. п., которые мы используем для описания свойств микрочастиц, например, электрона, – это слова обычного языка, сформировавшегося в процессе освоения окружающего нас мира макрообъектов. Электрон не похож ни на волну, ни на частицу и, строго говоря, не имеет аналогов в мире нашего повседневного опыта – но мы вынуждены тем не менее описывать его в соответствующих терминах.

– Субхути, как ты думаешь, много ли пылинок в трех тысячах больших миров?

– Чрезвычайно много, о Превосходнейший в мире.

– Субхути, о всех пылинках Так Приходящий проповедовал как о не пылинках. Это и называют пылинками. Так Приходящий проповедовал о мирах как о не мирах. Это и называют мирами.

(*Алмазная сутра*)

Впрочем, подобная ситуация возникает в науке и философии не впервые. Как пишет А. Лосев, несмотря на абсолютный объективизм философии Платона, изложенная в «Тимее» космология строится исключительно на понятии вероятности. В этом диалоге мы при желании можем найти предвосхищение ряда идей квантовой механики.

...О том, что лишь воспроизводит первообраз и являет собой лишь подобие настоящего образа, и говорить можно не более как правдоподобно. Ведь как бытие относится к рождению, так истина относится к вере. А потому не удивляйся, Сократ, если мы, рассматривая во многих отношениях много вещей, таких, как боги и рождение Вселенной, не достигнем в наших рассуждениях полной точности и непротиворечивости ...Наше исследование должно идти таким образом, чтобы добиться наибольшей степени вероятности.

(29 c-d, 44d).

...Я намерен и здесь придерживаться того, что обещал в самом начале, а именно пределов вероятного, и попытаюсь, идя от начала, сказать обо всем в отдельности и обо всем в месте такое слово, которое было бы не менее, а более правдоподобно, нежели любое иное... Прежде достаточно было говорить о двух вещах: во-первых, об основополагающем первообразе, который обладает мыслимым и тождественным бытием, а во-вторых, о подражании этому правообразу, которое имеет рождение и зримо... Теперь мне сдается, что сам ход наших рассуждений принуждает нас попытаться пролить свет на тот (третий) вид, который темен и труден для понимания... Это – восприимчива и как бы кормилица всякого рождения. Нелегко сказать о каждом из них (четырёх элементах), что в самом деле лучше назвать водой чем огнем, и не правильнее ли к чему-то одному приложить какое-нибудь из наименований, чем все наименования, вместе взятые, к каждому, ведь надо употреблять слова в их надежном и достоверном смысле... Положим, некто, отлив из золота всевозможные фигуры, бросает их в переливку, превращая каждую во все остальные; если указать на одну из фигур и спросить, что же это такое, то будет куда осмотрительнее и ближе к истине, если он ответит «золото» и не станет говорить о треугольнике и прочих рождающихся фигурах как о чем-то сущем, ибо в то мгновение, когда их именуют (!), они уже готовы перейти во что-то иное, и надо быть довольным, если хотя бы с некоторой долей уверенности (!) можно допустить выражение «такое» ...Здесь-то мы и полагаем начало огня и всех прочих тел, следуя в этом вероятности, соединенной с необходимостью; те же начала, что лежат еще ближе к истоку, ведаёт Бог, а из людей разве что тот, кто друг Богу.

(48d-50b, 53d)

У физика, профессионально занимающегося основами квантовой механики, слова Платона «...в то мгновение, когда

их именуют, они уже готовы перейти во что-то иное» могут вызвать ассоциации с известным понятием «коллапса волновой функции» в процессе измерения (именования!) и с описывающей этот процесс квантовой теорией измерений, построенной крупнейшим математиком Дж. фон Нейманом. Его теория представляет собой «конструктивную» математическую форму Боровского принципа дополнительности. Согласно теории фон Неймана, состояние квантовой системы может изменяться двумя способами: либо в процессе «плавной» эволюции в соответствии с основным уравнением квантовой механики – уравнением Шредингера, либо скачком, в процессе измерения. Отметим для обсуждения природы времени (см. далее в гл. 6), что лишь второй тип изменений приводит к необратимости.

Стало почти общим местом говорить о параллелях между принципом дополнительности (согласно которому любая попытка конкретизовать описание реальности приводит к его неполноте и к сужению самого понятия реальности) и восточными религиозными и философскими системами, в частности, даосизмом:

Дао, которое может быть выражено словами, не есть постоянное Дао. Имя, которое названо, не есть постоянное имя. Безымянное есть начало неба и земли, обладающее именем – мать всех вещей. ... Дао пусто, но, действуя, оно кажется неисчерпаемым. О, глубочайшее! Оно кажется праотцом всех вещей. Если притупить его пронизательность, освободить его от хаотичности, умерить его блеск, уподобить его пылинке, то оно будет казаться ясно существующим. Я не знаю, чье оно порождение. Оно предшествует предку явлений.

(Дао Дэ Цзин 1,4)

Однако такие идеи широко обсуждались и на Западе тысячелетия назад.

Имена, которые даны вещам земным, заключают великое заблуждение, ибо они отвлекают сердце от того, что прочно, к тому, что не прочно, и тот, кто слышит [слово] Бог, не постигает того, что прочно, но постигает то, что не прочно. Также подобным образом [в словах] Отец, и Сын, и Дух святой, и жизнь, и свет, и воскресение, и церковь, [и] во всех остальных – не постигают того, что [прочно], но постигают, что не прочно, [разве только] познали то, что прочно. [Имена, которые были] услышаны, существуют в мире [для обмана. Если бы они были] в зоне, их и день не называли бы в мире и

не полагали бы среди вещей земных. Они имеют конец в зоне.

Единственное имя не произносится в мире – имя, которое Отец дал Сыну. Оно превышает всего. Это – имя Отца. Ибо Сын не стал бы Отцом, если бы он не облачился во имя Отца. Те, кто обладает этим именем, постигают его, но не произносят его. Те же, кто не обладает им, не постигают его. Но истина породила имена в мире из-за того, что нельзя познать ее без имен. Истина едина, она является множественной, и [так] ради нас, чтобы научить нас этому единству посредством любви через множество.

(Евангелие от Филиппа 11–12)

Аналогичные идеи также затрагиваются в современной аналитической философии.

То, что мир является моим миром, обнаруживается в том, что границы *особого* языка (того языка, который мне только и понятен) означают границы *моего* мира. Мир и жизнь суть одно. ... Субъект не принадлежит миру, а представляет собой некую границу мира. ... О чем невозможно говорить, о том следует молчать.

(Л. Витгенштейн. Логико-философский трактат)

Эта тема подробно рассматривается и в канонической христианской традиции (можно вспомнить, например, средневековую дискуссию реалистов с номиналистами о существовании универсалий – общих понятий – в реальности или только в мышлении; впрочем, этот вопрос также восходит к Платону). Здесь также уместна аналогия с апофатическим богословием.

... Богословы и славословят его (Богоначалие) то как безымянное, то как достойное любого имени. Безымянным они почитают его по той причине, что само Богоначалие в одном из таинственных явлений символического богоявления, порицая вопрошившего его: «Как имя твое?», ответило «Что ты спрашиваешь об имени моем? Оно чудно» (Суд.13:18). В самом деле, не странно ли имя, которое превышает всякого имени, безымянности, «превыше ... всякого имени, именуемого не только в сем веке, но и в будущем» (Еф.1:21)? А многоименным они почитают его, поскольку следуют его же определениям: «Я есмь Сущий», «Жизнь», «Свет», «Бог», «Истина» ... Они считают также, что Богоначалие пребывает в умах, в душах, в телах, и на небе, и на земле, и внутри, и вокруг, и по ту сторону вселенной, небес и сущего, хотя в то же время как оно пребывает внутри себя самого; они славословят его как Солнце, Звезду, Огонь, Воду, Ветер,

Росу, Облако, Камень, Скалу, то есть как все сущее, и как ничто из всего сущего.

(Дионисий Ареопагит. О божественных именах, 1.6)

Кто говорит, тот кроме имен, взятых с предметов видимых, ничем иным не может слушающим изобразить невидимого

(св. Ефрем Сирин)

Иными словами, при попытке говорить о свойствах Бога мы вынуждены использовать слова обыденного языка – других у нас нет, но так как Бог неизмеримо отличен от всего тварного, обычные слова к нему не применимы. Можно лишь говорить о том, чем Бог *не* является.

А то, что мы говорим о Боге утвердительно, показывает нам не естество Бога, но то, что относится к естеству... Ибо если познание имеет предмет своим вещи существующие..., то что превышает бытие, то выше и познания.

(св. Иоанн Дамаскин)

Сходство научного познания и познания Бога, разумеется, чисто методологическое: в обоих случаях речь идет о трудностях при описании выходящего за пределы нашего чувственного опыта в терминах, связанных с этим опытом. Но в богословии решение данной проблемы на рациональном уровне невозможно в принципе.

Пресущественная природа Божия не может быть ни выражена словом, ни охвачена мыслью или зрением, ибо удалена от всех вещей и более чем непознаваема... Нет имени, ни в сем веке, ни в будущем, чтобы ее назвать, ни слова – найденного душою и выраженного языком, нет какого-нибудь чувственного или сверхчувственного касания, нет образа, могущего бы дать о ней какое-либо сведение кроме совершенной непознаваемости...

Жизнью мы Его именуем, благом и тому подобным лишь по обнаруживаемым энергиям и силам Его сверхсущности. ... Все святые отцы вместе свидетельствуют, что для несотворенной Троицы невозможно найти имя, являющее ее природу, но все Ее имена суть именованья ее энергий.

(св. Григорий Палама)

Описание же микромира в терминах обыденного языка оказывается возможным, но при этом необходимо использовать дополнительные картины, каждая из которых охватывает лишь часть реальности. Мы не можем описывать в наглядных образах

электрон – он не похож ни на что нам знакомое, но мы можем описывать так действие электрона на классические объекты-приборы: скажем, говорить об отклонении стрелки измерительного устройства. Тем самым, соотношение квантовой и классической физики оказывается очень сложным. С одной стороны, классическая физика является предельным случаем квантовой в том смысле, что если мы переходим к рассмотрению достаточно массивных тел, больших расстояний и т.д., вероятность движения объекта по единственной траектории, определяемой законами Ньютона, стремится к единице, а по всем остальным – к нулю. В то же время сам язык (координата, скорость и т.д.) является чисто классическим и заменить его нечем. Поэтому существование классических объектов (приборов) необходимо для квантовой механики. Ситуация здесь в корне отлична от теории относительности, которая *целиком* содержит классическую механику как частный случай, соответствующий движению со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света.

Основанная на принципе дополнительности Бора и подчеркивании роли измерительных приборов интерпретация квантовой механики была разработана Н. Бором, В. Гейзенбергом, В. Паули, Дж. фон Нейманом и другими в последовательную концепцию, получившую название копенгагенской интерпретации (особо следует отметить роль Дж. фон Неймана, построившего формальную теорию квантово-механических измерений и указавшего на ее связь со вторым началом термодинамики и проблемой необратимости времени). Она пользуется поддержкой большинства исследователей, хотя альтернативные интерпретации обсуждаются до сих пор (многомировая интерпретация Эверетта, Уилера и др., трансакционная (transactional) интерпретация Крамера и др. – см. список литературы). Здесь мы ограничимся обсуждением лишь «канонической» интерпретации.

Копенгагенская интерпретация, по-видимому, с трудом может быть согласована с ньютоновско-картезианской парадигмой, так как использование тех или иных измерительных приборов, определяемое свободным выбором экспериментатора, высвечивает разные, дополнительные, аспекты реальности – или даже создает их (!), и, тем самым, возникает вопрос о роли сознания. Здесь существуют разные точки зрения. В. Паули писал:

Наблюдатель, или средства наблюдения, которые микрофизике приходится принимать во внимание, существенно отличаются от ничем не связанного наблюдателя классической физики... В микрофизике характер законов природы та-

ков, что за любое знание, полученное в результате измерения, приходится расплачиваться утратой другого, дополнительного знания. Поэтому каждое наблюдение представляет собой неконтролируемое возмущение как средства наблюдения, так и наблюдаемой системы, и нарушает причинную связь (!) предшествовавших ему явлений с явлениями, следующими за ним... Такое наблюдение, существенно отличающееся от событий, происходящих автоматически, можно сравнить с актом творения в микрокосме или с превращением, правда, с заранее не предсказуемым и не зависящим от внешних воздействий результатом... Обратное действие познаваемого на познающего выходит за пределы естествознания, так как оно принадлежит совокупности всех переживаний, с необходимостью испытываемых познающим.

(В. Паули. Физические очерки, с. 173,174)

А. Эйнштейн, Э. Шредингер и Л. де Бройль отрицали копенгагенскую интерпретацию именно из-за ее несовместимости с привычной парадигмой. Сам факт такой несовместимости был тем самым ясен и для них:

Как бы то ни было, претензия заявлена. Новая наука самоуверенно присваивает себе право третировать все наше философское воззрение... Можно, конечно, считать, что в конце концов полный набор всех наблюдений, которые уже были сделаны и когда-либо еще будут сделаны, представляет собой реальность – единственный предмет, с которым имеет дело физическая наука... Однако подобное утверждение, высказанное по отношению ко всем наблюдениям, проведенным в рамках квантово-механической теории, не имеет разумного основания и не может претендовать на философскую серьезность... Я хочу ясно сказать, что отныне и впредь беру на себя ответственность за свое упрямство. Я иду против течения. Но направление потока изменится.

(Э. Шредингер. Избранные труды по квантовой механике, с. 295)

Критическая позиция, занятая Эйнштейном и Шредингером, была чрезвычайно конструктивной. Пытаясь доказать неполноту или ошибочность копенгагенской интерпретации, они предложили знаменитые мысленные эксперименты, известные как «парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена» (ЭПР) и «парадокс шредингеровской кошки», чрезвычайно способствовавшие прояснению ситуации. Подчеркнем, что речь идет о парадоксах не в смысле внутренних логических противоречий (таких про-

тиворечий в копенгагенской интерпретации, по-видимому, нет), а в смысле несовместимости ее выводов со «здравым смыслом».

Перейдем к рассмотрению парадокса шредингеровской кошки. Он призван продемонстрировать, что копенгагенская интерпретация в действительности ставит под сомнение детерминизм не только для микрообъектов, но даже и для *макрообъектов*. Учитывая ту роль, которую принцип дополнительности отводит существованию классических приборов, это действительно затрагивает самые основы такой интерпретации. Рассматривается следующая мысленная ситуация. В герметически закрытый ящик поместили кошку (со всеми системами жизнеобеспечения, запасом пищи и т.д.). В том же ящике находится жуткое устройство: ампула с синильной кислотой и молоточек, способный ее разбить под действием электрического сигнала. Сигнал возникает при срабатывании счетчика Гейгера на один радиоактивный распад (технически это возможно), и тут же поблизости есть ядро радиоактивного изотопа. Согласно квантовой механике, никто не может сказать, когда именно распадется ядро. Оно находится в квантовом состоянии, которое, как говорят, является суперпозицией (наложением) состояний распавшегося и нераспавшегося ядра. Тем самым, никто не может сказать (пока не вскрыет ящик), жива кошка или нет. По всем законам квантовой механики она находится в суперпозиции состояний живой и мертвой кошки. Значит, если верна стандартная интерпретация квантовой механики, бегло изложенная выше, кошка находится в состояниях живой и мертвой *одновременно*. В заостренной форме этот мысленный эксперимент призван показать следующее: для любого макроскопического объекта (в данном случае его примером является кошка) можно создать такую ситуацию, когда его состояние однозначно определяется состоянием микрообъекта, и если детерминизма нет на микроуровне, его не будет и на макроуровне. Это явно противоречит тому интуитивно очевидному, по Шредингеру, обстоятельству, что мы вправе требовать от науки достоверных предсказаний по крайней мере для макрообъектов. Для полноты освещения вопроса приведем также дзенскую историю о жестоком обращении с животным (по одному из толкований, описанным событиям предшествовала дискуссия на тему: «имеет ли кошка природу Будды?»).

Однажды монахи западного и восточного крыла ссорились из-за кошки. Нансэн поднял кошку и сказал:

– Слушайте меня, монахи! Если кто-нибудь из вас сможет сказать хотя бы одно слово дзен, я выпущу ее; если нет, я убью ее!

Ему никто не ответил, и он убил кошку. К вечеру в монастырь вернулся Дзёсю. Узнав от Нансэна о случившемся, он снял туфлю, положил ее себе на голову и ушел.

– Если бы ты был здесь утром, я бы пощадил кошку! – воскликнул Нансэн.

(Мумонкан)

Этическую сторону происшествия с кошкой раскрывает следующий комментарий:

Если бы Дзёсю был там,
История приняла бы другой оборот.
Он выхватил бы нож,
И Нансэн умолял бы о пощаде.

Подчеркнем еще раз, насколько серьезна затронутая проблема. Согласно принципу дополнительности Бора, само существование квантовой механики возможно лишь в меру существования классических объектов. Задача квантовой механики состоит в том, чтобы описывать движение микрообъектов. Но в каких терминах описывать? В терминах амплитуды вероятности, но амплитуды вероятности *чего*? Пусть для определенности речь идет об амплитуде вероятности для электрона иметь определенное значение координаты в данный момент времени. Но у электрона *нет* координаты, так как по своей природе он способен двигаться сразу по всем траекториям. Чтобы вообще понимать, о чем мы говорим, мы должны постулировать существование классических объектов – измерительных приборов, которые в определенных условиях с достоверностью измеряют координату, импульс и другие классические характеристики. Скажем, при прохождении электронов через экран с отверстиями счетчики, установленные у каждого отверстия, в совокупности представляют собой прибор, измеряющий координату электрона вдоль экрана. Если считать эти счетчики тоже квантовыми объектами, которые то ли срабатывают, то ли нет в соответствии с вероятностными законами, – все окончательно запутывается, и утверждениям квантовой механики вообще невозможно придать никакого разумного смысла. В то же время мысленный эксперимент Шредингера показывает, что большие размеры и масса прибора еще не гарантируют «классичности». Даже мак-

рообъект может быть поставлен в такие условия, которые вроде бы проявляют его квантовую, вероятностную природу. Особенно сложен вопрос, какова природа «субъекта» измерения – человека.

Таким образом, мы приходим к главному вопросу: почему в квантовом мире существуют классические объекты? Что обеспечивает достоверность некоторых (в действительности очень многих!) утверждений об окружающем нас мире? Вопрос этот является весьма сложным (и безусловно очень важным!). Здесь мы изложим вариант ответа, который в настоящее время представляется наиболее правдоподобным большинству физиков, занимающихся квантовой механикой (в том числе и авторам).

В действительности наиболее радикальным разрывом с прежними представлениями в квантовой механике является не само по себе использование вероятностей. И в классической механике наши возможности точного решения задачи во многих случаях ограничены самой природой задачи, скажем, для систем с неустойчивым движением, когда сколь угодно малая неопределенность начальных условий нарастает со временем, приводя к практической невозможности строгих предсказаний. При этом использование вероятностного языка не только возможно, но и неизбежно. Однако в классическом случае всегда складываются *вероятности* независимых событий. В квантовом же случае складываются *амплитуды*, что и приводит к появлению интерференционных, то есть волновых, явлений. Нет ничего особенно радикального в утверждении, что в наглухо закрытом ящике лежит либо живая, либо мертвая кошка – как нет ничего радикального в утверждении, что монетка упадет с равными вероятностями либо орлом, либо решкой. Все парадоксы квантовой механики связаны с тем, что эти состояния *интерферируют*. Наиболее распространенное решение парадокса кошки состоит в следующем. Если мы рассматриваем строго изолированную от внешнего мира систему, то никакой ошибки в рассуждении Шредингера нет. Чтобы разобраться в предельном переходе от микрообъектов к макрообъектам, мы должны несколько изменить постановку задачи и рассмотреть *открытые* системы, взаимодействующие с окружением. Такая задача была впервые поставлена в четкой математической форме в 1963 году Р.Фейнманом. В результате ее тщательного исследования (особо важную роль здесь сыграли работы американского физика А.Леггетта) оказалось, что взаимодействие с окружением *разрушает* квантовую интерференцию, превращая тем самым кван-

говую систему в классическую, причем тем быстрее, чем больше масса системы. Для такого объекта, как кошка, достаточно уже очень слабой «неизолированности», чтобы полностью разрушить квантовые эффекты. Так что классические системы, в том числе измерительные приборы, существуют потому, что они взаимодействуют с окружающим миром. Кстати, *полностью* изолировать какую-то систему в нашей Вселенной невозможно, даже в межгалактическом пространстве – никуда не деться от заполняющего весь мир так называемого реликтового излучения (см. следующий раздел).

Взаимодействие макрообъектов с окружением и связанные с этим эффекты разрушения квантовой интерференции сейчас изучаются на так называемых сверхпроводящих квантовых устройствах (СКВИДах), малых магнитных частицах или магнитных молекулах и других объектах, и соответствующие эксперименты, по-видимому, подтверждают изложенный здесь подход. Таким образом, доказать нелепость копенгагенской интерпретации при помощи парадокса кошки не удастся.

Прежде чем перейти к обсуждению парадокса ЭПР, необходимо сделать некоторые пояснения (мы будем рассматривать здесь не оригинальную формулировку парадокса, обсуждаемую в статье Эйнштейна, Подольского и Розена 1935 года, а более наглядный вариант, предложенный впоследствии Д. Бомом). Большинство микрочастиц в определенном смысле подобны волчку, то есть обладают внутренним моментом количества движения – спином, при этом, как и в классическом случае, справедлив закон сохранения полного момента количества движения изолированной системы. Однако специфика квантовой механики проявляется и здесь. Оказывается, что невозможно одновременно измерить проекции спина на три взаимно перпендикулярные оси и, тем самым, определить его точное направление в пространстве (причины здесь такие же, что и при невозможности одновременно измерить координату и скорость электрона). Можно измерить проекцию на любую ось, но при этом она может принимать только два значения – вверх или вниз (точнее $+1/2$ и $-1/2$ в единицах постоянной Планка). В этом смысле экспериментальные установки, измеряющие проекции вдоль оси z (вверх-вниз) и вдоль оси x (вправо-влево), являются дополнительными в смысле Бора. Предположим, что мы провели измерение проекции спина электрона на ось z и обнаружили, что она равна $+1/2$. Тогда проекция спина по оси x оказывается полностью неопределенной, то есть ее последующее измерение с равной вероятностью 50% дадут результаты $+1/2$ и $-1/2$.

Теперь перейдем к изложению самого парадокса. Пусть мы имеем в начальном состоянии два электрона с суммарным спином, равным нулю (это означает, что равна нулю проекция на любую ось). Такое состояние действительно можно приготовить (экспериментально удобнее иметь дело не с электронами, а со световыми квантами — фотонами, но суть дела при этом не меняется). Пусть затем оба электрона разлетелись достаточно далеко и их заведомо можно считать невзаимодействующими. Измерим проекцию спина первого электрона на ось z ; пусть она оказалась равной $+1/2$. Тогда, в силу закона сохранения полного момента количества движения, второй электрон находится в состоянии с проекцией спина на ось z , равной $-1/2$. Мы можем измерить его проекцию спина на ось x , получив результат $+1/2$ или $-1/2$. Для определенности предположим второе. Тогда в момент измерения состояние первого электрона скачком изменилось: из состояния с проекцией спина $+1/2$ вдоль оси z он перешел в состояние с проекцией спина $+1/2$ вдоль оси x . Таким образом, мы изменили состояние первого электрона, вообще не оказывая на него воздействия! Это скорее напоминает магические процедуры (типа воздействия на человека посредством манипуляций с его изображением), чем результат физического эксперимента.

В 1965 г. Дж. Белл придал парадоксу ЭПР строгую количественную форму. Пусть мы измеряем одновременно проекции спинов первой и второй частицы на различные направления и определяем вероятности различных значений пар проекций (то есть число исходов опыта, в которых одновременно спин первого электрона был направлен по оси z , а второго — по оси x , в которых одновременно спин первого электрона был направлен по оси z , а второго — против оси x , и т. д.). Сделаем очень слабое и естественное, на первый взгляд, предположение, что выбор ориентации *прибора*, применяемого для измерения компоненты спина одной частицы, не влияет на спин другой (напомним, что расстояние между частицами может быть сколь угодно велико, а никакие физические воздействия не могут распространяться быстрее света, так что наше решение измерять проекцию спина второго электрона на конкретную ось никак не может повлиять на происходящее *в этот же момент времени* с первым электроном). Белл показал, что при использовании *только* данного предположения можно вывести некоторое неравенство, согласно которому некая комбинация вероятностей различных исходов меньше 2. Он показал также, что если вычислить эту

комбинацию, считая справедливой стандартную квантовую механику (не копенгагенскую интерпретацию, а сам математический аппарат, в котором никто всерьез не сомневается!), то можно получить для нее значение, большее 2. Впоследствии нарушение «неравенств Белла» было проверено экспериментально. Тем самым показано, что представление о физической реальности, *независимой от процедуры измерения* (то есть от свободного выбора экспериментатора!), вроде бы можно опровергнуть в *физическом эксперименте*.

Существуют многочисленные обсуждения связи ЭПР-экспериментов (и других идей и образов квантовой механики) с возможностью непричинных воздействий на систему, а также с явлениями, которые исследуются, например, в парапсихологии; К.Г. Юнг использовал здесь введенное им понятие синхроничности, или акаузальной связи различных событий (см. гл. 1). Строго говоря, формальных оснований для таких обобщений в настоящее время нет. Сам Юнг ссылаясь, в частности, на обсуждения с В. Паули, который не отрицал возможность такого подхода (дело происходило до открытия неравенств Белла и их экспериментальной проверки, но, разумеется, после работы ЭПР). Паули сам много размышлял над философскими аспектами квантовой механики (хотя, в отличие от Бора, широко не публиковал работ на эту тему).

Так как можно рассматривать инструменты наблюдения как продолжение органов чувств наблюдателя, я рассматриваю непредсказуемое изменение состояния при одиночном наблюдении.... как нарушение идеи о возможности изоляции наблюдателя от внешних физических событий.

(В. Паули, из письма Н. Бору 15 февраля 1955, цит. по: K.V. Laurikainen. *The Message of the Atoms*, p. 42)

Физическое событие больше не отделено от наблюдателя... Индивидуальное событие есть *occasio*, а не *causa* [т. е. нечто случайное, а не причинно обусловленное]. Я склонен видеть в этом *occasio*, которое включает в себя наблюдателя и выбор экспериментальной процедуры..., проявление *anima mundi* [мировой души], которая была отвергнута в семнадцатом столетии.

(В. Паули, из письма к М. Фирцу 13 октября 1951, цит. по: K.V. Laurikainen, p. 43)

Как пишет Лаурикайнен (р. 55), «для Паули свобода, характерная для индивидуальных событий, есть наиболее важный урок квантовой механики. Он часто ссылаясь на философию

Шопенгауэра, базовыми элементами которой были воля (Wille) и представление (Vorstellung), т.е. (иррациональная) свобода выбора и (рациональная) идея».

На основе принципа дополнительности Бор также рассматривал проблему свободы воли. Разумеется, обсуждение этого вопроса должно проходить глубже, чем известная из советских учебников критика «реакционных идеалистических взглядов о свободе воле электрона». Как бы то ни было, квантовое описание состояния системы, до проведения измерения (выбора) включающее всю полноту возможностей, дает некоторые естественно-научные аналогии с религиозно-философскими проблемами свободы, грехопадения и т.д. Ключевое утверждение состоит в следующем. Для квантовой системы выбор невозможен и не нужен: она движется (или, шире, изменяется) *всеми способами одновременно*. При этом такая чисто квантовая эволюция является обратимой. *Необратимый* акт измерения «запирает» систему в некотором подпространстве состояний. При желании здесь можно усмотреть аналогии с грехопадением, «запершим» человека в физической Вселенной и облачившим его в «ризы кожаные» или «тело смерти», о которых говорят Ветхий и Новый Завет. Подробнее эти очень непростые вопросы обсуждаются в гл.6. В любом случае парадоксы типа ЭПР заставляют задуматься над самими основами ньютоновско-картезианской парадигмы, если и не прямо разрушительны для нее.

Чтобы продемонстрировать подход к обсуждаемым вопросам (в частности, о смысле «реальности» и возможностях наблюдателя), отличающийся по стилю и серьезности от ученых дискуссий, приведем разговор Карлоса Кастанеды и Дона Хуана. Его поводом является телепортация (отметим, что указанный термин сейчас часто мелькает в солидных физических журналах, правда, обычно в несколько ином смысле) макроскопического объекта – полет Карлоса под действием «травы дьявола» (с реальным перемещением в пространстве!).

... Следующее, что я помню, это ощущение пробуждения. Я был в своей кровати в своей собственной комнате. Я сел. И картина моей комнаты исчезла. Я встал. Я был наг! Движение вставания опять вызвало у меня тошноту. Я узнавал понемногу окружающую обстановку. Я был примерно в полумиле от дома дона Хуана, рядом с тем местом, где росли его растения дурмана.

... Был вопрос, который я хотел ему задать. Я знал, что он ускользнет от него, поэтому я ждал, когда он сам коснется

этой темы: я ждал весь день. Наконец, прежде чем уехать вечером, я вынужден был спросить его.

— Я действительно летал, дон Хуан?

— Так ты мне сказал сам. Или было не так?

— Я знаю, дон Хуан. Я имею в виду: мое тело летало? Взлетел ли я, как птица?

— Ты всегда задаешь мне вопросы, на которые я не могу ответить? Ты летал. Для этого и есть вторая порция «травы дьявола». Когда ты будешь принимать ее больше, ты научишься летать в совершенстве. Это не просто. Человек летает с помощью второй порции «травы дьявола». Это все, что я тебе могу сказать. То, что ты хочешь узнать, не имеет смысла. Птицы летают, как птицы, а человек, который принял «траву дьявола», летает, как человек, принявший «траву дьявола». ...

— Значит, в действительности я не летал, дон Хуан? Я летал в собственном воображении. Только в своем мозгу. Где было мое тело?

— В кустах, — ответил он, но тут же снова покотился со смеха.

— Беда с тобой в том, что ты понимаешь все только с одной стороны. Ты не считаешь, что человек летает, и, однако же, колдун проносится тысячи миль в секунду, чтобы посмотреть, что там происходит. Он может нанести удар своему врагу, находящемуся очень далеко. Так летает он или нет?

— Видишь ли, дон Хуан, мы с тобой по-разному ориентированы. Предположим, ради довода, что один из моих друзей студентов был бы здесь со мной, когда я принял «траву дьявола». Смог бы он увидеть меня летящим?

— Ну, вот, опять ты со своими вопросами о том, что случилось бы, если... Бесплезно говорить таким образом. Если бы твой друг или кто бы то ни было еще, примет вторую порцию травы, то все, что он сможет сделать, — это летать. Ну, а если он просто наблюдает за тобой, то он может увидеть тебя летящим, а может и не увидеть. Это зависит от человека.

— Но я хочу сказать, дон Хуан, что если мы с тобой смотрим на птицу и видим ее летящей, то мы согласимся, что она летит, но если бы двое моих друзей видели меня летящим, как я это делал прошлой ночью, то согласились бы они, что я лечу?

— Ну, они могли бы согласиться. Ты согласен с тем, что птицы летают, потому что видел их летящими. Полет обычен для птиц. Но ты не согласишься с другими вещами, которые птицы делают, потому что ты не видел никогда, что они их делают. Если твои друзья знали о людях, летающих с помощью «травы дьявола», тогда они согласились бы.

– Давай я скажу это по-другому, дон Хуан. Я хочу сказать, что если я привяжу себя к скале тяжелой цепью, то я стану летать точно так же, потому что мое тело не участвует в этом полете.

Дон Хуан взглянул на меня недоверчиво.

– Если ты привяжешь себя к скале, – сказал он, – то я боюсь, что тебе придется летать, держа скалу с ее тяжелой цепью.

(Учения Дона Хуана)

Наконец кратко коснемся так называемого квантового эффекта Зенона. Название связано со знаменитой апорией (парадоксом) древнегреческого философа Зенона «Стрела»: движения нет, так как его можно представить как последовательность положений покоя. В квантовой механике эта апория в определенном смысле прямо соответствует реальному положению вещей. Как уже отмечалось, невозможно предсказать, распадется или нет *в данный момент времени* нестабильная квантовая система (помимо радиоактивного распада, речь может идти, например, о высвечивании избыточной энергии атома или молекулы, находящейся в квантовом состоянии не с наименьшей энергией, то есть в возбужденном состоянии). Оказывается, в ряде случаев (говоря более технически, речь идет по крайней мере о системах с дискретным энергетическим спектром) квантовая механика приводит к следующему выводу: непрерывное отслеживание состояния системы блокирует распад! Иными словами, пока проводятся непрерывные измерения, имеющие целью проверить, находится ли система еще в возбужденном состоянии, она будет там находиться. Это, по-видимому, еще более яркая иллюстрация влияния процесса наблюдения на так называемую «реальность», демонстрирующая всю неоднозначность последнего понятия.

Центральным вопросом в современных спорах об интерпретации квантовой механики является вопрос о «реальности» волновой функции (см., например, книги R. Penrose и J.S. Bell в списке литературы). Для копенгагенской интерпретации (Н. Бор, В. Гейзенберг, В. Паули, М. Борн) характерна трактовка волновой функции как меры нашего знания/незнания о состоянии системы. К. Лаурикайнен так резюмирует взгляды В. Гейзенберга и М. Борна по этому вопросу: «квантовая механика описывает *наше знание* атомного мира, а не атомный мир сам по себе» (цит. соч., р. 55). При таком подходе никаких трудностей с пониманием парадокса ЭПР и родственных ему явлений нет вообще.

Предположите, что некоторое лицо N ездит из Ленинграда в Москву и обратно, проводя в среднем одинаковое время в каждом из этих городов. В Москве и Ленинграде сидят наблюдатели и производят, скажем, ежедневно «наблюдения», а именно, констатируют наличие или отсутствие N . Длительная статистика покажет им, что вероятность нахождения в каждом из городов равна $1/2$. Но если мы примем в расчет только те наблюдения ленинградского наблюдателя, при которых произведенные в тот же день наблюдения москвича дали 1, то мы получим, что вероятность пребывания в Ленинграде равна нулю. Вот и вся редукция волнового пакета.

(Л. И. Мандельштам. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., Наука, 1972, с. 348)

Трудность, однако, возникает в другом месте: получается, что закон физики (уравнение Шредингера) говорит нечто не о физическом мире «как он есть сам по себе», а о мере (нашего) знания/незнания, т.е. о вещах вполне субъективных. В. Паули был в этом отношении вполне последовательным, говоря о физике и психологии как двух дополнительных (в боровском смысле) способах описания реальности, равно фундаментальных и несводимых друг к другу. Он писал даже о *символическом* характере квантовой реальности (см. цит. выше книгу Лаурикайнена). Для большинства физиков такой подход оказался, однако, чересчур радикальным. Нежелание «допустить» в физику понятие сознания приводит к выводу о физической реальности волновой функции. Впрочем, некоторые сторонники такой точки зрения отдают себе отчет в том, что *современная* квантовая механика допускает эту интерпретацию только с большими натяжками, и выражают надежду на изменение ее основных законов (например, при учете квантово-гравитационных эффектов). Интересная программа такого будущего развития предложена в книгах R. Penrose «The Emperor's New Mind», «Shadows of the Mind». По нашему мнению, недостатком этой конструкции является недооценка роли диссипативного окружения. Как подробно обсуждалось выше на примере «шредингеровской кошки», при учете окружения многие парадоксы, которые Пенроуз считает неразрешимыми, естественным образом объясняются в рамках существующего формализма.

Возможны различные спекуляции при применении квантовой механики к Вселенной как целому. Отметим, что при таком широком применении трудности возникают с любыми законами

физики (например, известный старый вывод из второго начала термодинамики о «тепловой смерти» Вселенной). Однако в квантовом случае (который заведомо реализовывался на ранних стадиях эволюции Вселенной, когда вообще не было классических объектов) трудности усугубляются. Как из парадокса шредингеровской кошки, так и из квантового эффекта Зенона можно сделать вывод, что разрушение квантовой интерференции и фиксация Вселенной в одном определенном состоянии (то есть создание «порядка» из хаоса квантовых вероятностей) могла бы осуществляться при наличии «наблюдателя» за ней.

...Кто воистину знает? Кто здесь провозгласит?

Откуда родилось, откуда это творение?

Далее появились боги посредством сотворения этого [мира].

Так кто же знает, откуда он появился?

Откуда это творение появилось?

Может само создало себя, может нет –

Тот, кто надзирает над этим [миром] на высшем небе,

Только Он знает или же не знает.

(Ригведа X.129)

Ряд физиков утверждает, что роль «наблюдателя» мог бы играть обычный физический механизм – гравитационное поле, действующее во Вселенной. Однако более глубоким кажется предположение о принципиально открытом характере наблюдаемой «физической» Вселенной, действию на нее факторов другого порядка (снова вспомним демиурга Платона). Во всяком случае, представляется бесспорным, что современная физика, по-видимому, приблизилась к границе (или даже перешла ее), за которой дальнейшее развитие не может происходить в форме традиционной естественной науки, строго изолированной от всех «метафизических» вопросов.

Согласно религиозной традиции, творение мира «извне» продолжается.

Даешь им – принимают, отвергаешь руку Твою – насыщаются благом; скроешь лице Твое – мнутя, отнимешь дух их – умирают и в персть свою возвращаются; пошлешь дух Твой – созидаются, и Ты обновляешь лице земли.

(Псалтырь 103:28–30)

Держава и страх у Него; Он творит мир на высотах Своих!

(Иов 25:2)

Отец Мой доныне делает, и Я делаю... Истинно, истинно говорю вам: Сын ничего не может творить Сам от Себя, если не увидит Отца творящего: ибо, что творит Он, то и Сын творит также.

(От Иоанна 5:17,19)

Бог обновляет каждый день свое творение.

(Талмуд, трактат Хагига)

Мы создали вас, и почему вам не поверить? Видели ли вы то, что извергаете семенем, вы ли творите это, или Мы творцы? Мы распределили вам смерть, – и Нас не опередить! – с тем, чтобы заменить вас подобными, и воссоздать вас в том, как вы этого не знаете.

(Коран 56:57–61.)

Кто кроме Его промышляет о земле? И кто управляет всею вселенною? Если бы Он обратил сердце Свое к Себе и взял к Себе дух ее и дыхание ее, – вдруг погибла бы всякая плоть, и человек возвратился бы в прах.

(Иов 34:13–15)

Впрочем, соответствующее «мистическое» ощущение понятно и нерелигиозному человеку.

Небезызвестно, твердят теологи, что, стоит Господу хоть на мгновение отвлечься и забыть о моей правой руке – я ею сейчас пишу, – и она, словно проглоченная пастью небытия, канет в пустоту. Поэтому они и говорят: сохранение нашего мира – это акт вечного творения; взаимоисключающие глаголы *сохранять* и *творить* – для Неба синонимы.

(Х.Л. Борхес. *История вечности*)

В православной догматике важную роль играет понятие божественных энергий, которые, согласно св. Григорию Паламе, не принадлежат тварному миру. Их постоянное действие в тварном мире означает *незамкнутость* последнего. Формулировка, что только Богом держится мир, является, как мы видели, безусловно традиционной. Возможно, не было бы неправильным (по крайней мере, если понимать это как некую частную аналогию) сказать, используя язык современной физики, что квантовая интерференция для всей Вселенной как целого, означающая хаос вероятностей, непрерывно разрушается Наблюдением, которое удерживает Вселенную в определенном состоянии.

Не говори: я скроюсь от Господа; неужели с высоты кто вспомнит обо мне? Во множестве народа меня не заметят;

ибо что душа моя в неизмеримом (!) создании? Вот, небо и небо небес – Божие, бездна и земля колеблются от посещения Его. Равно сотрясаются от страха горы и основания земли, когда Он взирает.

(Сурах 16:16–19)

Аналогичные до некоторой степени положения можно найти и в других религиозных системах. Однако вопрос о роли субъекта (или Субъекта) наблюдения может решаться по-разному. Абсолютное противопоставление субъекта и объекта здесь вряд ли оправдано, и особенно оно не характерно для восточной философии (впрочем, как видно из приведенной выше цитаты из Дионисия Ареопагита, сходные положения присутствуют и в христианстве). Полное тождество Бога и индивидуальной души провозглашается в адвайта-веданте Шанкары («вершине» индуизма), откуда и происходит ведантистское понимание Свидетеля:

Я есмь Атман, Свидетель всего (!), Я обладаю природой Чистого Сознания. Я не являюсь ни Неведением, ни даже его проявлением, Я есмь только Брахман, Вечно Чистое, Вечно Просветленное, Вечно Бдящее, Вечно Свободное – Абсолютное Существование. Я есмь Абсолютное Блаженство, Единое без второго и Глубочайшее Сознание.

(Шанкара, трактат Пятиричность)

Исходные священные тексты индуистской традиции содержат богатую символику и имеют более широкий смысл:

Две птицы, соединенные вместе друзья, льнут к одному и тому же дереву – одна из поедает сладкую ягоду, другая смотрит [на это], не поедая. На том же дереве – человек, погруженный [в горести мира], ослепленный скорбит о [своем] бессилии. Когда же он зрит другого – возлюбленного Владыку и его величие, то освобождается от скорби.

(Шветашватара упанишада, см. также Ригведа I.164.20)

Наблюдающий, Поддерживающий, Всепринимающий великий Ишвара, а также Божественный Атман – так именуется в этом теле Высочайший Дух... Знай, что все существующее – неподвижное и движущееся – происходит от взаимодействия «поля» и «Знающего поле»... Кто действительно видит Ишвару равно пребывающим всюду, тот уже не может сойти с истинного пути. Тот, кто видит, что все действия исполняются лишь в пракрити (природе, материи), Атман же остается бездействующим, – тот, воистину, видит...

Как вездесущая пустота не смешивается ни с чем по причине своей тонкости, так и Атман, пребывающий в телах, не смешивается ни с чем. Но подобно тому, как Солнце освещает землю, так и Владыка «поля» озаряет все «поле», о Бхарата. Кто очами мудрости видит эту разницу между «полем» и «Знающим полем» и познал процесс освобождения чувств от пракрити – тот приближается к высшей цели.

(Бхагавадгита 13, перевод В.В. Антонова)

Мистики, в том числе христианские, часто оказываются «между» философскими концепциями:

Око, которым я взираю на Бога, есть око, которым Бог взирает на меня. Мое око и око Божье едины в видении, и в ведении, и в любви.

(Мейстер Экхарт)

Я знаю, что без меня Бог не сможет прожить и мгновение. Уйди я в небытие, и Он перестанет существовать.

(Ангелус Силезиус)

Глубокое осмысление вопроса о реальности и наблюдателе предлагает буддийский подход (который, как уже отмечалось, тесно связан с психологией – и этот психологизм ставился ему в упрек Шанкарой). В махаяне часто говорится, что единственная реальность – наш ум (напомним также известный дзэнский ответ на вопрос о Будде: «это сознание и есть Будда»). Школа йогачаров вводит понятие единого источника (сокровищницы) сознания – алая-виджняны. Однако и эта концепция опровергается школой мадхьямика, созданной Нагарджуной:

Нагарджуна оспаривает положение йогачаринов «один лишь ум» и фактически подвергает полному сомнению даже само существование этого ума. Он говорит, что любой взгляд можно опровергнуть и что не следует останавливаться на каком-то одном ответе или описании реальности, крайнем или умеренном (опять вспоминается принцип дополнительности! – В.И., М.К.)... Для того, чтобы утверждать, что все существующее – это лишь игра ума, должен существовать также и кто-то, наблюдающий этот ум, познающий этот ум, удостоверяющий его существование. ... Но согласно собственной философии йогачаринов, согласно философии «самосветящегося познания», субъективные мысли о *каком-то* объекте ведут к заблуждению, поскольку не существует ни объекта, ни субъекта, а имеется только один ум, частью которого будет и наблюдатель. Поэтому утверждать, что этот единый ум существует, невозможно... Поскольку нет никого, кто воспринял бы ум, или реальность, само понятие

существования в виде «вещей» или «формы» ошибочно; нет реальности, нет того, кто бы воспринял ум или реальность, нет мыслей, проистекающих из восприятия реальности. И если мы устранили это предварительное мнение о существовании ума и реальности, тогда ситуации возникают во всей ясности, как они есть. Нет никого, кто должен наблюдать никого, кто должен что-то познавать. Реальность просто *есть*, и как раз это подразумевает термин «шуньята». Благодаря такому прозрению устранен наблюдатель, который отделяет нас от мира.

*(Чогьям Трунгпа. Преодоление
духовного материализма, с. 176, 177)*

В результате остается лишь Открытое пространство. Близкий подход можно найти в книгах индийского мистика и философа Кришнамурти (см., напр., его беседы с Д. Бомом).

Понимание сознания в философии и особенно духовной практике (йоге) индуизма и буддизма различно. Как видно из приведенных цитат, индуизм описывает процесс мышления как колебания «тонкой» материи – пракрити, причем есть свидетель – пуруша; цель йоги состоит в их успокоении и переходе к чистому осознанию. В буддизме мышление – прерывный поток дхарм, интервалы между которыми возрастают в процессе практики; целью последней является восприятие шуньяты (пустотности), а свидетель отсутствует. Иногда это различие сопоставляется с дуализмом волновой и корпускулярной картины при описании природы света и вещества в квантовой механике.

Разумеется, проводя такие параллели, мы достаточно далеко отходим от естественнонаучной проблематики. Важно, однако, подчеркнуть, что физики, пытающиеся всерьез понять положения и методы собственной науки (а не воспринимающие их лишь как набор рецептов по проведению вычислений, родственной поваренным книгам) вынуждены задумываться над очень непривычными для себя вопросами о роли сознания, в том числе человеческого, в формировании законов природы.

По не совсем ясным причинам на явление сознания в научных дискуссиях наложено табу. Тем не менее, как видно из проведенного фон Нейманом блестящего анализа квантовомеханического измерения, даже сами законы квантовой механики со всеми их следствиями нельзя сформулировать без обращения к понятию сознания.

(Е. Вигнер. Этюды о симметрии, с. 161, 162)

Наконец, следуя книге В.В. Налимова «В поисках иных смыслов», процитируем препринт Принстонского университета «Собрание высказываний о роли сознания в философском представлении реальности» (1984):

Сознание и материя являются различными аспектами одной и той же реальности.

(К. Вайцеккер)

...Вряд ли может быть оспорено то, что природа и наш математически мыслящий ум работают по одним и тем же законам... Это остается справедливым и в том случае, когда наш ум впечатывает свои законы в природу, и тогда, когда природа впечатывает свои законы в нас...

(Дж. Джинс)

Одни и те же элементы используются для того, чтобы создать как внутренний (психологический), так и внешний мир... Субъект и объект едины. Нельзя сказать, что барьер между ними разрушен в результате достижения физических наук, поскольку этого барьера не существует.

(Э. Шредингер)

4. Энергия

...Ибо мы Им живем и движемся и существуем.

(Деяния 17:28)

И Я вкладываю в Ничто Негасимый Пламень, и он станет сердцем Мира, Что Будет.

(Дж.Р.Р. Толкиен. Сильмариллион)

Один день жизни обладающего кипучей энергией лучше столетнего существования ленивого и лишённого энергии человека.

Подобно хорошо тренированной лошади, тронутой кнутом, будьте энергичным и одушевленным. С помощью веры, добродетели и энергии, самоуглубления и изучения дхаммы вы, вдумчивые, исполненные знания и безупречные в поведении, освободитесь от этого великого зла.

(Дхаммапада 112, 144)



Понятие энергии является одним из самых важных в науке и имеет очень большую смысловую нагрузку. Оно многократно обобщалось даже в истории конкретной естественной науки – физики. Закон сохранения энергии обычно формулируется как постоянство энергии в замкнутой системе. Это утверждение в настоящее время считается одним из самых надежно установленных законов природы, справедливым как в классической, так и в квантовой физике, то есть как для микрообъектов, так и для макрообъектов.

Закон сохранения энергии исторически возник в механике. Уже Галилей применял его, но скорее интуитивно... Он указывал, что достигнутая при падении скорость тела позволяет ему подняться на первоначальную высоту, но не выше. Гюйгенс обобщил это положение для центра тяжести системы

падающих тел. Лейбниц придал этому принципу в 1695 году такую форму: произведение силы на путь дает увеличение «живой силы» (*vis viva*). Ньютон не придавал этому понятию особого значения. Напротив, Иоганн Бернулли (1667–1748) часто говорит о сохранении живых сил... и подчеркивает, что при исчезновении живой силы не теряется способность работы, но она только переходит в другую форму... К 1800 году было уже твердо установлено, что в системе материальных точек, между которыми действуют центральные силы, живая сила зависит только от конфигурации и от некоторой функции сил, определяемой этой конфигурацией. Термин «энергия» для живой силы применил в 1807 г. Томас Юнг, а понятие «работа» – в 1826 г. Жан Виктор Понселе.

(М. фон Лауэ. *История физики*, М., ГИТТЛ, 1956, с. 98)

Тем не менее, если бы применимость закона сохранения энергии ограничивалась механикой, он имел бы статус важной и красивой, но вполне частной теоремы и вряд ли бы заслуживал большего внимания, чем, скажем, другой механический закон сохранения – закон сохранения момента количества движения. Уникальность положения закона сохранения энергии в естествознании связана с тем, что он количественно формулирует одну из наиболее древних и глубоких натурфилософских идей – идею взаимосвязи всех явлений в природе.

Суть дела состоит в следующем. В механике энергия сохраняется только в специальном случае так называемых консервативных сил. Если же в системе важны процессы трения, имеется сопротивление воздуха или жидкости, происходят неупругие столкновения с изменением внутренней структуры сталкивающихся тел и т.д., механическая энергия *не* сохраняется. Однако оказывается, при этом можно добавить некоторую другую форму энергии – тепловую – так, что сумма механической и тепловой энергии по-прежнему будет сохраняться. Если важны электромагнитные процессы (например, излучение света или радиоволн), сумма механической и тепловой энергии сохраняться не будет. Тогда будет сохраняться сумма механической, тепловой и электромагнитной энергии. Если в системе происходят химические реакции, необходимо учесть еще один специфический вклад в энергию – внутреннюю энергию участвующих в реакции молекул, и т.д. Итак, *всегда* можно добавить нечто к уже известным формам энергии («живая сила», то есть кинетическая энергия + потенциальная энергия + тепловая энергия + электромагнитная энергия +.....) таким образом, что сумма ока-

зывается неизменной в ходе исследуемого процесса. Собственно говоря, именно закон сохранения и используется для *определения* новых форм энергии.

Энергия имеет множество *разных форм*, и для каждой есть своя формула: энергия тяготения, кинетическая энергия, тепловая энергия, упругая энергия, электроэнергия, химическая энергия, энергия излучения, ядерная энергия, энергия массы. Когда мы объединим формулы для вклада каждой из них, то их сумма не будет меняться, если не считать убыли энергии и ее притока... Важно понимать, что физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия. Мы не считаем, что энергия передается в виде маленьких пилюль. Ничего подобного. Просто имеются формулы для расчета определенных численных величин, сложив которые мы получаем... одно и то же число. Это нечто отвлеченное, ничего не говорящее нам ни о механизме, ни о *причинах* появления в формуле различных членов.

*(Фейнмановские лекции по физике.
Вып.1. М., Мир, 1977, с.74)*

Такая ситуация характерна для наиболее фундаментальных законов природы – законов сохранения.

Отыскивание законов физики – это вроде детской игры в кубики, из которых нужно собрать целую картинку. У нас огромное множество кубиков, и с каждым днем их становится все больше. Многие валяются в стороне и как будто бы не подходят к остальным. Откуда мы знаем, что все они из одного набора? Откуда мы знаем, что вместе они должны составить цельную картинку? Полной уверенности нет, и это нас несколько беспокоит. Но то, что у многих кубиков есть нечто общее, вселяет надежду. На всех нарисовано голубое небо, все сделаны из дерева одного сорта. Все физические законы подчинены одним и тем же законам сохранения.

(Р. Фейнман. Характер физических законов)

Исторически осознание закона сохранения энергии в столь общей форме происходило очень трудно. Безусловно, не случайным является то обстоятельство, что никто из «авторов» закона сохранения энергии не был профессиональным физиком: Юлиус Роберт Майер (1814–1878) был врачом, Джемс Прескотт Джоуль (1818–1889) – владельцем пивоваренного завода и ученым-любителем, Герман Гельмгольц (1821–1894), внесший большой вклад в ряд разделов физики, механики и математики, все-таки

прежде всего был физиологом. Майер пришел к этому закону (1841) исходя из чисто медицинских наблюдений (над изменением цвета крови у людей в тропиках):

Производя многочисленные кровопускания на рейде в Батавии, Майер заметил, что «кровь, выпускаемая из ручной вены, отличалась такой необыкновенной краснотой, что, судя по цвету, я мог бы думать, что попал на артерию». Он сделал отсюда вывод, что «температурная разница между собственным теплом организма и теплом окружающей среды должна находиться в количественном отношении с разницей в цвете обоих видов крови, т.е. артериальной и венозной... Эта разница в цвете является выражением размера потребления кислорода или силы процесса сгорания, происходящего в организме».

(П.С. Кудрявцев. Курс истории физики.
М., Просвещение, 1982, с. 201)

В истории западной науки после Ньютона случай открытия закона *физики* исходя из наблюдения над человеческим организмом является беспрецедентным. Несмотря на то, что Майер сформулировал свои результаты во вполне конструктивной для физиков того времени форме (в частности, он первым определил из измерений теплоемкости газов механический эквивалент теплоты), ему так и не удалось опубликовать свои результаты в физических журналах. Они были обнародованы в немецком фармакологическом журнале и в брошюре, изданной Майером за свой счет. Последующая жизнь Майера была очень тяжелой (постоянная травля со стороны «научного сообщества», заключение в сумасшедший дом, попытка самоубийства, после которой он остался на всю жизнь хромым). Джоуль выполнил впоследствии (независимо от работ Майера) систематические экспериментальные исследования, основываясь на открытом им явлении нагревания проводников при пропускании электрического тока. Наконец, Гельмгольц дал наиболее детальный и систематический вывод закона сохранения энергии, рассмотрев, в частности, статические гравитационные, электрические и магнитные поля. Однако даже его работа, написанная вполне традиционно для физики и математики середины XIX в., была отвергнута физическими журналами и вышла в 1847 г. отдельной брошюрой. Мы останавливаемся на этих подробностях, чтобы подчеркнуть, что не только неуместное «философствование» (в духе, скажем, средневековой инквизиции или «марксистских» идеологов советского периода), но и принципиальное отрицание

любых широких обобщений в науке может быть тормозом в ее развитии и даже приводить к трагедиям (жизнь Майера). Впрочем, к концу XIX века закон сохранения энергии был уже общепризнанным, получив статус первого начала термодинамики. Открытие энергии электромагнитного поля и эквивалентности масса-энергия в теории относительности Эйнштейна окончательно укрепили физиков в мысли о фундаментальном характере этого закона.

Великая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения своих противников, редко бывает, что «Савл становится Павлом». В действительности дело происходит так, что оппоненты постепенно вымирают, а растущее поколение с самого начала осваивается с новой идеей.

(М. Планк. Избранные труды. М., Наука, 1975, с. 594)

В то же время за последнее столетие неоднократно предпринимались попытки отказаться от закона сохранения энергии или, по крайней мере, ослабить его формулировку (например, считая, что он выполняется лишь в среднем – предположение Бора, Крамерса и Слэтера, предшествующее окончательной формулировке квантовой механики). Каждый раз, однако, такие попытки не выдерживали экспериментальной проверки. Так, теория Бора-Крамерса-Слэтера оказалась опровергнутой опытами немецкого физика В. Боте, использовавшего специально разработанную им технику – метод совпадений – и подтвердившего сохранение энергии и импульса в индивидуальных микропроцессах. Впоследствии Н. Бор вернулся к гипотезе о несохранении энергии в микромире в связи с трудностями с объяснением закономерностей так называемого бета-распада (одного из типов радиоактивности), однако высказанная В. Паули гипотеза о существовании новой элементарной частицы – нейтрино – спасла закон сохранения энергии. Детальная теория бета-распада, разработанная на основании идеи Паули крупнейшим итальянским физиком Э. Ферми и предполагающая строгое сохранение энергии в этом процессе, блестяще подтверждена всей совокупностью имеющихся экспериментальных данных. Таким образом, в настоящее время закон сохранения энергии рассматривается как один из самых фундаментальных законов физики. Материалы поучительной дискуссии, состоявшейся в 30-х гг. по этому вопросу между выдающимися советскими физиками-теоретиками М.П.Бронштейном и С.П.Шубиным (оба погибли в годы сталинского террора), содержатся в сб.: С.П.Шубин

Избранные труды по теоретической физике. Очерк жизни. Воспоминания. Статьи (Свердловск, Наука, 1991).

При распространении закона сохранения энергии на Вселенную как целое возникают серьезные методологические трудности.

Закон сохранения энергии может иметь только один смысл, а именно: существует некоторое свойство, присущее всем возможностям; но по детерминистской гипотезе существует лишь единственная возможность, а тогда закон теряет свой смысл. Напротив, при допущении индетерминистской гипотезы он имел бы смысл и тогда, когда бы мы пожелали придать ему абсолютное значение: он представился бы ограничением, наложенным на свободу. Но слово «свобода» напоминает мне, что я выхожу за пределы физико-математической области. Поэтому... закон Майера является формой достаточно гибкой, чтобы можно было вложить в нее почти все, что угодно.

(А. Пуанкаре. О науке, с. 88)

Во избежание недоразумений подчеркнем, что абстрактное понятие полной энергии не имеет столь большой практической ценности, как это могло бы показаться на первый взгляд. Например, в тепловых процессах может быть использована лишь так называемая свободная энергия (полной утилизации тепловой энергии препятствует второе начало термодинамики, см. ниже гл. 6). Знаменитая формула Эйнштейна $E = mc^2$, устанавливающая эквивалентность массы и полной энергии, лишь соблазняет колоссальными недоступными запасами энергии, которые содержатся даже в малых количествах любого вещества. Использование большей части этой «энергии покоя» невозможно из-за другого закона сохранения – закона сохранения барионного заряда: если не рассматривать процессы с участием антивещества, то общее количество ядерных частиц – протонов и нейтронов – измениться не может. В процессах деления тяжелых ядер или синтеза легких высвобождается лишь энергия связи протонов и нейтронов друг с другом. Скажем, в цикле реакций синтеза ядра гелия из четырех ядер водорода, который является основным источником звездной энергии, в энергию превращается около 0,7 % массы; впрочем, и это энерговыделение несопоставимо превосходит энергетический эффект химических реакций, например, горения. Полное превращение энергии массы (энергии покоя) в другие формы энергии (например, в энергию излучения) возможно лишь в двух ситуациях: при аннигиляции ве-

щества и антивещества и при падении вещества в черную дыру. Предполагается, что именно процессы последнего типа ответственны за чудовищное энерговыделение ядер «активных» галактик и, возможно, квазаров (см., например, популярную книгу И.С.Шкловского «Проблемы современной астрофизики» М.: Наука, 1988).

В современной физике законы сохранения связываются с некоторыми симметриями (свойствами инвариантности). Основа для такой связи устанавливается теоремой Э. Нетер классической механики и ее квантовым аналогом, принадлежащим Ю. Вигнеру (см. его относительно популярно написанную книгу «Этюды о симметрии»). Так, закон сохранения импульса оказывается следствием однородности пространства, закон сохранения момента импульса (момента количества движения) – изотропности пространства, а закон сохранения энергии – следствием однородности времени. В общей теории относительности Эйнштейна, где пространство и время неоднородны и искривлены (это искривление и есть гравитация, см. ниже гл.5), ситуация с законами сохранения оказывается чрезвычайно сложной. В определенном смысле они обращаются в тождество, то есть сводятся к равенству $0 = 0$ (говоря более формально, речь идет о так называемых тождествах Бианки тензорного анализа). В конечном счете в общей теории относительности не удается ввести плотность энергии и импульса гравитационного поля в том же смысле, как, скажем, для электромагнитного поля (последнее характеризуется *тензором* энергии-импульса, а гравитационное поле – *псевдотензором*). Это послужило основой для попыток пересмотреть общую теорию относительности, заменив ее «полевой теорией гравитации» (в работах А.А. Логунова и его сотрудников); последующая дискуссия показала, однако, что для такого пересмотра все же нет ни теоретических, ни экспериментальных оснований. Мы не имеем возможности обсуждать здесь эти весьма специальные вопросы; важно лишь подчеркнуть, что формулировка закона сохранения энергии в присутствии гравитационного поля оказывается весьма нетривиальной задачей.

Другие нетривиальные проблемы связаны с законом сохранения энергии в квантовой физике. Он является строгим в том смысле, что если сравнивать сумму энергий всех частиц *до* и *после* взаимодействия (то есть в бесконечном прошлом и бесконечном будущем), то она совпадает. Если же мы рассматриваем процесс, происходящий за конечное время, то энергия сох-

раняется в квантовой механике лишь с определенной точностью, которая тем меньше, чем короче этот процесс. Математическим выражением этого является принцип неопределенности энергия-время. Несмотря на внешнее сходство с принципом неопределенности координата-импульс (невозможность определить скорость и координату частицы в один и тот же момент времени, см. гл.3), его физический смысл совершенно иной. Квантовая частица, строго говоря, просто *не имеет* определенного значения (и даже направления) скорости, так как движется по всем траекториям *сразу*. В то же время стабильная частица *имеет* определенное значение энергии, просто для измерения его требуется достаточно большой промежуток времени. *Нестабильная* частица действительно не имеет строго определенной энергии; разброс в значениях ее энергии обратно пропорционален времени жизни этой частицы. Важно, однако, подчеркнуть, что если мы рассматриваем процесс, происходящий в ограниченной области пространства в ограниченный промежуток времени (в пределе – здесь и сейчас), законы сохранения для такого процесса выполняться *не будут*. С этим связано важнейшее для современной физики понятие виртуальных частиц. Пусть, например, некая частица (для определенности, протон) родила из вакуума другую частицу (для определенности, пи-мезон). Так как последняя обладает массой и, следовательно, энергией покоя, то такой процесс нарушает закон сохранения энергии. Если, однако, этот пи-мезон будет поглощен другим протоном через достаточно короткий промежуток времени (определяемый соотношением неопределенности), то такое нарушение допустимо и возможно. Такой процесс лежит в основе мезонной теории ядерных сил, предложенной японским физиком Х. Юкавой. Сейчас она заменена более изощренными схемами с участием кварков и переносчиков взаимодействия между ними – глюонов, но общая идея Юкавы остается совершенно правильной. При этом обмен массивными виртуальными частицами может происходить лишь на малых расстояниях. Дальнодействующие же силы – электромагнитные и гравитационные – с этой точки зрения могут рассматриваться как обмен безмассовыми (движущимися со скоростью света) частицами – соответственно фотонами и гравитонами.

Последнее время регулярно появляются сообщения о плохо воспроизводимых «парапсихологических» явлениях, по-видимости, нарушающих сохранение энергии (например, действующие модели вечных двигателей; в качестве авторитетов здесь

привлекаются такие ученые, как Н. Тесла и Н. Козырев). При этом несохранение энергии трактуется как нелокальность или «связь с другими мирами», говорится о получении энергии из потока времени или из вакуума. Возможность получения энергии из параллельной Вселенной составляет «научную» основу научно-фантастического романа А. Азимова «Сами боги»; впрочем, на наш взгляд, самое интересное в этом произведении фантастики – это вполне реалистическое описание нравов и обычаев современного «физического сообщества». Вообще, «нет сказок лучше тех, которые сочиняет сама жизнь» – одному из авторов как-то пришлось выступать в роли эксперта по Делу Об Извлечении Энергии Из Вакуума (и денег из вышестоящих организаций)... Для описания подобных эффектов, несводимых к известным физическим взаимодействиям (речь об энергии, а не о деньгах), вводят свои «кванты» (микролептоны, виртуальные нейтрино) или физические поля (торсионные); делаются попытки спекулировать на упомянутых идейных трудностях общей теории относительности. Как подробно обсуждалось в гл. 1, такие подходы вряд ли совместимы с духом современной физики. Ее математический аппарат, как и вся структура современной науки, вообще не приспособлены к описанию явлений, где, предположительно, решающую роль играет сознание и несправедливо основное предположение о возможности изучать объект независимо от субъекта. Впрочем, квантовая физика, вероятно, подошла уже к рубежу, за которым необходимо отказываться от этого предположения (см. гл. 3) – но все-таки еще *не перешла* его. Таким образом, «квантовые» подходы к парапсихологии (которым отдал дань и такой известный физик, как лауреат Нобелевской премии Б. Джозефсон), на наш (субъективный!) взгляд, кажутся преждевременными. Еще раз подчеркнем, что мы говорим здесь не о реальности самих явлений (особенно с учетом неоднозначности самого понятия реальности), а лишь об уместности «научообразных» спекуляций на эту тему, да еще с явным коммерческим привкусом.

Тем не менее, на психологическом уровне аналогии между «научным» и «ненаучным» пониманием энергии кажутся как раз уместными, глубокими и интересными. Если резюмировать естественно-научный взгляд на «энергию», то она – нечто такое, что может переходить из одной формы в другую, не возникая и не уничтожаясь, и обеспечивает возможности некоторых процессов (движения тел, химических или ядерных реакций, излучения электромагнитных волн...). В этой связи кажется действи-

тельно оправданным (по крайней мере, на качественном уровне) говорить о психической энергии, о «пассионарности» по Л.Н.Гумилеву и т.д., как о чем-то, переходящем из одной формы в другую и обеспечивающем психические, социальные, этногенетические процессы.

Во всех живых организмах находится биохимическая энергия живого вещества биосферы, совсем не мистическая энергия, а обыкновенная, аналогичная электромагнитной, тепловой, гравитационной и механической...

(Л.Н. Гумилев. Этносфера, с. 26)

Конечно, о буквальном применении физики в психологии или социологии речь не идет. Так, в работах Вернадского, на которого часто ссылаются по этому поводу, говорится об отличии энергии живого от физической, химической и других «обычных» видов энергии. Начиная с Майера, понятия энергии и силы в применении к живому (а тем более мыслящему) «веществу» далеко не сводятся к физическим. Однако в гуманитарных науках эти понятия еще более обобщаются:

Есть силы в собственном и точном смысле слова, сообщающие ускорения и производящие изменения характеристик действительности, но тем не менее не механические и даже не физические... Сила красоты существует несколько не менее, нежели сила магнита или сила тяжести.

(П.А. Флоренский. Анализ пространственности и времени в художественно-изобразительных произведениях, с. 49)

Здесь Флоренский имеет в виду вполне простую и понятную вещь: подобно тому как сила магнита или сила тяжести может вызывать или изменять движение физических тел, сила красоты способна вызывать или изменять движение (в широком смысле слова) человека или группы людей, или даже общества в целом. В этом же смысле можно говорить о «концентрации» энергии в слове:

Слово есть метод, метод концентрации. Собранную в один фокус историческую волю целого народа – в слове я имею в своем распоряжении, и дело – не в силе, а лишь в умении ее направить в нужную мне сторону. И вместе со словом, мной произнесенным, продвигается и вонзается в пространство моя сконцентрированная воля, сила моего сосредоточенного внимания... Слово – конденсатор воли, конденсатор внимания, конденсатор всей душевной жизни.

(П.А. Флоренский. У водоразделов мысли, с. 263)

На самом тривиальном уровне аналогом закона сохранения энергии применительно к человеку являются утверждения, что «из ничего и выйдет ничего» и «за все нужно платить». Для более детального феноменологического описания явлений, связанных с человеком, часто используется понятие кармы (действия, «энергии [совокупных] действий живых существ»), в некотором смысле обобщающее понятие энергии.

Закон кармы... есть закон сохранения моральной энергии.

(С. Радхакришнан. Индийская философия)

Именно под власть кармы попадают все, пускающиеся в небезопасные «окультурные» опыты, сопровождаемые «бесплатными» (в смысле физических законов) чудесами. Разумеется, ни о какой формализации, количественном «подсчете заслуг и грехов» речи все-таки быть не может – закон кармы гораздо более сложен и действует по-разному на разных уровнях.

Понятие энергии в философии христианства в значительной степени основано на учении Аристотеля, который обозначал им актуальность вещи, в отличие от ее потенциального бытия.

Энергия есть естественная сила, которою изъясняется каждая сущность. Энергия есть естественная и первая вечно движущаяся сила разумной души, то есть вечно движущийся ее разум, естественным образом из нее изливающийся.

(Иоанн Дамаскин.

Точное изложение православной веры)

При этом «учители Церкви дословно говорят, что только небытие лишено энергии» (Соборное определение 1351 г. против Варлаама и Акиндина). Григорий Палама постулировал различие сущности и энергий Бога («энергия есть сам Бог, Бог же не есть его энергия»):

Впрочем славу и сияние даже в тварной природе никогда не назовешь сущностью; как же тогда можно считать божественную славу сущностью Бога, – Бога, Который, будучи неприобщаем, невидим, неосязаем, по сверхсущей силе делается приобщаем, доступен, явен и в созерцании становится един дух (1 Кор.6:17) с чистыми сердцем.

(Гр. Палама. Триады, 2.3.66)

Приведем концентрированное изложение сути паламитских взглядов у А.Ф. Лосева:

Энергия, рассуждали паламиты, не вносит в Божество никакого разделения, или рассечения, ибо сущность остается сама по себе как бы носительницей этих энергий. Переходя к твари и освящая ее, она сама отнюдь не становится тварью, но продолжает быть неотделимой от Бога, т.е. *самим Богом*. Имя «Бог», говорили они, должно быть прилагательно не только к сущности Божией, но и к Его энергиям. Всякая энергия и все энергии вместе суть сам Бог, хотя Бог и не есть Его энергия, ни какая-нибудь одна, ни все взятые вместе. Получался у исихастов, таким образом, целый ряд антиномий, и среди них, прежде всего, антиномия сущности и энергии, а затем антиномия энергии Божией и твари. Существо – нераздельно, непознаваемо, нерасчленимо; энергии раздельны, расчленимы, сообщимы. Существо как таковое – не-энергийно, не проявляется, не сообщается; существо как данное в своих энергиях энергийно, проявляется, сообщается. Существо Божие есть Бог сам; энергия сущности неотделима от самого сущности; след., энергия Божия есть сам Бог. Но, с другой стороны, Бог сам в себе отличен от Своих энергий; и, значит, Бог не есть Его энергия... Человек – тварь; след., он – не Бог по сущности и не может стать таковым. Но человеку сообщима энергия Божия, которая есть сам Бог. Следовательно, человек *есть* бог – уже *по причастию*, стало быть, и *по благодати*, а не по сущности, и – может, должен стать им, т.е. *энергийно* стать, неотлично отождествиться с ним *по смыслу*, имея единственное отличие от него – по сущности, по *субстанции*, по *факту*, по *бытию*.

(А. Ф. Лосев. *Очерки античного символизма и мифологии*, М., Мысль, 1993, с. 866)

Проблема трансцендентности и имманентности Бога решается в православии именно на основе положения об этом различии – энергии и сущности Бога. Хотя учение Паламы было закреплено догматически, паламитские споры продолжались еще долгое время и остались незавершенными после падения Византии; интерес к ним сохраняется до сих пор (см. книгу «Синергия»).

Положения, до некоторой степени аналогичные православному учению о божественных энергиях, легко найти и в других традициях.

Как от костра, сложенного на земле и ограниченного костровищем, рассеивается свет, так же и вся вселенная – это рассеянная энергия великого Брахмана. И как различен – более или менее – свет, рассеиваясь дальше или ближе от костра,

такие же различия есть в энергии безличного Брахмана. Брахма, Вишну и Шива – это его основные энергии. Им подчиняются божества, божествам подчиняются якши, якшам подчиняются люди скот, дикие птицы и рептилии, а деревья и растения – это младшие из энергий.

(Вишну Пурана 1.22)

Энергия Бога есть его Воля; его сущность состоит в желании того, чтобы мир был; ибо Бог-Отец-Благо есть не что иное, как существование всех вещей, даже тогда, когда их еще нет.

(Герметический свод. Ключ, 19)

Впрочем, «детали» здесь чрезвычайно существенны: то или иное понимание природы Божественных энергий напрямую влияет на духовную (молитвенную) практику. Дальнейшее рассмотрение этих трудных и важных вопросов, безусловно, выходит за рамки данной книги.

Во многих традициях энергия и сила символически связываются с женским аспектом (см. обсуждение в книге Т. Шипфлингера «София-Мария. Целостный образ творения». М., 1997). Эта тема нашла отражение и в художественной литературе.

– А нет ли у тебя средства сделать Герду всемогущей?

– Сильнее, чем она есть, я не могу ее сделать. Неужто ты сам не видишь, как велика ее сила? Подумай, ведь ей служат и люди, и животные!

(Г.Х. Андерсен. Снежная королева)

– Наша, женская сила с виду вроде как слабее, меньше, чем у них, – сказала тетушка Мох. – Зато она куда глубже. Она как бы вся из одних корней. Как старый кустик черники. А сила волшебника похожа на высокую ель, самую высокую в округе, мощную – да только во время бури самые высокие деревья как раз и ломаются. А вот кустик черники сломать не так-то просто.

(У. Ле Гуин. Техану)

В иудаизме Шехина – одно из имен Бога, выражающее его присутствие в мире (неопалимая купина, огненный столп, облако на горе Синай, ковчег, храм – после его разрушения Шехина удаляется в изгнание). В индуистской и буддийской тантре праджня (мудрость) тесно связана с понятием энергии. Шакти – творческая энергия божества, супруга (женская ипостась) бога Шивы – включает аспекты мудрости, силы, гармонии и совершенства.

Шакти есть корень всего существующего. Именно из нее появляются вселенные, и именно она поддерживает их; и в конце времени именно в нее снова вольются все миры.

(Тантра-таттва)

То, что есть Абсолют (Ниргуна), безличный и выше всех атрибутов, есть то же самое, что личный Бог, обладающий всеми атрибутами и божественными качествами. И вместе с тем Абсолютный Брахман неразделен от Божественной Энергии (Шакти). Термин «Брахман» относится к тому аспекту Божества, который безличен и стоит выше всякой деятельности. Но когда мы начинаем думать о Нем, как о созидателе, сохраняющем и разрушающем все явления, тогда мы называем Его Личным Богом Божественной Матери или Кали. В действительности нет различия между «Брахманом» или безличным Абсолютом и «Шакти» или Божественной Матерью. Брахман и Шакти представляют собой одно и то же, как огонь и его сжигающая сила. Как под словом огонь мы подразумеваем его способность сжигать, так, говоря о горении, мы знаем, что говорим об огне. Постигая одно, мы постигаем другое.

(Провозвестие Рамакришны)

Это не означает, что какая-то маленькая часть Бога отделяется от Него и формирует вселенную. Действует Его шакти, и в результате одной фазы подобной активности космос проявляется.

(Шри Рамана Махарши.

Будь тем, кто ты есть, с. 272)

Помимо космического процесса, шакти определяет функционирование человека как микрокосма. Одной из основных целей йоги является пробуждение в теле человека (внизу позвоночника) энергии шакти – кундалини, которая, поднимаясь, стремится встретиться в верхних центрах (чакрах) или головном мозге с сознанием – Шивой. Другой термин для энергии в индийской традиции – прана, которая связана с дыханием и имеет ряд разновидностей.

Очень сложным является вопрос о соотношении энергии и духа, который обсуждался в паламитских спорах (см. книгу «Синергия»).

При всем том Святой дух выше действующей в Нем и от Него богодействующей жизни как своей собственной природной энергии, которая сходна с ним, но не в точности.

(Гр. Палама. Триады 3.1.9)

Мы проиллюстрируем эту тему отрывками из неканонической библейской книги:

Познал я все, и сокровенное и явное, ибо научила меня Премудрость, художница всего. Она есть дух разумный, святой, едиnorodный, многочастный, тонкий, удобоподвижный светлый, чистый, ясный, невредительный, благолюбивый, скорый, неударжимый, благодетельный, человеколюбивый, твердый, непоколебимый, спокойный, беспечальный, всевидящий и проникающий все умные, чистые, тончайшие духи. Ибо премудрость подвижнее всякого движения, и по чистоте своей сквозь все проходит и проникает. Она есть дыхание силы Божией и чистое излияние славы Вседержителя: посему ничто оскверненное не войдет в нее. Она есть отблеск вечного света и чистое зеркало действия Божия и образ благодати Его. Она – одна, но может все, и, пребывая в самой себе, все обновляет, и, переходя из рода в род в святые души, prepares друзей Божиих и пророков; ибо Бог никого не любит, кроме живущего с премудростью. Она прекраснее солнца и превосходнее сонма звезд; в сравнении со светом она выше; ибо свет сменяется ночью, а премудрости не превозмогает злоба.

(Премудрость Соломона 7:21–30)

Волю же Твою кто познал бы, если бы Ты не даровал премудрости и не ниспослал свыше святаго Твоего Духа?

(Премудрость Соломона 9:17)

(Напомним, что в христианской традиции Премудрость связана с Логосом-Христом). Блаженный Августин отличает несотворенную и сотворенную Премудрость (*Sophia Creata*).

Но как свет возжигающий отличается от света возжигаемого, столь же велика разница между Тобой, высшей творящей Премудростью, и той Премудростью, что сотворена...

Эта София от Тебя, о Боже, но нечто совсем иное, нежели Ты.

(Liber meditationum XIX)

В различных учениях мы сталкиваемся с представлениями об энергии слова, начиная с магических применений (заговоры, «практические» мантры и т.д.) и кончая молитвенным общением с Богом. Приведем ряд высказываний, связанных с православной традицией имяславия.

Слово – человеческая энергия, и рода человеческого и отдельного лица... Но предметом слова или его содержанием в истинном значении нельзя признавать самую эту энергию: слово, как деятельность познания, выводит ум за пределы

субъективности и соприкасает с миром, что по ту сторону наших собственных психических состояний.

(П. Флоренский. У водоразделов мысли)

Имя вещи есть энергийное выражение личностного выражения вещи.

(А.Ф. Лосев. Философия имени)

Умное делание священнобесмолвствующего богослова... есть его синергия с Богом; оно не замкнуто в каком-либо не зависящем от времени внутритварном состоянии равновесия-адаптации. Так и рожденное умным деланием слово не есть вневременная замкнутая идеальность системы. Оно всегда открыто и никогда не самодостаточно. В рожденном синергией духоносном слове церковного богословия заключена бесконечная нетварная Божественная энергия.

(прот. А. Геронимус, в кн.: Синергия, с.171)

Слово-логос и его энергия тесно связаны с понятием священного текста.

Истолкование священного текста истинно, если оно пробуждает в тебе надежду, энергию, трепетный восторг; если же оно вызывает нерадивость в служении, то дело в следующем: это искажение смысла сказанного, неподлинное истолкование. Это речение было дано, чтобы вдохновить на служение, чтобы Бог мог взять за руки тех, кто потерял надежду и их спасти.

(Дж. Руми. Маснави 5.3125)

Практическим психологическим и медицинским аспектам энергии большое внимание уделяется в восточных учениях. Китайская медицина ставит своей задачей установление гармонии инь и ян («женского» и «мужского» аспекта) в меридианах человеческого тела, по которым течет энергия-ци.

Тело – этоместилище духа и энергии. Коли духа и энергия пребывают в теле, то здоровье у нас крепкое и силы много. А если духа и энергия рассеиваются, то мы умираем. Желая сберечь свое тело, нужно прежде всего привести к покою духа и энергию. Энергия – мать духа, а дух – сын энергии. Желая упокоить дух, нужно прежде всего тренировать изначальную энергию.

(Сунь Сымяо.

О сбережении духа и тренировке энергии)

В тантрических направлениях буддизма учение о пустотности (шуньяте) дополняется развитием мудрости (праджни) и работой с энергией – йогой.

Через материальное измерение нашего тела мы можем понять его энергию, или «речь» – второй аспект личности. Энергия нематериальна, невидима и неосвязаема. Это нечто более тонкое и трудное для понимания. Одним из ее воспринимаемых аспектов является вибрация, или звук, поэтому она называется еще «голос». Голос связан с дыханием, а дыхание – с жизненной энергией человека. В Янтра-йоге для управления этой жизненной энергией используются движения тела и дыхательные упражнения. Связь между голосом, дыханием и мантрой лучше всего видна на примере действия мантры. Мантра – это ряд слогов, сила которых заключается в их звучании. Благодаря неоднократному произнесению их можно добиться контролирования данной формы энергии. Энергия человека тесно связана с внешней энергией, обе они влияют одна на другую... Действуя в обратном направлении, возможно влиять на внешнюю энергию, совершая при этом так называемые «чудеса». Такие действия фактически представляют собой результат владения своей собственной энергией, благодаря которому можно обрести способность управлять внешними явлениями... Проблемы энергии весьма серьезны. В наше время мы переживаем период, когда больше, чем когда бы то ни было, распространены болезни, связанные с нарушением энергии, например рак. Официальная западная медицина, установив симптомы таких заболеваний, не знает их коренной причины, так как не знает, каким образом функционирует энергия. В тибетской медицине такие виды заболеваний, при которых курс медицинского лечения оказывается неэффективным, излечиваются практикой мантры, которая может воздействовать на гармонизацию состояния энергии пациента через звук и дыхание. Кроме того, в Янтра-йоге существуют особые позы, методы контролирования дыхания и психическая концентрация – все это может быть использовано для устранения нарушений энергии.

(Намхай Норбу Ринпоче.

Дзогчен – самосовершенное состояние)

В буддийской медицине различаются болезни, вызванные внешними (природными) и кармическими причинами; последние не лечатся даже «нетрадиционными» методами («карма сильнее Будды»).

Жизнеспособность – это жизненная энергия, присущая трем сферам существования. Именно она – опора внутреннего тепла и сознания.

– Но что в таком случае служит опорой жизнеспособности?

– Это – тепло и сознание.

– Но тогда ... что из них прекращается первым?

– Основой жизни служит действие; до тех пор пока жизнь стимулируется действием, она продолжает длиться...

...Смерть наступает вследствие исчерпания жизненной энергии, но не добродетели.

(Абхидхармакоша 2.45)

«Академические» буддийские тексты Абхидхармы подробно рассматривают не только «гуманитарный», но и «естественно-научный» аспекты проблемы.

Пока существует энергия потока однородных состояний, порожденного действием и способного сохранять свою непрерывность в течение определенного времени, поток остается самотождественным... Аналогичным образом зерно обладает определенной энергией, благодаря которой оно развивается до состояния зрелости, а пущенная стрела сохраняет состояние полета.

Если же некто полагает, что в стреле возникает особое качество, называемое инерцией движения, благодаря которому стрела сохраняет состояние полета до падения, [то на это следует сказать, что] поскольку [инерция движения] однородна и [если стрела] не встречает препятствия, в ее скорости не может быть никакого различия в отдельные моменты времени, и она никогда не упадет.

– А если таким препятствием служит ветер?

– Тогда можно заключить, что стрела либо упадет сразу, либо вообще не упадет, поскольку ветер не имеет в себе различий.

(там же)

Отметим, что этот текст, относящийся к V в., обсуждает физические вопросы, связанные с «законами Ньютона», задолго до Галилея.

Важную роль понятие энергии играет в психоанализе.

Мы предполагаем – и этому научили нас другие естественные науки, – что в психической жизни действует некоторый вид энергии; но мы не имеем данных, которые позволили бы нам подойти ближе к познанию ее по аналогии с другими видами энергии. Мы, видимо, признаем, что нервная, или психическая энергия существует в двух формах: одна имеет свободу передвижения, а другая, напротив, связана.

(З. Фрейд)

Проблема излечения (восстановления психических сил человека) здесь решается путем снятия блоков в подсознании. На-

оборот, кодирование создает такие участки в бессознательном (Ид). Тело или Ид считаются источником либидо (психической энергии). В классическом психоанализе либидо генерируется и разряжается квантами – порциями.

Еще одно направление, вышедшее из психоанализа, – учение В. Райха, который пропагандировал лечение неврозов с биофизических позиций, применяя телесные процедуры и гипервентиляцию с целью освобождения запертой энергии. Райх ввел (и даже сближал с понятием Бога) понятие оргона – изначальной пульсирующей космической энергии, которая поддается физическим измерениям. Впоследствии он сконструировал и применил в терапевтических целях аккумуляторы оргона, представлявшие собой закрытые ящики, куда помещался человек; подобная техника описана также Кастанедой. Понятие личной силы является одним из центральных в цикле книг последнего.

Теплота, которая исходила из листьев и поддерживала меня в таком удобном состоянии без одеяла и теплой одежды была явлением естественно поглощавшим мои мысли.

– Это были просто листья, – сказал дон Хуан.

– Ты хочешь сказать, что я могу нарвать листья с любого куста, и они будут оказывать тот же эффект на меня?

– Нет. Я не говорю, что ты сам это можешь сделать. У тебя нет личной силы. Я говорю, что любые листья помогут тебе при условии, что лицо, которое их дает, имеет силу. Сегодня тебе помогли не листья, а сила.

– Твоя сила, дон Хуан?

– Ты, я думаю, можешь сказать, что это была моя сила, хотя это не будет совсем точным. Сила не принадлежит никому. Некоторые из нас могут собрать ее, а затем она может быть прямо передана кому-нибудь еще. Видишь ли, ключом к запасенной силе является то, что она может быть использована только для того, чтобы помочь еще кому-нибудь накопить силу.

Я спросил, означает ли это, что его сила лимитирована только помощью другим. Дон Хуан терпеливо объяснил, что он может использовать свою личную силу когда захочет и на что сам захочет. Но когда дело доходит до того, чтобы передать ее непосредственно другому лицу, то это невозможно сделать за исключением тех случаев, когда это лицо использует ее на поиски своей собственной личной силы.

– Все, что человек делает, связано с его личной силой, – продолжал дон Хуан, – поэтому для того, у кого ее нет, дела сильного человека кажутся невероятными. Сила нужна даже для того, чтобы понять, что такое сила. Вот что я все время

пытался тебе объяснить. Но я знаю, что ты не понимаешь, и не потому, что не хочешь, но потому, что у тебя очень мало личной силы.

(Путешествие в Икстлэн)

Разнообразные ощущения человеком «биологической» энергии (в частности, при биоэнергетических воздействиях) являются достаточно реальными, хотя и плохо поддаются объективации.

Необходимость экономии энергии за счет ограничения нецелесообразных привычных (механических) действий и внутренних напряжений подчеркивается в книгах Гурджиева и Кастанеды. Гурджиев использует образ «часовой пружины»: запас жизненных сил человека определяется «заводом», но скорость его использования можно регулировать. По Кастанеде, определенный запас энергии человека получен с рождения, но количество его личной силы определяется «стратегией воина».

– Не имеет никакого значения, где человек вырос, – сказал он. – Определяющим в том, как человек делает что-либо, является личная сила. Человек является только суммой своей личной силы. И эта сила определяет, как он живет и как умирает.

– Что такое личная сила?

– Личная сила – это чувство, – сказал он, – что-то вроде того, как быть удачливым. Или это можно назвать настроением. Личная сила – это нечто такое, что приобретаешь в независимости от своего происхождения. Я уже говорил тебе, что воин – это охотник за силой и что я учу тебя, как охотиться за ней и хранить ее. Трудность с тобой, что является трудностью и со всеми нами, состоит в том, чтобы тебя убедить. Ты должен верить, что личная сила может быть использована и что ее можно хранить, но до сих пор ты не был в этом убежден.

(Путешествие в Икстлэн)

Единственная вещь, которая сберегает для нас энергию, – это наша безупречность.

(Сила безмолвия)

Проблема «оптимального» расхода творческой энергии, кризисов, подъемов и спадов действительно имеет очень большое и вполне «практическое» значение. Истории известно множество выдающихся ученых, писателей, художников, испытавших надлом и потерявших способность к творческой работе

(а в наиболее трагических случаях – физическое или психическое здоровье и даже жизнь) в результате перенапряжения.

Но цена, которую мне пришлось заплатить за мой успех, была из ряда вон велика – здоровье мое совершенно расшаталось. В последующие годы мне не раз приходилось удлиннять свои отпуска; пришлось отказаться и от какой бы то ни было творческой деятельности. Только к осени 1884 г. дело снова пошло к лучшему, но прежней степени продуктивности я уже не достиг. Я оказался вынужденным заниматься в основном разработкой своих прежних идей, а позже, когда я уже был в Геттингене, я расширил область своей деятельности и занялся общими задачами организации нашей науки... Моя по-настоящему продуктивная работа в области теоретической математики с 1882 г. прекратилась.

(Ф. Клейн. Лекции о развитии математики в XIX столетии, т.1. М., Наука, 1989, с. 420)

У меня недостает физических сил для лености, духовных же хватает как раз на работу.

(С. Кьеркегор. Дневники; умер от истощения сил в 41 год)

С другой стороны, известны многочисленные примеры, когда успешная творческая деятельность (как интеллектуальная, так и связанная с физическим трудом) ведет к притоку энергии и позволяет поддерживать активность и долголетие даже у физически слабых от природы людей.

Понятия энергии (силы) и духа для человека оказываются тесно связанными. Употребляемое в первых книгах Кастанеды понятие силы («охота за силой») затем сменяется понятием духа («ловля духа»).

– Когда дело идет об охоте за силой, не может быть никакого плана. Охотиться за силой или охотиться за дичью – это одно и то же. Охотник охотится на то, что подставляет себя ему, поэтому он всегда должен находиться в состоянии готовности.

Ты знаешь о ветре, и сейчас ты можешь охотиться за силой, находящейся в ветре, самостоятельно. Но есть другие вещи, о которых ты не знаешь, которые, как и ветер, являются центром силы в определенное время и в определенных местах.

Сила – очень любопытная штука, – сказал он. – невозможно взять ее и сказать, что это действительно есть. Это чувство, которое имеют об определенных местах. Сила является лич-

ной. Она принадлежит кому-нибудь одному. Мой бенефактор, например, мог сделать человека смертельно больным, просто посмотрев на него. Женщины дурнели, если он бросит на них взгляд. Однако же он не делал людей больными все время, но только тогда, когда его личная сила в этом участвовала.

– Как он выбирал того, кого он собирался сделать больным?

– Этого я не знаю. Он сам не знал. С силой всегда так. Она командует тобой, и в то же время она повинуетя тебе.

– Охотник на силу ловит ее, а затем накапливает ее, как свое личное достояние. Таким образом личная сила растет и можно найти такие случаи, когда воин имеет так много личной силы, что становится человеком знания.

– Как накапливают силу, дон Хуан?

– Это опять-таки другое чувство. Оно зависит от того, какого сорта личностью обладает воин. Мой бенефактор был человеком жесткой природы. Через это чувство он и накапливал силу. Все, что он делал, было сильным и прямолинейным. Он оставил мне память о чем-то, проламывающимся сквозь вещи. И все, что с ним случалось, происходило таким же манером.

Я сказал ему, что не могу понять, как сила накапливается через чувства.

– Нет никакого способа объяснить это, – сказал он после долгой паузы. – Ты должен делать это сам.

(Путешествие в Икстлэн).

Привлекая подобные тексты, мы, как и в других случаях, далеко отходим от научной (в узком смысле) проблематики, с которой начали эту главу. Тем не менее, гуманитарное (и даже житейское) значение таких понятий, как сила и энергия, оказывается в действительности тесно связанным с их использованием в физике. Прослеживание таких связей, собственно, и является одной из целей этой главы. Подобные понятия по-видимому глубоко укоренены в психике человека и составляют существенную часть его познавательного «инструментария», действует ли он как естествоиспытатель или «просто» как человек, проявляющий активность в самых разных формах, включая наиболее «низменные» и связанные с телом.

Основная причина современного вызова целомудрию – в представлении людей, что они «собственники» своих тел, этих глубоких и опасных владений, где пульсирует энергия, создавшая миры (!)

(К. Льюис. Письма Баламута)

5. Пространство

В Северном океане водится рыба, имя ей Кит. Сколько тысяч ли он величиной – неведомо. [Этот Кит] превращается в птицу, имя ей – Феникс. Сколько тысяч ли длиной его спина – неведомо.

(Чжуанцзы, гл. 1, Странствия в беспредельном)

Это – море великое и пространное: там пресмыкающиеся, которым нет числа, животные малые с большими; там плавают корабли, там этот левиафан, которого Ты сотворил играть в нем.

(Псалтырь 103:25-26)

*Золотое руно, где же ты, золотое руно?
Всю дорогу шумели морские тяжелые волны,
И, покинув корабль, натрудивший в морях полотно,
Одиссей возвратился, пространством и временем полный.*

(О. Манделштам)

Пространство безгранично, будучи постоянно возобновляющейся формой, а вовсе не ширясь до бесконечности. То, что есть, является скорлупой, плавающей в бесконечности того, чего нет.

(А. Эддингтон. Природа физического мира)

В современной физике (после появления теории относительности) понятия пространства и времени принято объединять и рассматривать совместно, и на это, как мы увидим, есть глубокие причины, которые были поняты еще в древности.

«Гарги, то, что над небом, то, что под землей, что между небом и землей, что зовется и прошедшим, и настоящим, и будущим, – это выткано вдоль и поперек на пространстве». «А на чем же выткано вдоль и поперек пространство?» «Поистине, Гарги, брахманы называют это Непреходящим... Поистине, по воле этого Непреходящего, Гарги, занимают свое место небо и земля. Поистине, по воле этого Непреходящего, Гарги, занимают свое место мгновенья, часы, дни и ночи, половины месяца, месяцы, времена года, годы».

(Брихадараньяка упанишада)

Тем не менее, обычное восприятие человеком пространственных и временных соотношений совершенно различно.

Воображаемое деление на время и пространство установлено в мире подобно [такому же делению] сознания. Да и кто пожелал бы установить иначе природное [устройство] для живых существ?

(Бхартрихари. Вакья-падия)

Поэтому в настоящей работе, посвященной именно соответствию естественно-научной и гуманитарной картины мира, уместно рассмотреть пространство и время отдельно. В этой главе мы обсудим некоторые вопросы, связанные с понятием пространства, которые с давних пор были предметом пристального внимания как философов и теологов, так и специалистов в области естественных наук.

5.1. Понятие пространства и взаимодействие

«Каков источник этого мира?» «Пространство – поистине все существа выходят из пространства и возвращаются в пространство, ибо пространство больше их, пространство – последнее прибежище»... Через пространство взывают, через пространство слышат, через пространство отвечают, в пространстве радуются, в пространстве не радуются, в пространстве рождаются, к пространству тянутся рожденные. Почитай пространство!.. В нем заключены оба – небо и земля, оба – огонь и ветер, оба – солнце и луна, молния и звезды; и то, что есть здесь у него, и то, чего нет, – все это заключено в нем. ... Поистине, то, что зовется пространством, проявляет имя и образ.

(Чхандогья упанишада 1.9, 7.12, 8.1, 8.14)

Пространство между небом и землей подобно кузнечному меху и флейте: [то и другое] изнутри пусто и прямо. Чем [в нем] сильнее движение, тем больше результатов.

(Дао Дэ Цзин 5)

Глубокое определение онтологической роли пространства можно найти еще у Платона.



Во-первых, ... есть тождественная идея, нерожденная и негибнущая, ничего не воспринимающая в себя откуда бы то ни было и сама ни во что не входящая, незримая и никак иначе не ощущаемая, но отданная на попечение мысли. Во-вторых, есть нечто подобное этой идее и носящее то же имя – осязаемое, рожденное, вечно движущееся, возникающее в некоем месте и вновь из него исчезающее, и оно воспринимается посредством мнения, соединенного с ощущением. В-третьих, есть еще один род, а именно пространство: оно вечно, не приемлет разрушения, дарует обитель всему рождающемуся, но само воспринимается вне ощущения посредством некоего незаконного умозаключения, и поверить в него почти невозможно.

(Тимей 52 a-b)

Геометрия как наука о пространстве была фактически первой естественной наукой в современном понимании.

Что касается понятия пространства, то очевидно, ему должно предшествовать понятие телесного объекта... Два телесных объекта могут либо касаться, либо находиться на расстоянии один от другого. В последнем случае можно, ничего не меняя, поместить между ними третье тело, в первом же случае это невозможно. Эти пространственные отношения, очевидно, реальны в том же смысле, как и сами тела. Если два тела равноценны для заполнения этого промежутка, то

они будут равноценны и при заполнении других промежутков. Таким образом, промежуток оказывается независимым от выбора заполняющего его тела; то же самое справедливо в совершенно общем случае пространственных отношений. Тот факт, что эта независимость, составляющая главнейшую предпосылку чисто геометрических понятий, априори отнюдь не обязательна, представляется очевидным. Поэтому, понятие промежутка, не зависящее от особого выбора заполняющего его тела, служит отправным пунктом для понятия пространства вообще. ... Поскольку геометрия понимается как учение о закономерностях взаимного расположения практически твердых тел, ее можно рассматривать как древнейшую отрасль физики.

(А. Эйнштейн, Собр. науч. трудов, т. 2, с. 276, 277)

Впрочем, вскоре после того, как в древней Греции появилась современная математика и геометрия была изложена аксиоматически в «Началах» Евклида, понимание нераздельной связи геометрии с реальностью было постепенно утрачено.

Ясно, что в мире естественно-научных понятий понятие пространства как реального объекта существовало уже давно. Однако геометрия Евклида не пользовалась этим понятием как таковым.... Точка, плоскость, прямая, отрезок – все это идеализированные телесные объекты.

(там же)

В конце концов И. Кант провозгласил в конце XVIII в. субъективность понятия пространства, окончательно оторвав его от физической реальности.

Пространство вовсе не представляет свойства каких-либо вещей самих по себе, а также не представляет оно их в их отношении друг к другу, иными словами, оно не есть определение, которое принадлежало бы самим предметам и оставалось бы даже в том случае, если отвлечься от субъективных условий созерцания... Пространство есть не что иное, как только форма всех явлений внешних чувств, т.е. субъективное условие чувственности, при котором единственно и возможны для нас чувственные созерцания.

(И. Кант. Критика чистого разума, М., Мысль, 1994, с. 52)

В целом субъективность пространства и времени – глубокая идея, которая обсуждается в традиционных учениях, и к ней мы вернемся ниже в разделе 6.2.

Он с собою взял в плаванье Карту морей,
На которой земли – ни следа;
И команда, с восторгом склонившись над ней,
Дружным хором воскликнула: «Да!»
Для чего, в самом деле, полюса, параллели,
Зоны, тропики и зодиаки?
И команда в ответ: «В жизни этого нет,
Это – чисто условные знаки.
На обыденных картах – слова, острова,
Все сплелось, перепуталось – жуть!
А на нашей, как в море, одна синева,
Вот так карта, приятно взглянуть!»

(Л. Кэрролл. Охота на Снарка)

Конечно, ум не может предписывать самому себе те правила и формы, по которым он познает мир.

Но, скажут, есть все-таки настоящая прямая, т.е. по учебнику геометрии [евклидовой]. – В том то и дело, что такая постановка возражения лишена смысла: прямая не есть вещь, а – наше понятие о действительности. И если мы не можем раскрыть конкретное содержание этого понятия, объем же применения его равен нулю, то такого понятия нет...

(П.А. Флоренский. Анализ пространственности и времени в художественно-изобразительных произведениях, с. 16-17)

Однако Кант считал положения евклидовой геометрии самоочевидными, то есть внутренне присущими человеческому мышлению. Открытие в начале XIX века внутренне непротиворечивых неевклидовых геометрий (Н.И. Лобачевский, Я. Больяи, К. Гаусс) и разработка Б. Риманом более общего подхода к геометрии, включавшего как евклидову, так и неевклидовы геометрии как частные случаи, нанесло серьезный удар по таким взглядам. Встал вопрос о геометрии реального пространства. При этом Лобачевский, Гаусс и Риман считали, что этот вопрос должен в конечном счете решаться экспериментально; Гаусс даже проводил прецизионные геодезические измерения с целью проверки теоремы евклидовой геометрии о равенстве суммы углов треугольника двум прямым. Разумеется, при таком подходе прямая воспринимается как нечто существующее в реальности. Действительно, в практике геодезических и астрономических измерений отрезками прямых считаются траектории светового луча в пустоте или в однородной прозрачной среде; да и прямизна обычных линеек тоже проверяется «на свет». Другой привяз-

кой геометрии к опыту служит некоторое утверждение относительно твердых тел, а именно:

Твердые тела ведут себя в смысле различных возможностей взаимного расположения, как тела евклидовой геометрии трех измерений; таким образом, теоремы евклидовой геометрии содержат в себе утверждения, определяющие поведение практически твердых тел.

(А. Эйнштейн. *Собр. науч. трудов, т. 2, с. 85*)

Если бы не было твердых тел в природе, не было бы и геометрии.

(А. Пуанкаре. *О науке, с. 48*)

Впрочем, подход А. Пуанкаре к геометрии отличался в одном важном отношении от изложенного выше. Согласно Пуанкаре, любая геометрия – чисто логическая конструкция, экспериментальной проверке всегда подлежит лишь совокупность «геометрия+физика». Так, если бы Гаусс в своих геодезических измерениях обнаружил отклонения от геометрии Евклида (чего в действительности не произошло), мы все равно могли бы сохранить последнюю в неприкосновенности, изменив законы оптики, то есть отказавшись от закона прямолинейного распространения света в однородной прозрачной среде.

Если мы теперь обратимся к вопросу, является ли евклидова геометрия истинной, то найдем, что он не имеет смысла. Это было бы все равно, что спрашивать, какая система истинна – метрическая или же система со старинными мерами, или какие координаты вернее – декартовы или же полярные. Никакая геометрия не может быть более истинна, чем другая; та или иная геометрия может быть только более удобной.

(А. Пуанкаре. *О науке, с. 41*)

Логически это неопровержимо. Однако так как здесь речь идет не о статусе математики как науки, а о реально существующем пространстве, мы не будем обсуждать эту возможность как относящуюся не к свойствам пространства, а лишь к их интерпретации.

В философии, как и в науке, остро ставится проблема конечности/бесконечности мира.

Я вижу эти ужасающие пространства вселенной, которые заключают меня в себе, я чувствую себя привязанным к одному уголку этого обширного мира... Я вижу со всех сторон только бесконечности, которые заключают меня как атом, я

как тень, которая продолжается только момент и никогда не возвращается.

(Б. Паскаль. Мысли)

Казавшиеся когда-то революционными идеи о бесконечном пространстве сейчас представляются слишком простыми.

Допустим, ... что мир *бесконечен и только бесконечен*. Если что-нибудь не имеет конца, – след., оно не имеет границы и формы. Если что-нибудь не имеет границы и формы, это значит, что оно ничем *не отличается от всего прочего*. Но если оно ничем не отличается от всего прочего, то, следовательно, невозможно установить, существует ли оно вообще, или нет. Итак, если *мир бесконечен, то это значит, что ровно никакого мира не существует*. Нигилизм Нового времени так, в сущности, и думает. Восхвалять бесконечность миров заставляло тут именно желание убить всякий мир; и католичество, которое хотело спасти живой и реальный мир, имело полное логическое (разумеется, только! – В.И., М.К.) право сжечь Дж. Бруно.

(А.Ф. Лосев. Диалектика мифа)

Критика картезианского геометрического понятия пространства содержится и в трудах Р. Генона.

Сама протяженность не может исключительно сводиться к количеству, ... что очень важно для обнаружения несостоятельности картезианского «механизма» и других физических теорий, которые в ходе времени более или менее из него следуют ... Для того, чтобы пространство было чисто количественным, надо, чтобы оно было чисто гомогенным и чтобы его части различались между собой только по абсолютной величине; это привело бы к предположению, что оно есть лишь содержащее без содержимого...

(Р. Генон. Царство количества и знаменья времени, с. 33)

Психологическое понятие о пространстве может существенно отличаться от геометрического. М. Мамардашвили пишет о «психологической топологии» (буквально топология – наука о месте), которая определяет расстояние между людьми и событиями. При этом тесно связанными оказываются явления жизни, далеко расположенные геометрически, а логическая последовательность событий, происходящих с данным человеком, оказывается как бы предопределенной. Здесь может быть проведена формальная аналогия с траекториями в фазовом пространстве, которые, как известно из классической механики, никогда не пересекаются.

Вернемся теперь к той роли, которую играет пространство в различных разделах физики. Исторически первая последовательная физическая теория, механика Ньютона, базируется на представлении об абсолютном пространстве, играющем роль некоторой «арены», на которой происходят все физические процессы.

Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему и всегда остается одинаковым и неподвижным. Относительное есть его мера или какая-либо его ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел, которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное.

(И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. Пер. А.Н. Крылова, Пг., 1915, с. 33)

Взаимодействие тел осуществляется непосредственно на расстоянии через это абсолютное пространство. Такой подход, будучи необычайно успешным в формальном отношении (до поры до времени), резко противоречит традиционным представлениям о взаимодействии тел как исключительно локальном (контактном) явлении, и в действительности не удовлетворял самого Ньютона.

Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врожденным свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие и силу, — это, по-моему, такой абсурд, который немислим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах. Тяготение должно вызываться агентом, постоянно действующим по определенным законам. Является ли, однако, этот агент материальным или не материальным, решать это я предоставлю моим читателям.

(И. Ньютон. Письмо к Бентли, цит. по: Б.И. Спасский, История физики, т. 1, М., Высшая школа, 1977, с. 145)

Аналогии идеи о существовании активной среды можно найти и в восточных священных текстах (см. также эпиграф к разделу).

Тогда Гарги Вачакнави стала спрашивать его. «Яджнавалкья, — сказала она, — все здесь выткано вдоль и поперек на воде. На чем же выткана вдоль и поперек вода?» «На ветре, Гарги». «А на чем же выткан вдоль и поперек ветер?» —

«На мирах воздушного пространства, Гарги». «А на чем же вытканы вдоль и поперек миры воздушного пространства?» ... (миры гандхарвов, солнца, луны, звезд, богов, Индры, Праджapati, Брахмана)... «А на чем же вытканы вдоль и поперек миры Брахмана?» Он сказал: «Гарги, не спрашивай слишком много, чтобы у тебя не отвалилась голова. Ты слишком много спрашиваешь о божественном, о котором нельзя спрашивать слишком много. Гарги, не спрашивай слишком много». И тогда Гарги Вачакнави умолкла.

...«Кто знает эту нить и внутреннего правителя, тот знает Брахмана, тот знает богов, тот знает веды, тот знает существ, тот знает Атмана, тот знает все ... И если ты, Яджнавалкья, увел брахманских коров, не зная этой нити и этого внутреннего правителя, то у тебя отвалится голова». «Я знаю, Гаутама, эту нить и этого внутреннего правителя». «Всякий может сказать: Я знаю, я знаю. Расскажи то, что ты знаешь». «Поистине, Гаутама, эта нить – ветер. Поистине ветром, Гаутама, [словно] нитью, связаны и этот мир, и тот мир, и все существа».

(Брихадараньяка упанишада)

Основанный на отказе от понятия дальнего действия, т.е. «полевой» подход к взаимодействию тел, отстаивавшийся, в частности, Декартом, не мог быть развит в XVII в. в последовательную теорию из-за отсутствия как экспериментальных фактов, так и соответствующего математического аппарата – дифференциальных уравнений в частных производных. Соответствующая картина мира была разработана в XIX веке (главным образом, усилиями М. Фарадея и Дж.К. Максвелла) в связи с изучением электрических и магнитных явлений и получила определенное завершение уже в XX веке в общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна, который смог формально решить поставленную Ньютоном задачу, создав теорию гравитационного поля без понятия дальнего действия. Интересно, что современная индийская философия легко осмысляет все это в своих категориях:

За явлением гравитации ... стоит то, что древние йоги называли *Вайю* (божество ветра!), – причина гравитации и магнитных полей... За солнечным или ядерным огнем обретается *Агни* (бог огня) фундаментальный, духовный *Агни*, он повсюду. ... Это «горячая золотая пыль», ... истинная причина по ту сторону следствия, изначальная сила по ту сторону материальной, атомарной основы.

*(Сатпрем. Шри Ауробиндо
или Путешествие сознания, с. 282)*

Как обычно, данная символика не ограничена национальной традицией.

Скажи мне, чертежник пустыни,
Сыпучих песков геометр,
Ужели безудержность линий
Сильнее, чем дующий ветер?

(О. Мандельштам)

Напомним здесь слова Платона – «Бог – геометр».

Появление ОТО означало также существенное изменение естественно-научных представлений о пространстве, а также о времени.

Довольно долго пространство оставалось в сознании физиков лишь пассивным хранилищем бытия, не принимавшего никакого участия в физических процессах. Новый поворот в развитии понятия пространства наступил лишь с появлением волновой теории света и теории электромагнитного поля Фарадея-Максвелла. Выяснилось, что в пространстве, свободном от материальных тел, существуют состояния, распространяющиеся в виде волн, а также локализованные поля, способные оказывать силовое воздействие на помещенные в них электрические заряды или магнитные полюса. Поскольку физикам XIX столетия казалось совершенно абсурдным приписывать физические функции или состояния самому пространству, то по образцу весомой материи была придумана пронизывающая все пространство среда – эфир, предполагаемый носитель электромагнитных и световых процессов. Состояния этой среды, которые должны были отвечать электромагнитному полю, строились сначала чисто механически по образцу упругих деформаций в твердых телах. Однако полностью построить механическую теорию эфира не удавалось, и постепенно все привыкли отказываться от выяснения природы эфирных полей. Так эфир превратился в субстанцию, обладавшую единственной функцией, – служить носителем электрических полей, природа которых не поддавалась дальнейшему анализу. Возникла следующая картина: пространство заполняется эфиром, в котором плавают материальные частицы или атомы весомой материи; атомистическая структура последней уже была с достоверностью установлена наукой как раз к концу XIX века.

(А. Эйнштейн. *Собр. науч. трудов, т. 2, с. 278*)

Иными словами, изучения электрических и магнитных явлений привели к выводу о возможности существования электромагнитного поля в пустоте и об отождествлении света с электро-

магнитными волнами. При этом радикально меняется картина взаимодействия между зарядами: первый заряд порождает электромагнитное поле в некоторый момент времени, оно распространяется с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме, через конечное время достигает второго заряда и оказывает воздействие на характер его движения. Дальнейшее как таковое оказывается исключенным из физики. Пространство уже не рассматривается как нечто инертное и лишенное свойств, а представляется заполненной некой всепроникающей средой с особыми свойствами – эфиром; возмущения этой среды и есть электромагнитные волны. В то же время попытки построить конкретную механическую модель эфира, игравшие очень большую эвристическую роль в процессе построения Максвеллом классической электродинамики, привели к постулированию столь странных свойств эфира, что в конце концов потеряли всякий смысл: представить себе существование среды с системой отсчета. Это можно пояснить с помощью простой аналогии. В ньютоновской механике относительно движение тел в пустоте, но не в среде! Скажем, акустические явления протекают по-разному при движении источника звука и при движении его приемника, при том, что относительная скорость источника и приемника может быть одинакова в обоих случаях. Дело в том, что для звука существует выделенная система отсчета – та, в которой воздух покоится. Аналогично в электродинамике Максвелла-Лоренца существовала выделенная система отсчета – та, где покоится эфир. Однако многочисленные эксперименты, поставленные с целью обнаружить эффекты движения Земли относительно эфира, неизменно давали отрицательный результат. В конце концов это привело к формулировке (независимо А. Эйнштейном и А. Пуанкаре) специального принципа относительности – утверждения о невозможности обнаружить абсолютное движение никакими экспериментами. В результате эфир оказался ненаблюдаемым, и его понятие было изгнано из физики (хотя оно продолжает играть большую роль в восточных философских системах). При этом пришлось радикально пересмотреть старые понятия о пространстве и времени. В теории относительности они формируют единый четырехмерный континуум, в котором со временем связана четвертая мнимая (в математическом смысле!) координата. Это утверждение на самом деле носит достаточно формальный характер, и никто никогда не понимал его в смысле физической тождественности временной и пространственных координат. Имеет место очень

важное разделение между событиями, связанными *временноподобными интервалами* (это означает, что существует такая система отсчета, в которой события происходят в одной и той же точке пространства) и *пространственноподобными интервалами* (это означает, что существует такая система отсчета, в которой события происходят в один и тот же момент времени); причинно связанными между собой могут быть только события первого типа. Различие между временноподобными и пространственноподобными интервалами является абсолютным и играет в теории относительности ту же роль, что и между временем и длиной в ньютоновской физике.

Важным выводом теории относительности является утверждение о том, что скорость света в вакууме – предельная скорость распространения *любых* взаимодействий в природе. Таким образом, теория относительности принципиально исключает мгновенное дальноедействие. Нелишне отметить, что это положение столь прочно укоренено в основах современной физики, что любые попытки строить, скажем, теории мгновенно действующего «биополя» для объяснения парапсихологических явлений по образцу «нормальной» физической теории поля следует признать несостоятельными. Мы не обсуждаем здесь вопрос о реальном существовании такого дальногодействия, а хотим лишь подчеркнуть, что язык современной физики, безусловно, не приспособлен для описания соответствующих феноменов, если они существуют (здесь уместно еще раз напомнить о введенном Юнгом различии между причинностью и синхронистичностью).

Из существования предельной скорости распространения взаимодействий следует *несуществование* абсолютно твердых тел, так как последнее, по определению, должно перемещаться лишь жестко, т.е. как единое целое. Но воздействие на какую-либо точку этого тела способно дойти до другой ее точки лишь за конечное время; в течение этого времени первая точка пройдет какое-то расстояние, а вторая останется неподвижной, то есть тело неизбежно деформируется. В то же время выше подчеркивалось, что гипотеза о существовании твердых тел лежит в основе геометрии. Таким образом, Эйнштейн пришел к выводу, что пространство-время может описываться лишь такой геометрией, которая имеет дело с *локальными* характеристиками. Такая геометрия была построена еще в XIX веке Риманом и описывает пространство, свойства которого изменяются от точки к точке по определенным законам. В частности, может меняться *кривизна* этого пространства. Грубо говоря, геометрия

может быть близка к евклидовой, если рассматривать свойства достаточно маленьких фигур в одной части пространства, быть похожей на геометрию Лобачевского в некоторой другой области, быть подобной геометрии на поверхности сферы где-то еще, и т.д. В инерциальной системе отсчета геометрия пространства-времени евклидова (точнее, *псевдоевклидова* из-за мнимости временной координаты). Но мы не можем знать, инерциальна ли наша система отсчета как целое – мы знаем лишь то, что происходит здесь и сейчас. А в малых областях пространства движение по инерции неотлично от свободного падения под действием тяготения (явление невесомости). Следовательно, пространство и время оказываются «перепутанными» с явлениями тяготения (гравитации), что и составляет суть общей теории относительности Эйнштейна.

Согласно ОТО, гравитация – это искривление пространства-времени. Наглядно можно представить себе пространство и время в виде туго натянутой пленки с координатными и временными осями (в четырехмерном псевдоевклидовом пространстве, так что наглядность тут относительна). Любое материальное тело деформирует пленку, а другое тело «скользит» по этой деформированной пленке, и это и есть всемирное тяготение. Теория тяготения Ньютона формально может быть выведена из этой картины как предельный случай слабой гравитации и медленных движений (с небольшими поправками, которые приводят к таким наблюдаемым эффектам, как смещение перигелия Меркурия, отклонение лучей света вблизи поверхности Солнца, и др.), однако сам дух теории тяготения Эйнштейна совершенно иной – это типичная теория близкодействия. Для нашей темы наиболее важно, что уравнения гравитационного поля Эйнштейна связывают характеристики пространства-времени с распределением и движением материи (еще более радикальный подход предполагает так называемый принцип Маха, согласно которому *все* законы физики определяются распределением материи во Вселенной; впрочем, сыграв лишь роль «строительных лесов» при создании ОТО, он не входит в современную физическую картину мира).

Идея независимого существования пространства и времени может быть выражена следующим образом: если бы материя исчезла, то осталось бы только пространство и время (как своего рода сцена, на которой разыгрываются физические явления). Эта точка зрения была преодолена в результате возникновения новых идей... Таким образом, Декарт был

не так уж далек от истины, когда полагал, что существование пустого пространства должно быть исключено. Эта точка зрения казалась абсурдной до тех пор, пока физическую реальность видели исключительно в весомых телах. Потребовалась идея поля как реального объекта в комбинации с общим принципом относительности, чтобы показать истинную сущность идеи Декарта: не существует пространство, «свободное от поля».

(А. Эйнштейн. Собр. науч. трудов, т. 2, с. 750, 758)

Такое понимание пространства имеет некоторые аналогии с точкой зрения традиционализма (если обращать внимание не на оценку идей Декарта, а на содержательную сторону утверждений).

Возражение, что в исходной точке этой теории [Декарта] лежит «пустое пространство», не имеет силы, так как, во-первых, это приводит нас к концепции содержащего без содержимого, и к тому же пустота не имела бы в нашем проявленном мире никакого места, поскольку она сама не есть возможность проявления, и во-вторых, поскольку Декарт сводил природу тел целиком к протяженности, то он должен был полагать, что их присутствие ничего не добавляет в действительности к тому, что есть протяженность сама по себе...

Действительно, однородное пространство вовсе не имеет никакого существования в собственном смысле слова, так как оно есть не более, чем полная виртуальность.

(Р. Генон. Царство количества и знаменья времени, с. 34, 37)

Тесное переплетение свойств пространства и времени со свойствами гравитации в ОТО привело Эйнштейна к идее, что на более глубоком уровне существует связь пространства-времени и с другими фундаментальными физическими полями, то есть к программе геометризации физики, которой он посвятил последние 30 лет своей жизни. Хотя те конкретные варианты «единой теории поля», которые он разрабатывал, не были успешными, сама программа оказалась чрезвычайно плодотворной. До некоторой степени она реализована в современной теории «калибровочных полей», которую действительно можно понимать как геометрию в некотором фиктивном пространстве (см. популярную книгу Р. Утияма. К чему пришла физика. М., Знание, 1986). Сейчас перед физикой стоит задача объединения

всех фундаментальных взаимодействий, включая гравитацию. На эту роль претендует, в частности, теория суперструн (см. П.Девис. Суперсила. М., Мир, 1985). Некоторые ее выводы, касающиеся природы пространства, поистине революционны (в частности, из нее следует, что пространство и время должны иметь не менее шести дополнительных переменных, которые, однако, «компактифицированы», то есть свернуты в кольцо длиной порядка 10^{-33} см). Существование только трех «макроскопических» пространственных измерений в нашем мире (или наблюдаемой части Вселенной) может быть связано с антропным принципом: при меньшем числе измерений жизнь была бы невозможной, при большем – планетные системы стали бы неустойчивыми. Впрочем, широкое обсуждение этих результатов представляется преждевременным, в силу практически полной оторванности теории суперструн от реального физического эксперимента.

Кто восходил на небо и нисходил? кто собрал ветер в пригоршни свои? кто завязал воду в одежду? кто поставил все пределы земли? какое имя ему? и какое имя сыну его? знаешь ли?

(Притчи 30:4)

5.2 Пространство и сознание человека

Поистине, сколь велико это пространство, столь велико и пространство внутри сердца.

(Чхандогья упанишада 8.1)

Что я скажу про беспредельность мира?

Поймешь меня иль не поймешь?

Скажу я: «Мир во мне» – позор для мира,

«Мир вне меня», но это ложь.

(Кабир)

Как и достижения квантовой механики, изучение Вселенной ведет сегодня некоторых ученых к осмыслению роли сознания человека. По словам В.И. Вернадского, космос проходит через сознание живого существа. В современной научной литературе можно найти такие мысли:



Не исключено, конечно, что наши представления о сознании в ближайшие десятилетия не потерпят подобных (имеется в виду единая теория взаимодействий) изменений. Однако опыт работы с квантовой космологией учит, что постановка задачи, которая на первый взгляд кажется совершенно метафизической, иногда при дальнейшем рассмотрении приобретает реальный смысл и может иметь большое значение для развития науки... Не может ли быть так, что сознание, как и пространство-время, имеет свои собственные степени свободы, без учета которых описание Вселенной будет принципиально неполным? Не окажется ли при дальнейшем развитии науки, что изучение Вселенной и изучение созна-

ния неразрывно связаны друг с другом и что окончательный прогресс в одной области невозможен без прогресса в другой? После создания единого геометрического описания слабых, сильных, электромагнитных и гравитационных взаимодействий не станет ли следующим важнейшим этапом развитие единого подхода ко всему нашему миру, включая и внутренний мир человека?... Задавая подобные вопросы, человек как бы сознается в своем непонимании простейших фактов обыденной жизни и к тому же иногда вторгается в область, которая может показаться не относящейся к позитивному знанию. Гораздо легче убедить себя, что таких вопросов не существует, что они по какой-то причине незаконны или что кто-то уже давно дал на них ответ. Вероятно, было бы лучше... честно признаться, что проблема сознания, так же как и связанная с ней проблема жизни и смерти человека, не только не решена, но на фундаментальном уровне почти совершенно не изучена.

(А.Д. Линде. Физика элементарных частиц и инфляционная космология, с. 248)

Хотя слова «позитивное знание» и «фундаментальный» понимаются здесь в обычном для западной науке «светском» смысле, в целом изменение позиций по сравнению с последней очевидно. Таким образом, в этом вопросе вновь актуально сопоставление с традиционными представлениями.

В отличие от физического (мирского) пространства, священное пространство имеет центр, с которого начинается творение мира и где наш мир пересекается с иными измерениями.

Иаков же вышел из Вирсавии и пошел в Харран, и пришел на одно место, и остался там ночевать, потому что зашло солнце. И взял один из камней того места, и положил себе изголовьем, и лег на том месте. И увидел во сне: вот, лестница стоит на земле, а верх ее касается неба; и вот, Ангелы Божии восходят и нисходят по ней. ...Иаков пробудился от сна своего и сказал: истинно Господь присутствует на месте сем; а я не знал! И убоился и сказал: как страшно сие место! это не иное что, как дом Божий, это врата небесные. И встал Иаков рано утром, и взял камень, который он положил себе изголовьем, и поставил его памятником, и возлил елей на верх его.

(Бытие 28:10-18, ср. Ин. 1:51)

Открытие священного пространства позволяет обнаружить «точку отсчета», сориентироваться в хаотичной однородности, «сотворить Мир» и жить в нем реально. Напротив, мир-

ское восприятие пространства поддерживает однородность, а следовательно, относительность пространства.

(М. Элиаде. Священное и мирское, с. 23)

В индийской традиции центр мира символизируется горой Меру либо, в ритуальной практике – жертвенным костром, а в западной традиции – чаще всего Иерусалимом и его храмом (в христианстве также – крест на Голгофе, в исламе – черный камень Кааба).

Вот закон храма: на вершине горы все пространство его вокруг – Святое Святых; вот закон храма!

(Иезекииль 43:12, ср. Ин. 4:20-24)

Во внутреннем пространстве человека центру мира соответствует сердце. Он изображается точкой пересечения линий креста (четырехконечного на плоскости, шестиконечного в трех измерениях). Рассмотренная символика часто фигурирует в художественной литературе.

Все говорят: Кремль, Кремль. Ото всех слышу я про него, а сам ни разу не видел. Сколько раз уже (тысячу раз), напившись или с похмелью, проходил по Москве с севера на юг, с запада на восток, из конца в конец, насквозь и как попало – и ни разу не видел Кремля... Это у меня всегда так, когда я ищу Кремль, я неизменно попадаю на Курский вокзал... Кремль сиял передо мною во всем великолепии. Я хоть и слышал уже сзади топот погони, успел подумать: «...И вот теперь увидел – когда Курский вокзал мне нужнее всего на свете» ...И, как я ни защищался, они пригвоздили меня к полу...

(Вен. Ерофеев. Москва-Петушки)

Еще одна иллюстрация, относящаяся к внутреннему смыслу:

В Триле, где я вырос, мы узнаем тайну Троицы в природе. Простирающийся перед нами мир имеет три измерения. Длина это линия, отделяющая сущее от несущего. Ширина это поверхность, показывающая, каким образом одна вещь сущего уживается с другой. Глубина это тропа, ведущая от сущего к нашему собственному телу.

(Д. Линдсей. Путешествие к Арктуру, СПб, 1993)

О «четвертом измерении» – глубине – говорит и апостол Павел.

Да даст вам, по богатству славы Своей, крепко утвердиться Духом Его во внутреннем человеке, верою вселиться Христу в сердца ваши, чтобы вы, укорененные и утвержденные в

любви, могли постигнуть со всеми святыми, что широта и долгота, и глубина и высота, и уразуметь превосходящую разумение любовь Христову, дабы вам исполниться всею полнотою Божиею.

(К Ефесеям 3:16-19)

Религиозная трактовка пространства проявляется в иконографии. Например, подробное обсуждение «обратной перспективы» дано П. Флоренским – расходясь вглубь иконы, линии пространства выделяют его центр, который лежит по нашу сторону от изображения.

В восточных учениях понятие пространства имеет гораздо более широкий смысл, чем физический, и тесно связано с сознанием человека и психологией.

Когда люди свернут пространство словно кожу, тогда [и] без распознавания Бога наступит конец [их] страданиям.

(Шветашватара упанишада)

Ограждающий уступал Поднебесную Умеющему Свернуть-ся, а тот молвил:

– Я стою в центре пространства, в центре времени. Зимой одеваюсь в шкуры, летом – в тонкую ткань из травы. Весной пашу и сею, даю телу потрудиться, осенью собираю урожай, даю телу отдохнуть. С восходом начинаю трудиться, с заходом – отдыхать. Среди неба и земли [мне] привольно, в сердце, в мыслях – доволен собой. Что мне делать с Поднебесной? Увы! Плохо ты меня знаешь.

Отказавшись [от Поднебесной], тут же ушел, удалился далеко в горы, а куда – неведомо.

(Чжуанцзы. Передача Поднебесной)

Лецзы передвигался, управляя ветром, спокойно и искусно десять и еще пять дней, а затем возвратился. Он достиг высшего счастья, таких немного найдется. Хотя [он] мог обойтись без ходьбы, но все же [в передвижении] от чего-то зависел. А разве придется от чего-то зависеть, если оседлать сущность природы, управлять развитием [всех] шести явлений (жара, холода ... – разумеется не только снаружи – В.И., М.К.), чтобы странствовать в беспредельном?

(Чжуанцзы)

Особенно важную роль понятие пространства играет в буддизме.

– Почтенный Нагасена, ты сказал, что [йогу, занимающемуся йогой] следует взять пять качеств пространства. Каковы эти пять качеств?

– Пространство ни с какой стороны захватить нельзя... Пространство освоено провидцами, подвижниками, божествами и стаями птиц... Пространство внушает страх... Пространство бесконечно, безмерно, неизмеримо... Пространство ни к чему не льнет, ни с чем не связано, ни на чем не основано, ни с чем не спутано.

(Вопросы Милинды).

Идея об открытии новых пространств ... коренится в глубоко ощущаемой потребности найти альтернативу чувству ограничения и заточения, которое каждый из нас испытывает в повседневной жизни. Если мы воспользуемся новыми «фокусными установками» и увидим, как они работают, мы можем прийти к всеобъемлющему пониманию, которое само есть определенный вид пространства. ... Пространство не только выше и за пределами нас; оно внутри нас и окружает нас. Объекты никогда в действительности не являются «застывшими, затвердевшими». Как внутри, так и снаружи объектов есть пространство, место для деятельности, и таким образом объекты подвижны даже в существовании.

(Тартанг Тулку. Время, пространство, знание)

Приведем теперь цитаты из Библии, связанные с психологией понятия пространства и духовного пути:

Море расположено в пространном месте, чтобы быть глубоким и безмерным; но вход в него находится в тесном месте, так что подобен рекам. ... Кто пожелал бы войти в море и видеть его, или господствовать над ним, тот, если не пройдет тесноты, как может дойти до широты? Для них Я сотворил век; но когда Адам нарушил Мои постановления, определено быть тому, что сделано. И сделались входы века сего тесными, болезненными, утомительными, также узкими, лукавыми, исполненными бедствий и требующими великого труда (ср. с Мф. 7:13-14). А входы будущего века пространны, безопасны, и приносят плод бессмертия. ... Праведники потерпят тесноту, надеясь просторного, а нечестиво жившие, хотя потерпели тесноту, не увидят просторного.

(3 кн. Ездры 7:3-18)

Еще: иной, собираясь плыть и переплывать свирепые волны, призывает на помощь дерево, слабейшее носящего его корабля; ибо стремление к приобретениям выдумало оный, а художник искусно устроил, но промысл Твой, Отец, управляет кораблем, ибо Ты дал и путь в море и безопасную стезю в волнах, показывая, что Ты можешь от всего спасти, хотя бы кто отправлялся в море и без искусства. ... Благословен-

но дерево (символика ковчега, креста и т.д.!), чрез которое бывает правда!

(Премудрость Соломона 14:1-7).

И превратится призрак вод в озеро, и жаждающая земля – в источники ... И будет там большая дорога, и путь по ней назовется путем святым: нечистый не будет ходить по нему; но он будет для них одних; идущие этим путем, даже и неопытные, не заблудятся.

(Исаия 35:7-8)

Символика моря (нижние воды, подсознательное, бури и волнения душевной жизни, ср. с буддийским потоком бытия) поясняется, например, в отрывке из Генона, где делается и предупреждение об опасности «мистических» погружений:

У нас уже был случай говорить о символизме посвящения «мореплавания», осуществляющегося через Океан, который представляет собой психическую область, когда речь идет о ее пересечении, избегая всех опасностей ради достижения цели; но что можно сказать о том, кто бросается в этот Океан, не имея другого стремления, кроме как утонуть в нем? Именно это, и очень точно, означает так называемое «слияние» с космическим сознанием, которое на самом деле есть ничто иное, как ансамбль, спутанный и не поддающийся различению, всех психических влияний, которые, хотя некоторые могут воображать себе иное, абсолютно ничего общего, конечно, не имеют с духовными влияниями, даже если и случается, что они более или менее сходны с некоторыми из их внешних проявлений (так как это область, где «подделка» осуществляется во всей своей полноте, и именно потому эти «феноменальные» проявления сами по себе никогда ничего не доказывают и могут быть совершенно похожими как у святого, так и у колдуна). Совершающие эту фатальную ошибку просто забывают или игнорируют различие между «высшими Водами» и «низшими Водами»; .. вместо того, чтобы сконцентрировать свои усилия, направив их к неформальному миру, они рассеивают их в неопределенном, меняющемся и текучем разнообразии форм тонкого проявления..., не подозревая того, что принимаемое ими за полноту «жизни» в действительности есть только царство смерти и безвозвратного распада.

(Р. Генон. Царство количества и знамена времени, с. 247-248)

Различные буддийские тексты, такие как Тибетская книга мертвых, История Чойджид-дагини (М., Наука, 1990), и христи-

анские апокрифы также содержат богатую информацию о мистическом и посмертном опыте.

Когда остановится твое дыхание, тебе явится то, что тебе показал твой учитель, что называют исходной яркостью первого бардо. Это абсолютная суть бытия; открытая и свободная, как пространство, светящаяся пустота; чистый обнаженный ум без центра и границ. Познавай же, пребывая в этом свете...

(Тибетская книга мертвых)

В христианских источниках часто говорится о восхождении по воздушным мирам:

Устранив третью власть, душа поднялась выше и увидела четвертую власть в семи формах. Первая форма – это тьма; вторая – вожделение; третья – незнание; четвертая – смертная ревность; пятая – царствие плоти; шестая – лукавство плоти; седьмая – яростная мудрость. Это семь господств гнева. Они вопрошают душу: «Откуда идешь ты, убивающая людей?» – или: «Куда направляешься ты, поглощающая пространства?»

(Евангелие от Марии)

В связи с современными психологическими исследованиями и широким обсуждением в печати парапсихологических феноменов типа НЛО все большее внимание привлекает вопрос о «ненаучных» аспектах строения нашего мира: существовании нефизических параллельных пространств и т.д. Упоминания множественности миров можно найти в Библии:

В доме Отца моего обителей много.

(Ин 14:2)

Бог, многократно и многообразно говоривший издревле отцам в пророках, в последние дни сии говорил нам в Сыне, Которого поставил наследником всего, чрез Которого и миры (зоны; это слово может также означать индивидуальные существа; в синодальном переводе неточно – веки) сотворил.

(К Евреям 1:1-2)

По Корану, Аллах – господин миров; в священной книге сикхов Ади-Грантх сказано:

Из нижних миров и небес создал Он миров миллионы;
Выбиваются люди из сил в стремлении всех их освоить.

В силу сложности современных представлений о пространстве, эта тема возникает и в научной литературе.

...За счет квантовых эффектов Вселенная может расщепиться на несколько топологически несвязанных, но глобально взаимодействующих друг с другом частей. Подобные процессы могут произойти в любой точке нашей Вселенной...

(А.Д. Линде, цит. книга, с. 256)

Как обычно, онтологический аспект имеет соответствия в мире людей, что важно для гуманитарных наук.

В каждом человеке существует его собственная космология, и кто может заявить, что лишь его теория правильна?

(А. Эйнштейн)

Отмечая плюрализм и широту воззрений современной физики после открытий Эйнштейна (в этом он, пожалуй, ее переоценивает), известный литературовед М.Бахтин призывает к такому же подходу в оценке художественного творчества:

Множественность самостоятельных голосов и сознаний, подлинная полифония полноценных голосов действительно является основной особенностью романов Достоевского. Не множество характеров судеб в едином объективном мире в свете единого авторского сознания разворачиваются в его произведениях, но именно множественность равноправных сознаний с их мирами сочетается здесь, сохраняя свою неслиянность, в единство некоторого события.

(М. Бахтин. *Проблемы поэтики Достоевского*. М., 1979, с. 6)

По буддийской Абхидхарме, имеется огромное количество психокосмических миров, большинство из которых являются нечеловеческими (см. также книги Кастанеды).

Тысяча четырех континентов, лун, солнц, местопребываний богов чувственных [сфер] и миров Брахмы рассматривается как малая [вселенная, состоящая] из тысячи [миров]. Тысяча таких малых вселенных – это средняя вселенная, состоящая из двух тысяч миров. Тысяча таких [средних] вселенных... – это вселенная, состоящая из трех тысяч великой тысячи миров. Все эти [вселенные] разрушаются и возникают одновременно.

В то же время в Алмазной Сутре сказано:

О Превосходнейший в мире, когда Так Приходящий проповедовал о трех тысячах больших миров, то это были миры, это и именуют мирами. И по какой причине? Если

бы миры в действительности существовали, то это был бы «образ их гармонии в единстве». Когда Так Приходящий проповедовал об «образе их гармонии в единстве», то он не был «образом их гармонии в единстве». Это и называют «образом их гармонии в единстве». – Субхути, «образ их гармонии в единстве» является тем, о чем нельзя проповедовать, однако обыкновенные люди алчны до всех таких дел.

В буддизме и индуизме различают чувственный мир, мир форм и мир без форм, которые соответствуют различным уровням медитативной практики, в платонизме обсуждается мир первичных абстрактных идей.

О множественности и даже бесконечном числе миров писали эпикурейцы и их последователи, включая Джордано Бруно. С другой стороны, Платон пишет о недопустимости раздробления мира в «Тимее» (31 a-b):

Однако правы ли мы, говоря об одном небе, или вернее было бы говорить о многих, пожалуй даже неисчислимо многих? Нет, оно одно, коль оно создано в соответствии с первообразом. Ведь то, что объемлет все умопостигаемые живые существа, не допускает рядом с собой иного; в противном случае потребовалось бы еще одно существо, которое охватывало бы эти два и частями которого бы они оказались, и уже не их, но его, их вместившего вернее было бы считать образцом для космоса.

Аналогичные рассуждения есть у отцов Церкви. По толкованию евангельской притчи (Лк. 15:3-7) св. Григорием Нисским, наш мир – это сотая потерянная овца, которая важнее остальных 99 овец, оставленных на высотах, т.е. духовных миров. Согласно каббалистическим представлениям (см. А.Штейнзальц. Роза о тринадцати лепестках), наш мир составляет лишь малую часть обширной системы тесно взаимодействующих миров. В то же время он является отражением и перекрестком всех иных миров, нефизические сущности которых вынуждены приспособливаться к его пространственно-временной ограниченности, и любое действие в материальном мире оказывает большее влияние на все мироздание, чем в духовных. Приведем также комментарий из иудейского мидраша к третьей главе книги Бытия, который также может здесь служить хорошим предупреждением:

И начал змей хулить Господа, говоря: «Он сам вкусил от этого дерева – и создал мир. А вам, людям, сказал: «Не ешьте от него», ибо опасался, чтобы вы не стали тоже творить миры.

В науке гипотеза множественности миров обсуждается при формулировке «сильного» антропного принципа, согласно которому в разных вселенных или частях нашей Вселенной могут действовать разные физические законы (подробнее см. раздел 6.3). Такая гипотеза вводится и в упомянутой в гл. 2 «многомировой» интерпретации квантовой механики Эверетта и др., согласно которой каждый акт измерения «расщепляет» мир на бесконечное число новых миров, так что пространство состояний оказывается гораздо шире, чем наблюдаемое физическое пространство. Как подробно обсуждалось в гл.2, каждое квантовое измерение «запирает» систему в некотором подпространстве состояний в соответствии с определенным результатом измерения. В многомировой интерпретации все остальные результаты измерения тоже «имеют место» в некоторой расширенной Вселенной. В современной научной литературе такая интерпретация иногда связывается с определяющей ролью мозга и сознания (many-minds interpretation, см., напр., H.D. Zeh. The Problem of Conscious Observation in Quantum Mechanical Description, Found.Phys.Lett., v.13, p.221 (2000)). При этом мозг рассматривается как квантовая система, исходно находящаяся одновременно в бесконечном числе состояний. Внешняя Вселенная, играя роль диссипативного окружения, «запирает» мозг и сознание в определенной «картине мира». С этой точки зрения возможности и события, не реализованные в нашем мире, могут быть сопоставлены с часто имеющим место «ложным» ясновидением.

Картография «внутренних миров» человека была экспериментально исследована в работах американского психиатра Станислава Грофа (см. также Дж. Лилли. Центр циклона. Киев, 1993). Эксперименты проводились с использованием психоделических препаратов типа ЛСД, а после их запрещения – с использованием интенсивного холотропного дыхания и других приемов введения в транс (разумеется, в первую очередь ставились не «научные», а терапевтические цели: погружение в далекое бессознательное часто помогало вывести наружу неосознанные проблемы человека и достичь реального облегчения его страданий). Испытуемые последовательно проходили сенсорный барьер, индивидуальное бессознательное (в основном описываемое фрейдовским психоанализом), промежуточный уровень рождения и смерти, наконец, трансперсональное (коллективное бессознательное). Грофом были описаны четыре базовые пренатальные матрицы бессознательного (БПМ, natalis – относящийся к рождению) – шаблоны, описывающие процесс

рождения человека: «океаническое» блаженство в лоне матери, ощущение угрозы и безвыходности – начало рождения, борьба за выживание, переживание пика страданий – смерти и яркого света – возрождения.

Первый срок отбывал я в утробе,
Ничего там хорошего нет.

(В.С. Высоцкий. Час зачатья я помню неточно...)

БПМ находят тесные аналогии с образами рая и ада (а также промежуточных обиталищ типа чистилища) в различных традициях. Подобно анализу статистики опыта клинической смерти, проведенному Р. Моуди (см. известную книгу «Жизнь после жизни»), Гроф обнаружил определенную универсальность трансперсонального опыта (точнее, измененных состояния сознания). В ряде случаев имели место «встречи» с различными существами и духами; отождествление с другими людьми, группами людей, цивилизациями, животными, растениями; переход на «суженный» уровень сознания органов тела, клеток, молекул; вземные переживания, ощущение планетарного и космического сознания, понимание пустоты (шуньи) буддизма; вспоминающие опыта предков и «прошлых жизней»; сверхчувственное восприятие, не ограниченное пространством и временем (последнее подтверждалось независимым наблюдателем). Практически все эти разновидности внутреннего опыта были ранее описаны мистиками. Интересно, что выход в «нефизические» пространства связан с появлением восприятия и математических пространств, более сложных, чем обычное трехмерное:

ЛСД-пациенты, искушенные в математике и физике, неоднократно сообщали, что во время психоделических сеансов они достигали вдохновенных прозрений различных концепций и построений, которые невозможно представить или визуализировать в обычном состоянии сознания. Имеется в виду, например, римановская геометрия n -мерного пространства, пространство Минковского, неевклидова геометрия, коллапс законов природы в черной дыре, специальная и общая теория относительности. Искривление пространства и времени, безграничная, но самозамкнутая вселенная, взаимозаменяемость массы и энергии, различные порядки бесконечностей и нулей – все эти сложные понятия математики и физики были субъективно пережиты и качественно по-новому осмыслены некоторыми из пациентов.

(С. Гроф. За пределами мозга, с. 60)

Гипотеза множественности миров обсуждается и при формулировке «сильного» антропного принципа, согласно которому в разных вселенных или частях нашей Вселенной могут действовать разные физические законы (подробнее см. раздел 6.3). Такая гипотеза вводится и в упомянутой «многомировой» интерпретации квантовой механики Эверетта и др., где каждое мгновение мир «расщепляется» на бесконечное число новых миров, так что пространство состояний оказывается шире, чем наблюдаемое физическое пространство. С этой точки зрения возможности и события, не реализованные в нашем мире, могут быть сопоставлены с часто имеющим место «ложным» ясновидением.

В связи с обсуждаемыми явлениями, с новой силой встает старый вопрос о соотношении материи, в частности, мозга и сознания. Описание мозга как хранилища информации в ячейках памяти приводит к пессимистичным выводам о старении человека из-за ограниченности объема памяти и возможностей обучения (см., напр., Н.Винер. Кибернетика. С. 197). Сейчас уже ясно, что это описание несправедливо. Более обосновано голографическое описание, согласно которому информация заключена в возбуждениях мозга, локализованных по всей его коре. В популярных сейчас моделях «нейронных сетей», в частности, модели Хопфилда, считается, что образы запоминаемых объектов соответствуют некоторым «притягивающим множествам» (аттракторам) всей сети, а не последовательности нулей и единиц, записанных в ее части (как в современных компьютерах).

Иногда мозг уподобляют колоссальной вычислительной машине, отличающейся от привычных компьютеров лишь значительно большим числом составляющих его элементов. Считается, что каждый импульс возбуждения переносит единицу информации, а нейроны играют роль логических переключателей в полной аналогии с устройством ЭВМ. Такая точка зрения полностью ошибочна. Работа мозга должна основываться на совершенно других принципах. В мозге нет местной структуры связей между нейронами, которая была бы подобна электрической схеме ЭВМ. Надежность его отдельных элементов (нейронов) гораздо ниже, чем элементов, используемых для создания современных компьютеров. Разрушение даже таких участков, которые содержат довольно большое число нейронов, зачастую почти не влияет на эффективность обработки информации в этой области мозга. Часть нейронов отмирает при старении организма. Никакая вычислительная машина, построенная на традици-

онных принципах, не сможет работать при таких обширных повреждениях.

*(А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов.
Введение в синергетику, с.181)*

В современной науке, в том числе гуманитарной, широко используется модель двух полушарий мозга. Их не обязательно понимать буквально (физиологически), но скорее следует рассматривать как две подсистемы, две проекции реальной работы мозга. Левое полушарие работает в двоичной кодировке и тем самым действительно играет роль компьютера. Правое полушарие работает с аналоговыми, волновыми процессами, голографическими образами.

Еще более радикальной, но также имеющей экспериментальные основания (например, данные по внетелесному восприятию), является точка зрения, что мозг – не носитель сознания, а скорее играет роль радиоприемника.

Бом: Я полагаю, что разум в своем существовании зависит от мозга, который может указывать на отсутствие гармонии, но мозг не имеет ничего общего с содержанием разума...

Кришнамурти: Разум не может функционировать, если мозг поврежден.

Б.: А если разум не функционирует, существует ли он? Разуму для его существования как будто требуется мозг.

К.: Но мозг – это всего лишь прибор.

Б.: Который указывает на гармонию или дисгармонию.

К.: Но он не является творцом разума.

Б.: Нет... Мозг не создает разум, но он является прибором, который помогает разуму функционировать.

(Д. Бом. О самом важном, с. 22)

Как пишет философ М. Мамардашвили, мы не можем локализовать живое вещество сознания (в смысле Вернадского) под черепной коробкой конкретной человеческой особи. Само слово *со-знание* предполагает отсутствие таких ограничений.

По обыденной привычке мы, как правило, вписываем акты сознания в границы анатомического очертания человека. Но, возможно, существенным, каким-то первичным образом сознание размещено вне индивида и представляет собой какое-то пространственно-подобное или полевое образование.

*(М. Мамардашвили.
Как я понимаю философию, с. 73)*

Аналогичной точки зрения придерживался крупнейший математик Курт Гедель.

По-видимому, точка зрения Геделя состоит в том, что разум не ограничен «вычислительной» способностью и даже не ограничен конечностью мозга... Гедель отверг аргумент Тьюринга о том, что нет разума, отдельного от материи, назвав это предрассудком нашего времени. Видимо, для Геделя было очевидно, что физический мозг должен вести себя как вычислительное устройство, но разум – нечто за пределами мозга.

(R. Penrose. Shadows of the Mind, p.128)

Голографическое (голономное) описание может быть применено и к более широкому кругу явлений во Вселенной (см., напр., книги С. Грофа), что соответствует переходу к волновой картине в квантовой механике. Согласно этой картине, каждая точка пространства (как и осколок голограммы) содержит информацию о всей Вселенной.

Каждая субстанция (монада) выражает всю Вселенную, но одна отчетливее, чем другая, вообще каждая относительно и в зависимости от ее особенной точки зрения.

(Лейбниц)

Когда поднимается одна пылинка, в ней содержится вся земля.

Когда распускается один цветок, раскрывается целый мир.

(Дзен)

Знай, что мир есть с начала и до конца зеркало (!),

В каждом атоме – сотни сияющих солнц.

Если ты рассечешь сердце одной капли воды,

Из него появится сотня чистых океанов.

(М. Шабистари. Цветник тайн, 1311 г.)

6. Время

Измеряя измеряй время в себе самом.

(3 Ездры 9:1)

Признаюсь тебе, Господи, я до сих пор не знаю, что такое время, но признаюсь, Господи, и в другом: я знаю, что говорю это во времени...

Каким же образом шаетя или исчезает будущее, которого еще нет? Каким образом растет прошлое, которого уже нет? Только потому, что это происходит в душе, и только в ней существует три времени.

(Бл. Августин. Исповедь, кн. 11)

Там внутри смерть, но не бойтесь. Зажмите часы в ладони, двумя пальцами возьмите головку завода, слегка приподнимите. И вот начинаются новые сроки, на деревьях распускаются листья, мелькают лодки, догоняя и обгоняя друг друга, время, раскрываясь веером, полнится само собою, из полноты его выплескивается воздух, прибрежные ветры, тень женщины, запах хлеба.

(Х. Кортасар.

Инструкция, как правильно заводить часы)

Вопрос о природе времени тесно связан с такими фундаментальными проблемами, как сотворенность/несотворенность мира, различие между прошлым и будущим (и, в связи с этим, «заданность» будущего, то есть предопределение или его отсутствие), соотношение «космического» (сакрального, мифологического) времени и времени исторического (мирского) и т.д. Поэтому естественно, что природе времени уделялось очень большое внимание во всех сколько-нибудь разработанных религиозных и философских системах. Мы остановимся на этих вопросах как с точки зрения современной науки, так и традиционных взглядов.

6.1. Творение, цикличность и начало времени

Это воплощенное время – великий океан творений. В нем находится тот, называемый Савитаром, от которого

родились луна, звезды, год и прочее. Далее от них – весь [мир] и, поистине, все, что здесь видно в этом мире хорошего и нехорошего, – то от них.

(Майтри упанишада 6:16)

Наблюдаете дни, месяцы, времена и годы. Боюсь за вас, не напрасно ли я трудился у вас.

(К Галатам 4:10–11)

Осел, ходя вокруг жернова, сделал сто миль, шагая. Когда его отвязали, он находился все на том же месте. Есть люди, которые много ходят и никуда не продвигаются. Когда вечер настал для них, они не увидели ни города, ни села, ни творения, ни природы, ни силы, ни ангела. Напрасно несчастные трудились.

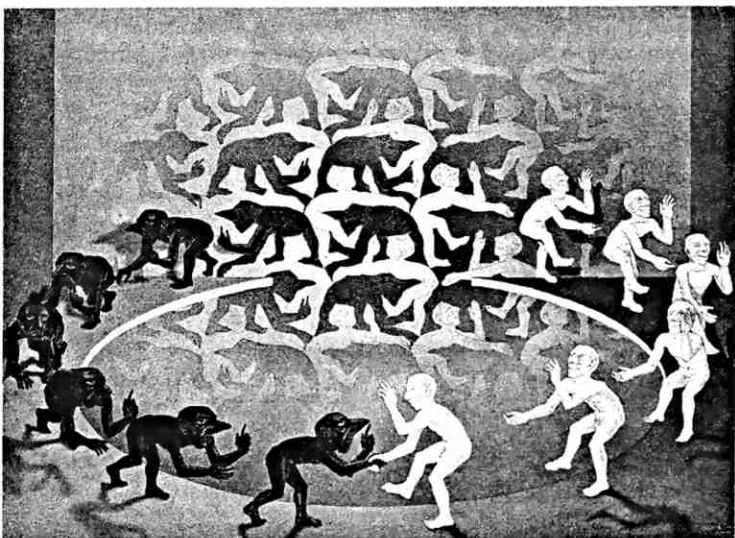
(Евангелие от Филиппа 52)

Ученики сказали Иисусу: Скажи нам, каким будет наш конец. Иисус сказал: Открыли ли вы начало, чтобы искать конец? Ибо в месте, где начало, там будет конец. Блажен тот, кто будет стоять в начале: и он познает конец, и он не вкусит смерти.

(Евангелие от Фомы 19)

...И пространство, и время могут быть конечными, не имея при этом ни краев, ни границ.

(С. Хокинз)



Далеко не во всех культурах понимание прошлого и будущего совпадает с современным европейским. Как правило, мифологическое время осмысливается в циклическом смысле – например, махаяги индийской религии, чередующиеся с ночами Брахмы, периодическая смена веков по Гесиоду и Овидию (а затем в стоицизме и гностицизме), смена эпох после рагнарека (гибели богов) в германской мифологии. Во многие мифы цикличность проникает через описание смерти и воскрешения бога, которые связываются с годовым и другими ритмами (дионисийское возвращение). О таком понимании времени говорят и многие современные тексты.

Истина состоит в том, что время не есть нечто разворачивающееся единообразно, и, следовательно, его геометрическое представление в виде прямой линии, как его обычно рассматривают современные математики, дает полностью ложную его идею из-за крайнего упрощения... Истинное представление времени присуще традиционной концепции циклов... Не только каждая фаза временного цикла, какова бы она ни была, имеет свое собственное качество, влияющее на определение событий, но даже скорость, с которой эти события разворачиваются, есть нечто, что также зависит от этих фаз, и, следовательно, принадлежит скорее качественному, чем количественному порядку...

(Р. Генон. Царство количества и знамения времени, с. 43, 44)

В незыблемой точке мировращения. Ни плоть, ни бесплотность. ...Где сходятся прошлое с будущим. И не движение – ни вперед, ни назад, ни вверх и ни вниз. Только в этой незыблемой точке Ритм возможен, и в ней – только ритм.

Я говорю – там мы были, не знаю лишь

Где и когда – ни места, ни времени.

(Т.С. Элиот)

Согласно индийской религии, в поддержании мирового порядка главную роль играет ритуал вед, который осуществляет риту (дхарму) – универсальный (физический, социальный и нравственный) космический закон разворачивания и сохранения мира, преобразования хаотического состояния в упорядоченное (аналогичную роль ритуал играет у народов Полинезии и др., см., напр., работы М. Элиаде). Этот закон властвует над богами и людьми. Когда ритуал перестает соблюдаться, начинает преобладать зло и мир клонится к упадку. Последняя юга вырождения – калиюга – заканчивается сгоранием мира, и происходит пере-

ход к золотому веку (сатьяюге) следующей кальпы. В отличие от ранней ведической религии, в буддизме и ведантизме рита сменяется кармой – суровым законом воздаяния, и ставится задача освобождения, т.е. преодоления времени, которое в конечном счете иллюзорно.

Разница между ведическим (а значит, архаическим и «первобытным») и махаяническим пониманием космического цикла заключается в том же, в чем в конечном счете состоит отличие антропологической архетипической (традиционной) позиции от позиции экзистенциалистской (исторической). Карма, закон всеобщей причинности, которая, оправдывая человеческое существование и объясняя исторический опыт, могла быть источником утешения для добуддийского индийского сознания, сама со временем становится символом «порабощения» человека. Именно поэтому вся индийская метафизика и вся индийская (религиозная) практика (в той мере, в какой они ставят целью освобождение человека) стремятся к уничтожению кармы.

(М. Элиаде. Миф о вечном возвращении)

В буддизме цепь перерождений (сансара) не имеет начала, но, согласно четырем благородным истинам (правда, в простом понимании), может иметь конец.

И у прошлого, и у будущего, и у настоящего корень один, государь, – неведение; на основании неведения – слагаемые, на основании слагаемых – сознание, на основании сознания – образно-знаковое... на основании привязанности – существование, на основании существования – рождение, на основании рождения – старость со смертью: являются печаль, стенание, боль, уныние, отчаяние, и первый край всего этого времени (т.е. прошлое) не познается.

(Вопросы Милинды)

Здесь же приведем небуддийский комментарий:

Всю дорогу он шептал как молитву: Благодарю тебя, Боже, ты позволил времени расти. До бесконечности. Ты дал ему пространство, чтобы расти и умереть. Потому что есть смерть, но нет рождения. Вот, время не рождалось, но оно умрет...

(М. Павич. Внутренняя сторона ветра)

В китайской философии время также циклично, но материальный мир существует вечно и непрерывно.

Жань Цю спросил Конфуция: «Можно ли узнать, что было прежде неба и земли?»

– Можно, – ответил Конфуций. – В древности [было] то же, что и ныне. ... Нет ни древности, ни современности, ни начала, ни конца... Разве было вещью то, что родилось прежде неба и земли? Вещество в вещах – это не вещь. Вещи не могли родиться прежде вещей. Совершенно так же были вещи, совершенно так же появлялись вещи – без конца. Подражая этому, и мудрец также всегда бесконечен в любви к людям.

В платонизме можно найти тесные аналогии с ведантой, но, в отличие от восточных учений, подчеркивается роль Боготворца (демиурга):

Когда же космос отделился от Кормчего, то в ближайшее время после этого отделения он чувствовал себя прекрасно; по истечении же времени и приходе забвения им овладевает состояние древнего беспорядка, так что в конце концов он вырождается. В нем остается немного добра, смешанного с многочисленными противоположными свойствами, он подвергается опасности собственного разрушения и гибели всего, что в нем есть. Потому-то устроившее его Божество, видя такое нелегкое его положение и беспокоясь о том, чтобы, волнуемый смутой, он не разрушился и не погрузился в беспредельную пучину неподобного, вновь берет кормило и снова направляет все большое и разрушенное по прежнему свойственному ему круговороту: Он вновь устроит космос, упорядочивает его и делает бессмертным и непреходящим.

(Платон. Политик, 273 d,e)

По поводу начала времени, творения и эволюции могут быть высказаны и неожиданные точки зрения. Согласно Талмуду, мир был сотворен (около 6000 лет назад, как говорит еврейское летоисчисление) уже старым.

Начало времени ... совпадает с началом Творения, но первоначальное мгновение означает не только бесконечное будущее, но и бесконечное прошедшее. ... Возникает Адам и демонстрирует свой пуп, хотя никакая пуповина не соединяла его с матерью. Принцип разумности гласит, что следствия без причины не бывает. Одни причины подразумевают другие, число их постоянно возрастает; точные сведения имеются обо всех причинах, но в действительности существовали только те из них, которые последовали Творению. В гроттниковых зарослях Лухана сохранились следы глиптодонтов, но глиптодонтов, тем не менее, никогда не было.

(Х.Л. Борхес. Сотворение мира и Ф. Госс)

Вопрос о направлении времени (из прошлого в будущего) также не самоочевиден. Например, поведение героев Старшей Эдды определено пророчествами, будущее им открыто во всех деталях (хотя в критические моменты они его забывают). «Золото Рейна» (сокровище Нибелунгов) носит свое название потому, что оно в конечном счете будет там похоронено. Тесное динамическое взаимодействие настоящего, прошлого и будущего рассматривается в китайских философских и практических гадательных системах, основанных на Книге Перемен (И Цзин).

Грядущее вовеки нерушимо,
Как прожитое. Все, что ни случится, —
Лишь потайная буква на странице,
Заговоренной и неразрешимой,
А книга — время...
Но не сдавайся. Мрак в застенке этом.
Плотна его стальная паутина.
Но в лабиринте есть проход единый
С нечаянным, чуть видимым просветом.
Путь неуклонен, как стрела тугая.
Но Бог в щели застыл, подстерегая.

(Х.Л. Борхес. За чтением Ицзин)

Библейские пророчества обычно сохраняют свободу человека и не связаны с прямым предсказанием будущего (исключение составляет кн. Даниила, которую иудаизм не относит к пророческим). Однако такие темы возникают в связи с апокрифами и книгами Сивилл и Нострадамуса, которые в некоторой степени также можно отнести к западной библейской традиции.

И они не ведают тайны будущего и прошлого не постигли, поэтому не знают предстоящего им и не спасли души свои от тайны будущего. И вот знамение того, что это произойдет: когда чрево, [порождающее] беззакония, будет заперто, ... нечестие отдалится от лица праведности, как тьма отступает перед светом, ... знание заполнит мир и никогда не будет в нем больше безрассудства.

(Книга Тайн. Кумран)

В христианстве широко используется понятие прообразов (предобразов).

Не хочу оставить вас, братия, в неведении, что отцы наши все были под облаком, и все прошли сквозь море; и все крестились в Моисея в облаке и в море; и все ели одну и ту же духовную пищу; и все пили одно и то же духовное питие:

ибо пили из духовного последующего (!) камня; камень же был Христос.

(1 Кор. 10:1–4)

Даже в «материалистической» физиологии и психологии используется понятие «опережающего отражения», введенное П.К. Анохиным; с предвидением тесно связано понятие интуиции. В современной физике (теории относительности) направленность времени (т.е. последовательность событий от прошлого к будущему) для всех наблюдателей обеспечивается существованием максимальной скорости передачи взаимодействия – скорости света (впрочем, для гипотетических частиц, движущихся только быстрее света – тахионов, время должно течь в обратную сторону).

Разные понятия времени могут сосуществовать в одной и той же культуре (например, литургический год в христианском богослужении, который символизирует процесс священной истории Ветхого и Нового завета). Соотношение линейного и циклического времени в иудаизме обсуждается в книге А. Штейнзальца «Роза о тринадцати лепестках» (в качестве символа времени используется спираль). До некоторой степени происхождение идеи циклического времени можно связать с естественной сменной времен года:

Обычный год значительно расширился, порождая «Большой год» или космические циклы не исчерпываемой длительности.

(М. Элиаде. *Аспекты мифа*, с. 59)

В то же время в целом картина движения небесных тел, наблюдаемая с Земли, является «почти-периодической», или «условно-периодической», то есть результатом наложения многих периодических процессов с несоизмеримыми (находящимися в иррациональном отношении) периодами. Если ограничиться наблюдением за наиболее яркими и «важными» для данной культуры небесными телами (планетами, прежде всего, Венерой, ярчайшей звездой северного неба – Сириусом и т. д.), то можно говорить о периодическом повторении этой картины – космическом годе (Год Бытия Тота в Древнем Египте – 1460 лет, год Мардука в Вавилоне – 1805 лет, и др., подробнее см. В.Е. Ларичев. Колесо времени). Именно это обстоятельство определяло ощущение времени в древности. В сочетании с астрологической идеей о влиянии небесных явлений на земную жизнь оно естественно приводит к заключению о повторяемости исторических

событий («Платонов год», см. цитированную выше книгу М. Элиаде).

Различные традиции содержат богатую символику времени (напр., буддийское колесо времени – калачакра). Гимн Времени из Атхарваеды (19:53) гласит:

Семь колес везет это Время.

Семь – ступицы его, бессмертие – ось.

Как и для пространства, для времени используется символ шестиконечного креста (шесть направлений – шесть дней недели, центр – воскресение), восходящий к Клименту Александрийскому. Три времени (прошлое, настоящее и будущее) иногда сопоставляются его трем измерениям.

Для иллюстрации оккультных представлений о времени поучительно обсудить идеи П.Д. Успенского. Помимо трехмерного пространства, в книге «Новая модель Вселенной» он рассмотрел трехмерное время и полное шестимерное пространство-время, утверждая, что такая схема является полной. Обычная линия времени (от прежде к после) соответствует четвертому измерению. Скорее она является зигзагообразной, чем прямой. Пятое измерение образует поверхность, в которой лежит линия времени, так что каждый перпендикуляр к последней представляет собой «вечное теперь». Шестое измерение включает линии осуществления возможностей, которые содержались в предыдущем мгновении, но не были осуществлены в обычном времени, т.е. в четвертом измерении (отметим, что представления о «бытии-возможности» были подробно развиты еще в XV в. в трудах Николая Кузанского). Таким образом, образуется трехмерный континуум – тело времени. Будучи одномерными во времени существами, мы не видим параллельных времен. На основе этой модели Успенский развивает оккультную концепцию «вечного возвращения» применительно к судьбе каждого человека (см. также изложение в беллетристической форме в его книге «Странная жизнь Ивана Осокина». СПб, 1995). Хотя такие схемы слишком просты, сам вопрос о психологическом времени данного человека, которое может существенно отличаться от одномерного и линейного «физического», крайне важен.

Степень активности времени может быть названа его плотностью.

(Н. Козырев)

Наркоман устроился на работу в зоопарк, ему доверили кормить черепах. Наутро клетка пуста, он оправдывается:

– Только я дверцу приоткрыл, они ка-ак ломанутся...

(Анекдот)

Скорость хода психологического времени зависит от его насыщенности событиями и существенно различна в разные периоды жизни. Неоднородность психологического времени обсуждалась в философских трудах Локка и Бергсона. Согласно некоторым сообщениям, время резко «уплотняется» в момент смерти человека (в том числе клинической, см. Р. Моуди, «Жизнь после жизни»). Тогда он способен пережить как большие промежутки прошлого, так и варианты будущего (см. рассказы А. Бирса «Случай на мосту через Совиный ручей» и Х.Л. Борхеса «Тайное чудо»).

Одна из методик нейро-лингвистического программирования (НЛП) состоит в построении «линии времени» для данного человека (см. книгу Андреасов «Сердце мозга»), которая может иметь сложную топологию, включая повороты и петли. Технически это выполняется путем мысленного размещения в визуальном поле последовательности картин определенных стандартных событий, привычных в жизни человека (например, подъем, чистка зубов), с определенными интервалами (день, неделя, год). Линия времени может быть «простроена» как в прошлое, так и в будущее, что используется для диагностики и разрешения психологических проблем и даже «коррекции судьбы».

В мистическом опыте восприятие времени может радикально меняться.

Для тех, у кого вдоволь света, для тех, чей разум не затемнен, знание прошлого и будущего ничем не отличается от [обычного] непосредственного восприятия.

(Бхартрихари. Вакья-падия)

Татхагата знает и видит знаки трех [временных] миров такими, каковы они есть: нет рождений и нет смертей, нет отступления назад и нет продвижения вперед... Нет трех миров, как три мира видятся. Все это Татхагата видит ясно, без ошибок.

(Лотосовая сутра 16)

Я сам – вечность, когда я покидаю время и пребываю в Боге, а Бог – во мне.

(Ангелус Силезиус)

Жители планеты Тральфамадор (К. Воннегут. Бойня номер пять) свободно путешествуют во времени и «умеют видеть раз-

ные моменты совершенно так же, как мы можем видеть всю цепь Скалистых гор». Выход за пределы линейного времени нередко имеет место в сновидениях. Подобные психические явления также наблюдались в упомянутых в гл. 5 экспериментах С. Грофа.

Есть модусы психоделических переживаний, в которых время кажется замедленным или необычно ускоренным, течет в обратную сторону или полностью трансцендируется и прекращает течение. Оно может выглядеть идущим по кругу или по кругу и линейно сразу, может следовать по спиральной траектории или проявлять специфические паттерны отклонения и искажения. Довольно часто время трансцендируется как самостоятельное измерение и приобретает пространственные характеристики: прошлое, настоящее и будущее по сути накладываются одно на другое и сосуществуют в настоящем моменте.

(«За пределами мозга», с. 35)

Напомним еще, что, согласно учению буддизма, время состоит из квантов-дхарм (аналогичные представления имелись в античном атомизме). Вот что пишут об этом современные философы:

В той мере, в какой мы рассматриваем содержательность сознания со стороны психических механизмов как протекающую во времени, мы обнаруживаем, что время *дискретно*. Следующий момент времени нам не известен из предыдущего. Точно так же, как в смерти: зная, что мы умрем, мы никогда не знаем *момента* смерти. Это событие, которое произойдет, так же дискретно, как дискретно проходят единицы времени для осуществления и развертывания какой-то содержательности сознания. С точки зрения дискретности времени, то есть отсутствия связи между моментами времени, должен быть понят факт, который мы бы назвали «случайностью мысли».

*(М.К. Мамардашвили, А.М. Пятигорский.
Символ и сознание)*

Дискретность времени находит подтверждение как в медитативном опыте буддистов и исламских мистиков-суфиев, так и в современных психологических исследованиях.

Сквозь разрывы текущего времени
ты видишь вечность,
как сквозь разрывы в тучах – синее небо.

(Д. Таками. Неподвижное дерево)

Перейдем теперь к вопросу об историческом времени. В индийской традиции, в отличие от западной, обычно не устанавливается определенной хронологии и строгих датировок. Например, часто говорится о легендарных мифических личностях-полубогах, которые жили вне реального времени, многократно перерождаясь на протяжении нескольких столетий (Шанкара, Нагарджуна). В буддизме сам Будда Шакьямуни историчен, но часто этот факт считается не важным по сравнению с вечностью Учения (что подчеркивается в махаяне, особенно в японской).

Напротив, принципиально важна историчность основателей «пророческих» религий (зороастризма, иудаизма, христианства); соответствующая концепция «осевого времени» разработана К. Ясперсом. Согласно христианскому Символу Веры, «Сын Божий, Единородный, иже от Отца рожденный прежде всех век», в то же время существует в истории («распятого же за ны при Понтийстем Пилате»). Таким образом, христианство, в отличие от ритуальной ведической религии, оказывается прочно привязанным к историческому времени.

Итак образы небесного должны были очищаться сими, самое же небесное лучшими сих жертвами. Ибо Христос вошел не в рукотворенное святилище, по образу истинного устроенное, но в самое небо, чтобы предстать ныне за нас пред лице Божие, и не для того, чтобы многократно приносить Себя, как первосвященник входит во святилище ежегодно с чужою кровью; иначе надлежало бы Ему многократно страдать от начала мира; Он же однажды, к концу веков, явился для уничтожения греха жертвою Своею. И как человекам положено однажды умереть, а потом суд, так и Христос, однажды принеся Себя в жертву, чтобы поднять грехи многих, во второй раз явится не для очищения греха, а для ожидающих Его во спасение.

(К Евреям 9:23–28)

С другой стороны, в библейской традиции (иудаизм и христианство) время тварного мира «переплетено» с Вечностью, так что конкретные исторические события истории Израиля, описанные в Ветхом завете, понимаются как имеющие священный и, в определенном свете, *вневременной* смысл. Особенно важно, что исторический смысл не отменяет личного.

Мы справляем здесь во времени праздник вечного рождения, которое Бог Отец непрестанно совершал и совершает в вечности. И празднуем это самое рождение, совершившееся во

времени (!) и в человеческой природе. Рождение это совершается всегда, говорит Августин. Но если оно происходит не во мне, какая мне от этого польза? Ибо все дело в том, чтобы оно совершилось во мне.

(Мейстер Экхарт. Духовные проповеди и рассуждения. М., 1991, с. 11)

Уникальность понимания времени в христианской культуре подчеркивается в работах М. Элиаде.

Для христианина Иисус умирает и воскресает перед ним *hic et nunc* (здесь и теперь). Через Крестные муки или Воскрешение христианин рассеивает мирское время и вливается во время изначальное и священное

(Мифы, сновидения, мистерии)

Христианство – это религия человека *современного* и исторического, который одновременно обрел личную *свободу* и *линейное* время (вместо времени циклического).

(Миф о вечном возвращении)

Последняя мысль встречается и в трудах христианских богословов, напр., А. Меня. Таким образом, «колесо пало, побежденное Крестом» (Х.Л. Борхес. Богословы). По мнению М. Элиаде, возврат к дохристианскому пониманию для современного человека реально невозможен.

Страх перед историей, появившийся на уровне архетипов и повторения, можно было вытерпеть. Со времени «изобретения» веры в иудео-христианском смысле слова (для Бога все возможно) человек, ушедший от уровня архетипов и повторения, отныне может защищаться от этого ужаса лишь с помощью идеи Бога. ... С этой точки зрения христианство, бесспорно, оказывается религией «падшего человека», поскольку современный человек бесповоротно включен в *историю* и *прогресс*, а история и прогресс оба представляют собой падение, влекущее за собой окончательную утрату рая архетипов и повторения.

(М. Элиаде. Миф о вечном возвращении)

Следующее стихотворение рассматривает эту проблему на стыке Восток-Запад.

«Благословим англичан и все их благие примеры.

Прокляты еретики, не принявшие истинной веры!»

«Аминь, – повторяет Джобсон, но там, где мой смертный дом, Ни Завета нет, ни Закона нет, и дело совсем в другом.

Возлежит на Гималаях свод небес, свод небес,

Не разрушил за века их этот вес, упав на лес.
Кедры ввысь неутомимо на святой горе растут,
Где стопы моей любимой вспять по Времени бегут».

(Р. Киплинг. Молитва Джобсона)

«Время» в понимании естествоиспытателя (или историка) имеет некоторый начальный момент. Что касается философских и религиозных систем, четко о начале времени, созданного Богом, можно сказать только в западной традиции – платонизме и христианстве:

Итак, время возникло вместе с небом, дабы, одновременно рожденные, они и распались бы одновременно, если наступит для них распад; первообразом же для времени послужила вечная природа, чтобы оно уподобилось ей, насколько возможно... Такими были замысел и намерение Бога относительно рождения времени; и вот, чтобы время родилось из разума и мысли Бога, возникли Солнце, луна и пять других светил, именуемых планетами, дабы определять и блюсти числа времени.

(Платон. Тимей, 38 с)

Как могли пройти бесчисленные века, если они не были еще созданы Тобой, Творцом и Учредителем всех веков? Было разве время, Тобой не учрежденное? ... Это самое время создал Ты, и не могло проходить время, пока Ты не создал времени. Если же раньше земли и неба вовсе не было времени, зачем спрашивать, что Ты делал тогда. Когда не было времени, не было и «тогда». ... Не было времени, когда бы Ты не создавал чего-нибудь; ведь создатель самого времени Ты. Нет времени вечного, как Ты, ибо Ты пребываешь, а если бы время пребывало, оно не было бы временем.

(Бл. Августин. Исповедь, книга II, XIII, XIV)

С другой стороны, даже в зороастризме, где история конечна во времени, бог Зерван символизирует бесконечное время:

Кто самый справедливый? Ограниченное [вариант перевода] время. Что всего удивительнее? То, что время идет дальше.

(Наставления Вузугмихра, 131–134)

И своим ясным зрением Ормазд видел, что Дух-Разрушитель никогда не прекратит нападок, и что нападки эти станут бесплодными только вследствие акта творения, и что творение может сдвинуться с места только благодаря Времени; а когда возникнет Время, творение Ахримана придет в движение. И чтобы низвести захватчика до бессилия, ему не оставалось

ничего другого, кроме как создать Время... Затем из Бесконечного Времени он сотворил и создал Время долгой Власти; некоторые называют его конечным Временем. Из Времени долгой Власти он произвел постоянство, дабы не погибли труды Ормазда.

(Большой Бундахишн 1:20–22)

В христианстве Бог является Предвечным, но существует не во времени. Предвечность приписывается и Мессии:

Единому Премудрому Богу, Спасителю нашему чрез Иисуса Христа Господа нашего, слава и величие, сила и власть прежде всех веков, ныне и во все веки. Аминь.

(Иуда 1:25)

Иисус Христос вчера и сегодня и во веки Тот же.

(К Евреям 13:8).

Он [Мессия] был избран и сокрыт пред Ним, прежде даже чем создан мир; и Он будет пред Ним до вечности.

(Книга Еноха 48:6)

Ты не во времени был раньше времен, иначе Ты не был бы раньше всех времен. Ты был раньше всего прошлого на высотах всегда пребывающей вечности... Года Твои не приходят и не уходят, а наши, чтобы прийти им всем, проходят и уходят... Всякое время создал Ты, до всякого времени был Ты, и не было времени, когда времени вовсе не было.

(Бл. Августин. Исповедь)

Для сравнения приведем отрывки из восточных религиозных и мистических текстов.

Ты – без начала, за пределами времени, за пределами пространства. Ты – Он, из которого возникли три мира.

(Яджурведа)

Поистине существует два образа Брахмана – время и не-время. Далее, что перед солнцем, то не-время, лишенное частей. Далее, что [начинается] от солнца, то – время, состоящее из частей.

(Майтри упанишада 6:15)

Нет Тебя ни далеко, ни близко, ни на небе, ни на земле, ни в сансаре, ни в нирване. Хвала Тебе, не пребывающему нигде!... Кто же может восславить Тебя, лишенного происхождения и не подверженного гибели, не имеющего ни концов, ни середины, не воспринимающего и не воспринимаемого?

Восславим же Будду и умеющего ходить (Сугату), и оставившего путь, Того, кто не уходил и не приходил!

(Нагарджуна. Чатух-става)

Суфийские наставники – это те, чей дух существовал до мира. Еще до тела они прожили сотни жизней.

Еще до сева зерна они уже пожалели пшеницу.

До появления океана они нанизывали жемчуга...

Когда шло грандиозное обсуждение о переходе человеческого рода из несуществования в существование, они стояли по подбородок в водах мудрости.

Когда иные из ангелов противились творению, суфийские шейхи смеялись меж собой и хлопали в ладоши.

(Руми. Маснави 2; ср. Иов 38, Притчи 8:22–31)

В отношении человеческой судьбы в Библии (и в еще большей степени – в исламе) неоднократно поднимается тема предопределения:

И ныне прославь Меня Ты, Отче, у Тебя Самого славою, которую Я имел у Тебя прежде бытия мира. Отче! которых Ты дал Мне, хочу, чтобы там, где Я, и они были со Мною, да видят славу Мою, которую Ты дал Мне, потому что возлюбил Меня прежде основания мира.

(От Иоанна 17:5,24)

Ибо кого Он предузнал, тем и предопределил быть подобными образу Сына Своего, дабы Он был первородным между многими братьями. А кого Он предопределил, тех и призвал, а кого призвал, тех и оправдал; а кого оправдал, тех и прославил.

(К Римлянам 8:29–30)

Поистине, то, что вам обещано, наступит, и вы это не в состоянии ослабить!

(Коран 6:134)

При обсуждении вопросов о вечности вне времени, всеведении Бога и предопределении возникает ряд логически трудных и даже нравственно мучительных проблем (например, оправдание страданий Авраама, Иова и Христа, воскрешение детей Иова – кьеркегоровское повторение), которые смело обсуждались схоластами, а затем протестантскими теологами и русскими религиозными философами.

Как мы поэтому справедливо можем сказать, что прежде чем Рим был сотворен, он не был сотворен, так же, не

противоречия, мы можем сказать: Бог может и после сотворения мира сделать его несотворенным.

*(П. Дамиани, цит. по книге
Л. Шестова «Афины и Иерусалим»)*

Бог есть любовь... Богу ничего не нужно. Он дает от полноты Учение о том, что Бог «не был обязан» творить мир – не сухая схоластика; оно очень важно... Он породил ненужные существа, чтобы любить их и совершенствовать. Он творит мир, предчувствуя (или чувствуя? для него нет времени), как роятся мухи у креста, как больно касаться дерева израненной спиной, как перехватывает дыхание, когда обвиснет тело, как нестерпимо болят руки, когда приходится вздохнуть... Вот она, любовь. Вот Он, Бог, Творец всякой любви.

(К.С. Льюис. Любовь. Надежда. Страдание, с. 256)

Христианское и иудейское богословие, как правило, подчеркивает творение мира из ничего (так обычно понимается слово «бара» – «сотворил» в Быт.1:1; впрочем, осмысление этого утверждения может быть достаточно сложным, см. ниже в разделе 6.3).

Посмотри на небо и землю и, видя все, что на них, познай, что все сотворил Бог из ничего и что так произошел и род человеческий.

(2 кн. Маккавейская 7:28, греческая Библия)

В то же время идеи цикличности развития мира и многократного творения можно найти и в библейской традиции, и в Коране:

Идет ветер к югу, и переходит к северу, кружится, кружится на ходу своем, и возвращается ветер на круги свои. Все реки текут в море, но море не переполняется: к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь. Что было, то и будет; и что делалось, то и будет делаться, и нет ничего нового под солнцем.

(Екклесиаст 1:6–9)

6:12–13 И удалит Господь людей, и великое запустение будет на этой земле. И если еще останется десятая часть на ней и возвратится, и она опять будет разорена; но как от теревинфа и как от дуба, когда они и срублены, остается корень их, так святое семя будет корнем ее.

65:17 Ибо вот, Я творю новое небо и новую землю, и прежние уже не будут воспоминаемы и не придут на сердце. 66:22 Ибо, как новое небо и новая земля, которые Я сотворю, всегда

будут пред лицом Моим, говорит Господь, так будет и семья ваша и имя ваше.

(Исаия)

В тот день, когда Мы скрутим небо, как писец свертывает свитки; как Мы создали первое творение, так Мы его повторим по обещанию от Нас. Поистине, Мы действуем!.

(Коран 21:104)

Он – тот, кто впервые производит творение, а потом повторяет его. Это еще легче для Него.

(Коран 30: 26 (27))

Для пророчеств Исаии приведем комментарий из «Властелина колец» Р. Толкиена (разумеется, улавливающий лишь часть смыслов священного текста):

С потерей Кольца Враг лишится большей части той силы, которой владел изначально, а все созданное или начатое им с помощью Кольца будет разрушено, и он станет развоплощенной тенью до конца этого мира. Только так можно избыть величайшее из зол. Конечно, есть и другие злые силы, ведь и сам Саурон – всего лишь прислужник другого, давнего Врага. Но мы не в ответе за все Эпохи, мы призваны защитить нашу Эпоху, наши годы, без усталости выкорчевывая знакомые нам злые побеги на знакомых полях, дабы оставить идущим за нами добрую пажить для сева. А будет ли орошать ее ласковый дождик или сечь суровый град – решать не нам. ... Может статься, всем нам суждена гибель в этой битве, может статься, никто из нас не узнает, чем кончится дело: уничтожено ли Кольцо, пал ли Саурон, но, по-моему, именно в этом наш долг. Лучше уж погибнуть на этом пути, чем погибнуть все равно и знать, что никакой новой Эпохи не будет.

*(кн. 5, гл. 6 «Совет перед походом»,
пер. Н.В. Григорьева, В.И. Грушецкого, Л., 1991)*

Этот фрагмент поразительно напоминает по духу заключительные слова Нобелевской лекции А. Сахарова, приведенные в рукописи последней главы книги Сергея Васильевича Вонсовского:

Я защищаю также космологическую гипотезу, согласно которой космологическое развитие Вселенной повторяется в основных своих чертах бесконечное число раз. При этом другие цивилизации, в том числе и более «удачные», должны существовать бесконечное число раз на «предыдущих» и «последующих» к нашему миру листах книги Вселенной. Но все это не должно умалять нашего священного стремления именно в этом мире, где мы, как вспышка во мраке, возникли

на одно мгновение из черного небытия бессознательного существования материи, осуществить требования разума и создать жизнь, достойную нас самих и смутно угадываемой цели.

Во время становления христианства идеи множественности миров, а также концепция предсуществования душ развивались в трудах одного из ранних учителей Церкви Оригена (185–254).

Конец мира есть лишь относительный конец. Вселенная должна всегда существовать и движение возобновляться. Когда жизнь (какого-либо мира) подходит к концу, остаток искупается другим способом – нематериальным и очистительным огнем, после чего тварный дух получает свой окончательный вид. ... Материя, покинутая одними, служит затем для других, и так происходит вечный круговорот.

Многие взгляды Оригена (не столько метафизические, сколько христологические) позднее были объявлены еретическими; впрочем, сам он обычно отделял собственные частные мнения от буквы Писания. Эти вопросы осмыслялись и отцами церкви, на многих из которых (особенно Григория Нисского и Евагрия Понтийского) оказал влияние Ориген:

Было нечто, как вероятно, и прежде нашего мира; но сие, хотя и постижимо для нашего разумения, однако же не введено в повествование (!), как несоответствующее силам новообучаемых и младенцев разумом. Еще ранее бытия мира было некоторое состояние премирным силам, превысшее времени, вечное, присно продолжающееся. ...

Прежде видимого мира Бог сотворил мир невидимых духовных существ, хотя об этом не сказано в книгах Моисея. Сотворение же видимого мира произошло во времени, которое столь же преходяще, как и предметы, ограниченные временем.

(св. Василий Великий)

Могут ли рассмотренные традиционные воззрения о природе времени быть сопоставлены с естественно-научными? До создания общей теории относительности и основанной на ней релятивистской космологии просто отсутствовал предмет для сопоставления, так как мало-мальски глубокое понимание времени было просто за пределами возможностей естествознания. Уравнения Эйнштейна, связавшие свойства пространства-времени с распределением энергии и импульса материи, впервые в истории науки дали возможность осмысленно поставить воп-

рос о «космическом времени». В первой работе по релятивистской космологии (1917 г.) Эйнштейн рассмотрел статическую модель Вселенной в виде искривленного в четырехмерном пространстве шара (трехмерный аналог поверхности сферы) со свойствами, не зависящими от времени. Для того, чтобы получить такое решение, ему понадобилось видоизменить свои исходные уравнения, добавив к силам всемирного тяготения «силы всемирного отталкивания», действующие на очень больших расстояниях и описываемые так называемой космологической постоянной. В 1922 г. российский математик А. Фридман продемонстрировал неустойчивость решения Эйнштейна и построил существенно более общий класс решений, в которых свойства Вселенной (ее радиус кривизны) зависели от времени. Так возникла концепция расширяющейся Вселенной (стандартная модель), которая получила распространение после открытия в конце 20-х годов американским астрономом Э. Хабблом явления «разбегания галактик» – удаления их друг от друга со скоростью, пропорциональной расстоянию между ними. Близкие к статической модели идеи были развиты в 40-е годы в стационарной модели Ф. Хойла и др., где вещество непрерывно создается по мере разбегания галактик, так что его плотность во Вселенной остается постоянной. Однако эта модель не подтверждается экспериментально, в частности, данными по реликтовому излучению и сейчас вытеснена стандартной моделью.

Из решения Фридмана следовало существование момента времени, в который радиус кривизны Вселенной равен нулю, а плотность вещества бесконечна – так называемая космологическая сингулярность. Модель Фридмана основана на ряде частных предположений о распределении вещества во Вселенной. Однако в 70-х гг. английские математики и физики Р. Пенроуз и С. Хокинг доказали неизбежность существования сингулярности при достаточно общих условиях. Таким образом, общая теория относительности Эйнштейна приводит к практически неизбежному выводу о существовании некоторого начального момента времени, продолжение за который (в смысле вопроса «что было до того?») невозможно и бессмысленно.

Удивительным образом представление о существовании такого начального момента времени, который, по грубым оценкам, был 10–20 миллиардов лет назад, получило экспериментальное подтверждение, когда в 1965 г. американские радиоастрономы А. Пензиас и Р. Вильсон открыли так называемое реликтовое радиоизлучение. Оно не связано ни с какими конкретными

источниками (звезды, галактики), заполняет всю Вселенную и соответствует тепловому излучению тела, нагретого до температуры около 3К. Это излучение было предсказано моделью горячей Вселенной, предложенной российско-американским физиком Г.Гамовым в 40-х гг.

Согласно этой модели (в ее современном варианте), в моменты времени, близкие к начальному, вещество во Вселенной было не только очень плотным, но и очень горячим. В течение первых нескольких минут Вселенная представляла из себя кипящий котел элементарных частиц, когда закладывались наиболее существенные физические характеристики нашего мира. Здесь не место обсуждать соответствующие вопросы, и мы отсылаем читателя к популярной литературе, например, к книгам И.Д. Новикова и С. Вайнберга. В результате очень сложных процессов Вселенная оказалась заполненной горячей, полностью ионизованной плазмой, состоящей почти исключительно из водорода (75%) и гелия (25%). При этом она находилась в тепловом равновесии с собственным излучением. В ходе дальнейшего расширения и остывания началось образование электрически нейтральных атомов водорода. Так как газ, состоящий из атомов, почти прозрачен для излучения (в отличие от сильноионизованной плазмы), с этого момента излучение «отцепилось» от вещества и в дальнейшем медленно остывало. (Мы неоднократно подчеркивали весьма относительную ценность прямых аналогий между священными текстами и представлениями современной науки; тем не менее, на ассоциативном уровне, уместно вспомнить «и отделил Бог свет от тьмы», Быт. 1:4). При этом, в соответствии с законами теплового излучения, его энергия сосредоточивалась во все более и более длинноволновой части спектра, пока в современную эпоху это реликтовое (то есть оставшееся от раннего этапа формирования Вселенной) излучение не оказалось радиоволновым. Изучение реликтового излучения подтверждает эту картину и рассматривается как наиболее прямое доказательство существования «начала времени», получившее название Большого Взрыва.

Если вам говорят: Откуда вы произошли? – скажите им: Мы пришли от света, от места, где свет произошел от самого себя. Он... в их образ. Если вам говорят: Кто вы? – скажите: Мы его дети, и мы избранные Отца живого. Если вас спрашивают: Каков знак вашего Отца, который в вас? скажите им: Это движение и покой.

(Евангелие от Фомы 55)

Ты одеваешься светом, как ризою, простираешь небеса, как шатер.

(Псалтырь 103:2)

Господь облачился в ослепительно белые ризы, от которых потоками хлынул свет, засиявший от края до края вселенной

(Берейшит раба)

Интересно, что выражение «от края до края» соответствует физической реальности ранней Вселенной: горизонт событий, определяемый распространением света, был очень мал, даже если принять модель расширения бесконечной открытой Вселенной (см. книгу Вайнберга).

Общая теория относительности Эйнштейна принципиально не может описать то, что происходило в непосредственной окрестности Большого Взрыва. Причины этого лежат в неучете квантовых явлений. Дело в том, что сильные гравитационные поля искажают течение времени, согласно же принципу неопределенности квантовой механики, измерение очень коротких промежутков времени неизбежно приводит к большой неопределенности энергии. Энергия, в свою очередь, является источником гравитационного поля, замедляющего время. Основанные на этих соображениях оценки показывают неприменимость теории Эйнштейна при рассмотрении промежутков времени, меньших 10^{-43} сек, и соответственно пространственных расстояний, меньших 10^{-33} см (это так называемые планковские единицы времени и пространства, которые строятся из соображений размерности путем комбинирования трех фундаментальных постоянных современной физики – постоянной Планка, скорости света и гравитационной постоянной). Поэтому для рассмотрения непосредственной окрестности сингулярности, когда радиус кривизны пространства сопоставим с планковской длиной, нужно пользоваться квантовой теорией гравитации. Хотя полной и последовательной теории такого рода в настоящее время не существует, предпринимаются многочисленные попытки построить квантовую теорию Большого Взрыва. Лучшее популярное изложение этих вопросов дано в знаменитой книге С. Хокинга «Краткая история времени». В весьма упрощенной форме взгляды Хокинга можно изложить в следующем виде. В ранней Вселенной характеристики пространства-времени испытывают квантовые флуктуации, связанные с соотношением неопределенностей, и Вселенная постоянно «туннелирует» между различными состояниями. Для описания процессов квантово-меха-

нического туннелирования традиционно используется переход к мнимому времени, введенном в квантовую механику Л.Д. Ландау в 1932 г. В этом мнимом времени нет никакой сингулярности и нет никакого начального момента. Иными словами, при приближении к точке сингулярности классической теории наше физическое время исчезает и превращается в мнимое время, которое имеет конечную протяженность и не содержит особых (например, краевых) точек. Интересно, что мнимое время на языке теории относительности соответствует реальной *пространственной* координате. По выражению Хокинга,

...когда это происходит, мы можем сказать, что время полностью опространствлено, еще точнее говорить не о пространстве-времени, а о четырехмерном пространстве.

(Цит. по: И. Пригожин, И. Стенгерс. Время, хаос, квант, с. 239)

Здесь возникают неожиданные аналогии с представлениями традиционализма о превращении времени в пространство в конце каждого цикла мирового развития.

Превращение времени в пространство, собственно говоря, реализуемо лишь в «конце мира»... Конец цикла является «вневременным», так же как и его начало... В «первоначальном состоянии», или, что то же самое, в «центре мира»... время превращается в пространство.

(Р. Генон. Цит. соч., с.166, 167, 169)

В связи с этой «сингулярностью» Генон анализирует конец 34-й песни из «Ада» Божественной Комедии Данте (переход из ада в чистилище). Аналогичное описание можно найти в видении Маркандеи (Махабхарата, Араньякапарва). После всеобщего разрушения в конце мирового периода Маркандея оказывается втянутым в уста бога Нараяны (Вишну).

Я странствую по мрачным водам безбрежного океана, не видя ни одного живого существа, о лучший из царей, и, наконец, меня охватывает глубокая усталость... И тут, о властитель земли, среди водных просторов я замечаю однажды огромный мощный баньян. На широких ветвях этого дерева... раскинуто ложе, устланное дивными покрывалами, и в нем... покоится дитя с лицом, словно полная луна, и огромными, как [лепестки] распутившегося лотоса, глазами. Я изумлен, о хранитель земли: как уцелело это юное существо во время гибели мира? ... Прекрасное дитя... обращается ко мне, и речь его ласкает мой слух: «Я знаю, о Маркандея, что ты

устал и желаешь отдохнуть. Оставайся здесь сколько хочешь, о Бхарагава. Войди в мое тело, о высочайший из отшельников, и пребывай там. Я благосклонен к тебе и предоставляю приют». Такие слова младенца вселяют в меня, о бхарата, отвращение к моему долголетию, и вообще к человеческому естеству. Внезапно дитя открывает уста, и по велению судьбы, против моей воли оказываюсь втянутым в его рот. Попав в его чрево... я неожиданно вижу там всю землю, покрытую городами и странами... Более ста лет [странствую] я внутри его тела и не вижу ему конца. Я постоянно в пути... но никак мне не выйти за пределы [чрева] великого духом. Тогда вслух и мысленно я обращаюсь, как должно, за покровительством к величайшему богу, исполнителю всех желаний, и вслед за тем, о царь, быстро, как ветер, вылетаю из его раскрытого рта...

Здесь опять можно искать параллели с естественно-научными концепциями (переход в другой мир через черную дыру?).

Согласно работам М. Элиаде, возврат в райское «время оно» означает прекращение времени. В этом вопросе открывается простор для мифологического осмысления (см., напр., книгу Дж. Кэмпбелла).

И все-таки ведущая домой
дорога оказалась слишком длинной,
как будто Посейдон, пока мы там
теряли время, растянул пространство (!).
Мне неизвестно, где я нахожусь,
что предо мной. Какой-то грязный остров...
Все острова похожи друг на друга,
когда так долго странствуешь, и мозг
уже сбивается, считая волны,
глаз, засоренный горизонтом, плачет...
Не помню я, чем кончилась война,
и сколько лет тебе сейчас, не помню.

(И. Бродский. Одиссей Телемаку)

Взаимное превращение времени и пространства (энергии, движения и событий, явлений) происходит и в обычной жизни. В некотором смысле оно имеет место при создании живописных полотен (изображение движения, см. работы П. Флоренского) и художественных текстов.

В литературно-художественном хронотопе имеет место слияние пространственных и временных примет в осмысленном и конкретном целом. Время здесь сгущается, уплотняется, становится художественно-зримым; пространство же ин-

тенсифицируется, втягивается в движение времени, сюжета, истории.

(М. Бахтин. Формы времени и хронотопа романа)

Внешняя аналогия классической теории «Большого взрыва» с библейскими представлениями о творении мира поразительна, и некоторые богословы, особенно католические, рассматривают ее как прямое естественно-научное подтверждение сотворенности Вселенной (впрочем, с точки зрения верующего человека истина, данная в Откровении, не нуждается в таких подтверждениях, и они могут иметь лишь апологетическую ценность). Как мы видели, такая прямолинейная трактовка ставится под сомнение квантовой теорией гравитации. В то же время некоторые православные авторы, ссылаясь на учение св. Василия Великого, Григория Богослова и Григория Нисского, отождествляют Большой взрыв не с сотворением мира, а с грехопадением. Согласно этим взглядам, наша Вселенная есть результат распада первоначального безгрешного мира.

Мир сей, в котором мы живем, не был сотворен Богом: Бог зла не творил, а в мире сем, как все мы знаем, зла хоть отбавляй. Его источник не Бог, а «князь мира сего» (Ин.12:31; 16:11). Но есть Мир Истинный – подлинный мир Божий, вышедший из его «рук» в Божественном творческом акте, в самом начале Всего, в том истинном творческом действии, после которого сказал Бог: «Хорошо весьма». Так откуда же взялся тот «смешанный» мир, в котором доброе и злое, жизнь и смерть так переплелись?

Из Св. Писания мы знаем о грехопадении и об изгнании из Рая первых людей. Трагическое событие это с естественно-научной точки зрения может быть помещено в контекст принятой современной наукой теории «большого взрыва».... Что было до «большого взрыва», какой мир существовал до этого толчка – науке не известно.... Ответ на этот вопрос нам, христианам, дает Библия: был прекрасный мир, сотворенный Богом – место обитания первых людей.

(Еп. Василий (Родзянко).

Теория распада Вселенной и вера отцов, с. 5)

Хотя трактовка грехопадения в разных традициях различна, везде считается, что природа человека после него меняется – он уже не может воспринять и выдержать первоначальный свет.

Когда Адам, наш первый отец, жил в саду Эдема, он был одет, как это есть на небе, в одеяние, сотканное из Верховного

света. Когда он был изгнан из сада Эдема и должен был приспособиться к нуждам этого мира, ... Бог сделал Адаму и его жене одежды из кожи, которые они и надели.

(Зогар, комментарий к Быт. 3:21)

Свет, сотворенный Предвечным в первый день творения, был такой чистоты и силы, что человек мог видеть от конца до конца Вселенной. С появлением на земле греха и порока дивный свет этот начал тускнеть и, наконец, отнят был всевышним у земного мира и приуготован для праведников в загробной жизни.

(Талмуд, трактат Хагига)

В герметическом тексте читаем:

Асклепий: Почему было необходимо, о Трисмегист, чтобы человек вошел в мир, вместо того чтобы наслаждаться красотой верховной в Божественной части своего естества? Гермес: ... Так как Он знал, что сущность не могла бы познать всей природы, не будучи окружена миром, он ей дал тело для жизни. Он захотел, чтобы она имела две природы и чтобы она их непрерывно объединяла и соединяла в гармонии.

(Аналогичные мысли можно найти в книге Зогар и у суфийских мистиков). Предельно трагическое отношение здесь характерно для гностицизма (заброшенность и изгнание души в неисчислимые миры-зоны и мучительно долгое время). Представления о грехопадении развиваются и в антропологических работах.

Предок или изначальный человек ничего не знал о смерти, страдании или работе: он жил в мире с животными, мог с легкостью попасть на небо и непосредственно встретиться с Богом. Произошла катастрофа и прервала эту связь между небом и землей; и это было началом современного состояния человека, характеризующееся ограниченностью во времени (!), страданием и смертью.

(М. Элиаде. Мифы, сновидения, мистерии)

С точки зрения традиционных восточных воззрений, Большой Взрыв отождествляется с началом очередного цикла, а инволюция (нисхождение духа в материю) может происходить постепенно.

... После потопа [последовавшего за пожаром в конце предыдущей кальпы] воды схлынули, земля выступила наружу, а вся ее поверхность была покрыта пленкой, более благоуханной, чем амброзия. ... Юные боги этого неба спустились на

землю и увидели, что она покрыта пленкой. Они омочили пальцы в ней и попробовали ее на вкус. ... Тела их отяжелели, а материя, из которой они состояли, сделалась костями и плотью. Они утратили могущество и разучились летать.

(Экоттарагама сутра, буддизм)

Именно как деградация трактуется происхождение современных рас людей и животных от более духовных и разумных человеческих рас в теософии Блаватской. Утверждение о том, что обезьяна произошла от человека, можно встретить и у таких серьезных философов, как А.Ф. Лосев. По современным научным данным, «общий предок» человека и обезьяны значительно превосходил своим развитием современных приматов.

Ряд трудов современных философов и теологов сознательно или бессознательно использует образы каббалы, подробно развитые Исааком Лурия (1534–1572): процесс ограничения божественного света (цимцум), приведший к образованию пустого пространства; катастрофа разбитых сосудов; рассыпавшиеся осколки; заключение душ в скорлупы-оболочки (клипот); искры света, погруженные во тьму материи. В книге Зогар сказано:

Существовали древние миры, которые погибали, как только они нарождались; миры оформленные и неоформленные, называемые искрами, – ибо они были подобны искрам, изпод молота кузнеца разлетающимся во всех направлениях. Некоторые из них были первичными мирами, которые не могли долго существовать, ибо Ветхий Днями – да будет свято имя Его – еще не облекся в форму свою, рабочий (т.е. Адам Кадмон) не стал еще небесным человеком.

Упомянутые «искры» напоминают о черных (на самом деле – ярко светящихся) мини-дырах, которые играют существенную роль на ранних этапах развития Вселенной в некоторых теориях ее эволюции (см. книгу Хокинга). Согласно современным представлениям квантовой космологии, вселенные (обратите внимание на множественное число!) рождаются в результате квантовых флуктуаций пространственно-временной «пены» с характерным планковским размером 10^{-33} см; подавляющее большинство их тут же «схлопывается», и лишь очень немногие раздуваются до макроскопических размеров, превращаясь во Вселенные типа нашей. Законы физики в этих Вселенных могут быть различны (см. обсуждение антропного принципа в разделе 6.3).

Сосуды стеклянные и сосуды глиняные появляются с помощью огня. Но сосуды стеклянные, если они разбиваются,

создаются снова, ибо они появляются от дуновения. Сосуды же глиняные, если они разбиваются, уничтожаются, ибо появляются они без дуновения.

(Евангелие Филиппа 51, ср. с Иер.18:4–6, Рим.9:21)

Разумеется, относящееся к мирам относится и к каждому человеку.

Бог, повелевший из тьмы воссиять свету, озарил наши сердца, дабы просветить нас познанием славы Божией в лице Иисуса Христа. Но сокровище сие мы носим в глиняных сосудах, чтобы преизбыточная сила была приписываема Богу, а не нам.

(2 Кор.4:6–7)

В иудейских мидрашах повторное описание творения в Быт. 1 и Быт.2:4 комментируется так:

Миров многое множество созидал и разрушал Всевышний, – созидал и уничтожал, пока не была сотворена вселенная. И сказал Господь: «Те миры негодились, а в этом все прекрасно».

6.2. Необратимость и трагедия времени

И сказали они: «Это ведь – только наша ближняя жизнь; умираем мы и живем; губит нас только время». Нет у них об этом никакого знания, они ведь только предполагают!

(Коран 45:23(24))

Знаешь ли ты время, когда рождаются дикие козы на скалах, и замечал ли роды ланей? Они изгибаются, рождая детей своих, выбрасывая свои ноши; дети их приходят в силу, растут на поле, уходят и не возвращаются к ним... Можешь ли веревкою привязать единорога к борозде, и станет ли он боронить за тобою поле? Поверишь ли ему, что он семена твои возвратит и сложит на гумно твое?

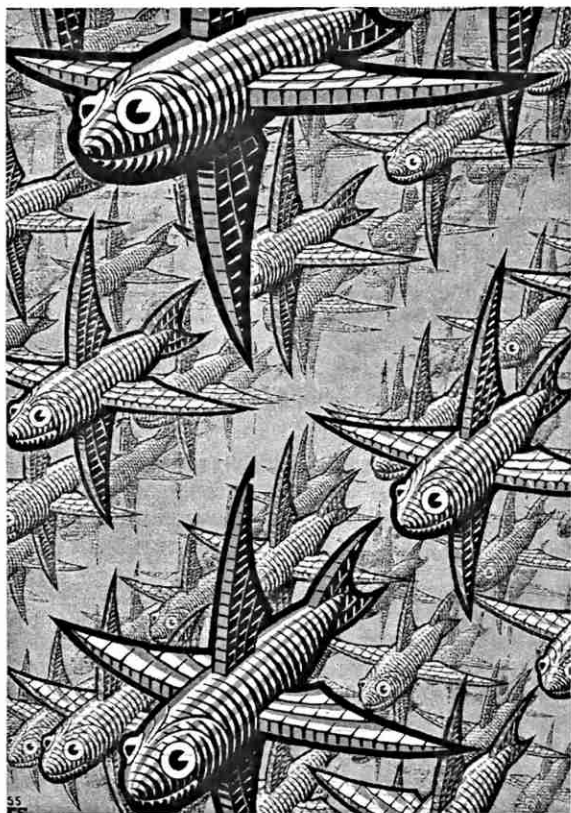
(Иов 39)

Ты возвращаешь человека в тление и говоришь: «возвратись, сыны человеческие!»

(Псалтырь 89:4)

Никто, возложивший руку свою на плуг и озирающийся назад, не благонадежен для Царствия Божия.

(От Луки 9:62)



Одним из наиболее фундаментальных свойств времени в естественно-научной картине мира является его необратимость, то есть принципиальное различие между прошлым и будущим. Этим временная «координата» отличается от пространственных измерений.

Всегда можно вернуть потерянное пространство, но никогда нельзя наверстать потерянное время.

(Наполеон Бонапарт)

Таким образом, прошлое можно помнить (знать), но на него нельзя повлиять, будущее же знать невозможно, но на него можно влиять. Как уже отмечалось в связи со скандинавской мифологией, такое понимание времени не является самоочевидным и в действительности несвойственно большинству традиционных

культур. Трудность проблемы необратимости времени для современной науки связана с тем обстоятельством, что почти все *фундаментальные* физические законы являются обратимыми. Слово «почти» означает очень небольшое нарушение обратимости времени для некоторых процессов, обусловленных так называемым слабым взаимодействием элементарных частиц, которое может нарушать СР- и Т-инвариантность (см. основной текст книги). Эта необратимость, по-видимому, играла важную роль на ранних этапах эволюции нашей Вселенной, то есть в эпоху, близкую к Большому Взрыву. Согласно идее А. Сахарова, именно такая необратимость в конечном счете ответственна за преобладание в нашей Вселенной вещества над антивеществом. Тем не менее, согласно естественно-научной картине мира, в современной Вселенной почти все определяется электромагнитными и гравитационными взаимодействиями, а их законы полностью обратимы. Это резко противоречит необратимости почти всех процессов, протекающих в реальном мире на макроуровне (например, переход механической энергии в тепло при трении, денатурация белка при нагревании, расширение газа в пустоту, и т. д.). Существование таких процессов постулируется одним из наиболее надежно экспериментально подтвержденных законов природы – вторым началом термодинамики. Согласно формулировке этого закона, предложенной Р. Клаузиусом, можно ввести некоторую функцию состояния системы, называемую энтропией. При некоторых (очень немногих) процессах энтропия сохраняется; такие процессы в принципе обратимы. Практически при всех реальных процессах энтропия возрастает; процессы с убыванием энтропии невозможны.

Нелегкую проблему вывода второго начала термодинамики из обратимых законов механики и электродинамики поставил и попытался решить в конце XIX века Л. Больцман. В общих чертах его подход к проблеме состоит в признании вероятностного, или статистического смысла второго начала. Согласно Больцману, процессы, запрещенные вторым началом термодинамики, не невозможны, но чрезвычайно маловероятны. Рассмотрим в качестве примера расширение газа в пустоту. Обратный процесс, когда газ собирается снова в баллон, из которого он выпущен, не противоречит закону движения молекул. Однако он произойдет таким образом только если *строго* обратить скорости всех молекул. Уже небольшая ошибка в обращении движения (скажем, из-за малого, но конечного взаимодействия с окружением) приведет к тому, что газ *не* соберется в баллон. В приро-

де реализуются только «грубые» состояния, возможность реализации которых слабо чувствительна к таким ошибкам. Проблема микроскопического обоснования второго начала термодинамики с точки зрения классической физики тесно связана таким образом с устойчивостью движения (в квантовой физике источником необратимости, согласно теории измерений Дж. фон Неймана, являются также измерения, то есть неконтролируемая процедура взаимодействия микрообъекта с прибором, подробнее см. раздел 4). Соответствующая математическая теория была разработана во второй половине XX века в трудах А. Колмогорова, Я. Синая, Д. Аносова, В. Арнольда, С. Смейла и других математиков (подробнее об этих вопросах можно прочитать в относительно популярно написанных книгах: Г.А. Гальперин, А.Н. Земляков. Математические биллиарды. М., Наука, 1990; И. Пригожин. От существующего к возникающему).

Для того, чтобы в рамках ньютоновской механики понять природу необратимости времени, то есть различия между прошлым и будущим, необходимо поставить вопрос иначе – не об индивидуальной траектории частиц системы, а о поведении *пучка близких траекторий*. Предположим, что координаты и скорости всех частиц в некоторый момент времени известны со сколь угодно малой, но конечной погрешностью. Если описывать, как это принято в современной механике, поведение системы как движение точки в многомерном фазовом пространстве (в котором по осям отложены компоненты координат и скоростей всех частиц – тем самым, по 6 осей на каждую частицу), то эта точка начинает свое движение в некотором «гиперпараллелепипеде», стороны которого – величины погрешностей. Будем следить за эволюцией всей этой области. Если все силы в системе консервативны, то есть выполняется закон сохранения энергии, то, согласно одной из основных теорем классической механики – теореме Лиувилля, – объем области в процессе движения остается постоянным. В то же время ее *диаметр*, то есть расстояние между наиболее удаленными ее точками, может, оказывается, расти, причем очень быстро (по экспоненциальному закону). Исходная «клякса» в фазовом пространстве, грубо говоря, расплывается, утоньшаясь. Показатель, определяющий скорость этого расплывания, обычно называют колмогоровской энтропией. Такое поведение характерно не для всех систем (скажем, оно не имеет места для столь излюбленного в школьной физике гармонического осциллятора или при кеплеровском движении по орбите под действием гравитации).

С другой стороны, оно не является и экзотикой, например, возникая уже для одной частицы, движущейся по части плоскости, ограниченной кривой с участками, «выпуклыми внутрь», и отражающейся от стенок по законам упругого удара – «бильярд Синая». Для систем, состоящих из большого числа частиц, такое поведение «типично», то есть «гораздо больше» систем ведет себя как «бильярд Синая», чем как гармонический осциллятор. Почти любая система, состоящая из достаточно большого числа взаимодействующих частиц, а тем более вся Вселенная, относится к системам с конечной колмогоровской энтропией. Это означает, что любая сколь угодно малая погрешность в задании начальных данных приводит к сколь угодно большой погрешности в результате, или, иными словами, две сколь угодно близкие траектории системы со временем разойдутся сколь угодно далеко. Именно для таких систем и можно обосновать второе начало термодинамики.

При обсуждении идеи «вечного возвращения» в трудах Ницше и др. (см также эссе Борхеса «Циклическое время», «Доктрина циклов») часто используются рассуждения, напоминающие доказательство теоремы возврата Пуанкаре – перебор всех возможных состояний системы. По-видимому, реального значения такие построения не имеют – время возврата получается слишком большим и несопоставимым даже с временем жизни Вселенной.

Как все же относиться к тому факту, что реально необратимое поведение макрообъектов является следствием обратимости законов, действующих на микроуровне? Бельгийский физико-химик И. Пригожин, много занимавшийся вопросами обоснования второго начала термодинамики, в конце концов пришел к выводу о фундаментальной роли необратимых процессов.

Необратимые процессы столь же *реальны*, как и обратимые, и не соответствуют дополнительным ограничениям, которые нам приходится налагать на законы, обратимые во времени.

(И. Пригожин. *От существующего к возникающему*, с. 11, 12)

Итак, мы приходим к выводу, что нарушенная временная симметрия является существенным элементом нашего понимания природы... Стрела времени не противопоставляет человека природе. Наоборот, она свидетельствует о том, что человек является неотъемлемой составной частью эволюционирующей Вселенной.

(там же, с. 252)

Пригожин фактически дополняет фундаментальные законы природы требованием, чтобы процессы, противоречащие второму началу термодинамики, были *строго* запрещены. Тогда, как он показывает, для систем с неустойчивым движением (подобным бильярдам Синая) можно ввести «внутреннее время», описывающее необратимые изменения состояния таких систем. Аналогичные идеи в рамках классической механики, также с трудом поддающиеся корректной формализации, ранее высказывал астроном Н. Козырев.

Вольноотпущенник Времени возмущает его рабов.
Лауреат Госпремии тех, довоенных годов
ввел формулу Тяжести Времени. Мир к этому не готов.

(А. Вознесенский. *Астрофизик*)

Пригожин обращает внимание на связь своей концепции с линейным временем Ветхого и Нового Завета, не раскрывая, впрочем, детально характер этой связи. В то же время следует иметь в виду, что библейская концепция времени, как обсуждалось выше, существенно сложнее. Пригожин считает существенным недостатком современного естествознания как раз непонимание фундаментальной роли необратимости, особенно обращая внимание на «атемпоральную» позицию Эйнштейна.

Отрицание времени было искушением и для Эйнштейна, ученого, и для Борхеса, поэта. Оно отвечало глубокой экзистенциальной потребности.... Физика, для того, чтобы иметь в глазах Эйнштейна какую-то ценность, должна была удовлетворять его потребности в избавлении от трагедии человеческого существования.

(И. Пригожин, И. Стенгерс. *Время, хаос, квант*, с. 260)

Этический аспект необратимости обсуждается философом О. Вейнингером, который противопоставляет ограниченность власти человека только настоящим всемогуществу Бога (для Него вечность и настоящее сливаются).

Односторонность времени... и есть причина отвращения к возвращающимся, вращательным формам движения. Эта форма движения, как оказалось, не этична. Причина односторонности времени должна, следовательно, лежать в области морали... Безнравственно дважды сказать одно и то же... Безнравственно желать изменить прошлое... Ложь – это желание власти над прошлым... Жизнь невозвратима; нет обратного пути от смерти к рождению. Проблема односторонности времени – это вопрос о смысле жизни.

(О. Вейнингер. *Проблема времени*)

Указание на связь времени с трагедией человеческого существования кажется очень глубоким и имеет аналогии во многих религиозных и опирающихся на традицию философских системах (см., например, подробное обсуждение этого вопроса в беседах Д. Бома с Дж. Кришнамурти). В следующем отрывке используется библейский образ льва, символизирующий Бога (см, напр., Осия 5:14, Иов 10:16).

– Вы обещаете не... ничего не делать, если я подойду? – спросила Джил.

– Я не даю обещаний, – ответил лев.

Джил так хотелось пить, что, сама того не замечая, она подошла на шаг ближе.

– Вы едите девочек? – спросил она.

– Я проглотил много девочек и мальчиков, мужчин и женщин, королей и императоров, городов и царств, – ответил лев. Он сказал это без хвастовства, сожаления или гнева. Просто сказал.

– Я боюсь подойти, – сказала Джил.

– Тогда ты умрешь от жажды, – заметил лев.

– Вот ужас! – сказала Джил, делая еще один шаг вперед. – Лучше я пойду поищу другой ручей.

– Другого ручья нет, – сказал лев.

(К. Льюис. Серебряное кресло)

Греческий бог времени Кронос (Сатурн) пожирает собственных детей. В индуизме божество времени Кала (либо богиня Кали, олицетворяющая божественную энергию – шакти) ассоциируются со смертью и разрушением.

– Как воды рек стремительно и шумно несутся в великий океан, так устремляются те могучие воины, цари Земли, в Твои отверзтые, палящие уста..., чтобы, исчезнув в них, найти там смерть. Все поглощая впереди и позади и со всех сторон, пламя бесчисленных Твоих языков испепеляет всех... Что сокрыто в Тебе – я стремлюсь познать. Но Твой нынешний образ ужасает меня.

– Я – Время, что несет отчаяние в мир, что истребляет всех людей, являя свой закон на Землю. Никто из воинов, которые, готовясь к битве, строятся в ряды, не ускользнет от смерти. Ты один (личный смысл! – В.И., М.К.) не перестанешь жить.

(Бхагавадгита 11:29–32, диалог Арджуны и Кришны)

Особенно остро и конкретно ставится проблема освобождения от времени в буддизме. Предельно трагическое отношение ко времени характерно для гностицизма, где говорится о заброшенности и изгнании душ в пространство (эоны) и время.

Они (власти) породили Судьбу и через меры, периоды и времена сковали богов на небесах, ангелов, демонов и людей, так что все попали под ее узы.

(Апокриф Иоанна)

Я (Спаситель) скитался по мирам и поколениям... В этом мире я пребываю тысячи мириадом лет, и никто не узнал, что я был там.

(Мандейский текст)

Не менее обостренно и тонко воспринималась тема зависимости от времени в западной традиции, в частности, российской интеллигенцией (вспомним знаменитую строку Пастернака «у времени в плену»). Не последнюю роль здесь сыграли трагические события XX века.

Георгий Иванович [Гурджиев] любил повторять: «Знатоки времени знают *свое* время и оттого не зависят от времени вообще».

(А.М. Пятигорский. Философия одного переулка)

В книге «Страх и трепет» С. Кьеркегор связывает понятие веры с движением (скачком) за пределы временности, конечности.

Стремление Пригожина привести физическую картину мира в большее соответствие с повседневным опытом человеческой жизни, в котором различие между прошлым и будущим в самом деле играет решающую роль, по-видимому, все-таки приводит не к обогащению, а к обеднению картины мира. Вероятно, в действительности обратимость микроскопических законов движения является неким намеком на более глубокий уровень реальности, на котором нет столь привычного для нас различия между прошлым и будущим, в соответствии с «искусением» Эйнштейна, о котором говорится в приведенной выше цитате.

Вопрос о природе необратимости подробно обсуждается в упоминавшейся книге С. Хокинга «Краткая история времени». Согласно Хокингу, можно ввести три «стрелы времени» (по терминологии Эддингтона): термодинамическую (рост энтропии, т.е. беспорядка), психологическую, определяемую субъективным ощущением (память человека относится к прошлому, а не к будущему), и космологическую, определяемую расширением Вселенной. Большой интерес представляет связь этих трех понятий времени. В диалоге Платона «Политик» (269d, 270d-e) об этом сказано так:

Бог то направляет движение Вселенной, сообщая ей круговращение сам, то предоставляет ей свободу – когда кругообороты Вселенной достигают подобающей соразмернос-

ти во времени; потом это движение самопроизвольно обращается вспять... На всех животных тогда нападает великий мор, да и из людей остаются в живых немногие. И на их долю выпадает множество поразительных и необычных потрясений... Возраст живых существ, в каком каждое из них тогда находилось, сначала таким и остался, и все, что было тогда смертного, перестало стареть и выглядеть старше; наоборот, движение началось в противоположную сторону и все стали моложе и нежнее: седые волосы старцев почернели... гладкими стали и тела возмужалых юнцов, с каждым днем и с каждой ночью становясь все меньше, пока они вновь не приняли природу новорожденных младенцев и не уподобились им как душой, так и телом. Продолжая после этого чахнуть, они в конце концов уничтожались совершенно.

Аналогичные описания «обращения» хода времени содержат описание Страны Блаженства в «Трудах и днях» Гесиода. Согласно буддийским сутрам, в периоды деградации продолжительность человеческой жизни падает от практически бесконечной до десяти лет, а в периоды подъема – возрастает.

У людей, что будут жить по десять лет, о монахи, друг на друга, друг против друга будет на уме лютая злоба, лютая свирепость, лютое ожесточение, лютые душегубные помыслы – и у матери к сыну, и у сына к матери, и у отца к сыну, и у брата к брату... Для людей, что будут жить по десять лет, о монахи, на семь дней настанет «пора мечей»: они друг в друге увидят зверей, в руках у них острые мечи окажутся, и с мыслями: «Вот зверь! Вот зверь!» – будут лишать друг друга жизни (ср. с апокалиптическими картинами Нового Завета, напр., Мф.24, и песнями Старшей Эдды). И вот, о монахи, некоторым людям так подумается: «Что нам до всех, что всем до нас!..» Заберутся они в заросли травы, заросли кустарника, заросли деревьев, речные протоки, расселины скал и проживут там семь дней, питаясь лесными корешками и плодами. А спустя семь дней выйдут они... и вместе вздохнут: «Хорошо, что ты жив, хорошо, что ты жив!» И тут, о монахи, этим людям подумается: «...Что, если мы теперь станем совершать благие дела?...» Воздержатся они от смертоубийства и станут этой благой дхармы придерживаться. И от приверженности к благим дхармам у них и жизненный век, и красота прибывать станут... Их дети станут жить по двадцать лет... У людей, что будут жить по сорок тысяч лет, дети станут жить по семьдесят тысяч лет.

(Львиный рык миродержца)

Полная схема циклической эволюции в буддийской Абхидхарме является очень сложной: большая (великая) кальпа состоит из 80 малых (промежуточных) кальп – 20 кальп созидания, 20 развития, 20 разрушения, 20 состояния рассеяния. Существа обретают просветление на протяжении трех великих кальп. Следует еще раз отметить, что в действительности в буддизме речь идет не о реальном историческом времени, а скорее о способе описания и упорядочения психологических и идеологических феноменов. Упоминание «космологической стрелы» можно найти в Коране.

И ночью прославляй Его и при обратном движении звезд.

(Коран 52:49)

В простой модели эволюции Вселенной Хокингу удалось получить смену роста энтропии ее падением с началом сжатия Вселенной (т.е. с поворотом космологической стрелы), но в дальнейшем, после более общего анализа, он отказался от этого вывода. Исходя из аналогии мозга с компьютером, ячейки памяти которого при получении информации переходят из неупорядоченного состояния в упорядоченное, Хокинг заключил, что психологическая стрела времени совпадает с термодинамической (похожие рассуждения можно найти в «Кибернетике» Н. Винера). Однако в предыдущих разделах мы видели, что такая аналогия, принижающая роль человеческого сознания, сомнительна и неполна. Таким образом, этот вопрос остается открытым. Он тесно связан с такими проблемами, как возможность ясновидения, достоверность пророчеств и т.д. (см., например, замечания в разделе 6.1).

– Ничего не понимаю! – протянула Алиса. Все это так запутано!

– Просто ты не привыкла жить в обратную сторону, – добродушно объяснила Королева. – Поначалу у всех кружится голова... Одно хорошо. Помнишь при этом и прошлое, и будущее.

– У меня память не такая, – сказала Алиса. – Я помню только прошлое.

– Значит, у тебя очень скверная память! – заявила Королева.

(Л. Кэрролл. Алиса в Зазеркалье)

Вопрос о соотношении психологической и термодинамической стрелы времени связан и с давней проблемой «демона Максвелла». В своих рассуждениях о природе второго начала термо-

динамики Дж. Максвелл, являющийся не только создателем классической электродинамики, но и одним из основателей современной статистической физики, рассмотрел следующую мысленную ситуацию. Предположим, что мы имеем газ в сосуде, разделенном перегородкой с маленьким отверстием, причем температура поддерживается постоянной. Молекулы двигаются с разными скоростями, в соответствии с найденной Максвеллом функцией распределения. Пусть у перегородки дежурит маленькое существо – демон, которое пропускает слева направо только молекулы, двигающиеся со скоростью больше некоторой критической скорости, а справа налево – меньше критической. Затем отверстие закрывается, и половины сосуда теплоизолируются. После установления теплового равновесия в каждой из частей сосуда температура в правой половине окажется выше, чем в левой. Весь этот процесс противоречит второму началу термодинамики и в принципе может быть использован для совершения полезной работы за счет энергии хаотического теплового движения молекул. В чем же ошибка нашего рассуждения?

Если в качестве демона рассматривать некое механическое устройство и учесть, что его молекулы тоже неизбежно вовлечены в процесс хаотического теплового движения, то можно показать, что работать такое устройство не будет (детальный анализ соответствующей конструкции «храповик и собачка» дан в 4-м выпуске Фейнмановских лекций; более популярное изложение см. в книге Р. Фейнмана «Характер физических законов»). В то же время, если под демоном понимать некоторое разумное существо, способное к осмысленным действиям, парадокс остается. Разрешение его возможно лишь при учете более тонких соображений (впервые высказанных Л. Сциллардом) о том, что процессы сбора, переработки и хранения информации о состоянии молекул сами по себе сопровождаются ростом энтропии. Если даже свести все потери энергии к минимуму, окажется, что уменьшение энтропии Вселенной в результате действий демона как минимум компенсируется увеличением энтропии его мозга. Детальный анализ (см. статью Ч. Беннета в списке литературы) показывает, что, как это ни парадоксально, главная причина невозможности успешной работы демона состоит в необходимости *забывания* им полученной случайной информации о системе.

Кроме смерти, нет ни одного нормального процесса, который бы полностью очищал мозг от всех прошлых впечатлений, а после смерти нельзя заставить мозг действовать снова.

Из всех нормальных процессов всего ближе к непатологическому очищению сон.

(Н. Винер. Кибернетика, с. 197)

Данную проблему можно было бы обойти, если бы демон обладал бесконечной памятью. Во всех этих рассуждениях мозг, как и в анализе Хокинга, уподобляется компьютеру с хранением информации в двоичном коде. Насколько нам известно, вопрос о возможности нарушения второго начала существом с мозгом, устроенным по типу моделей нейронных сетей, в ситуациях типа мысленного опыта Максвелла в строгой постановке не исследовался. Тем более неясен этот вопрос в свете более общих «трансперсональных» подходов, обсуждавшихся в гл. 3, 5 (вспомним здесь проблему открытости мира и сознания).

Другой чрезвычайно интересный (и до конца не проясненный) вопрос, связанный со вторым началом термодинамики, — это вопрос о роли начальных и граничных условий к законам физики. По-видимому, впервые он был поставлен в четкой форме в 1909 г. В. Ритцем в полемике с А. Эйнштейном. Сами по себе основные законы электромагнетизма — уравнения Максвелла — обратимы, однако реально (на что обратил внимание Ритц) мы всегда рассматриваем в качестве допустимых лишь часть возможных решений, соответствующих так называемым запаздывающим волнам, и отбрасываем опережающие волны. Так, для колеблющегося заряда запаздывающие решения уравнений Максвелла соответствуют волнам, распространяющимся во все стороны от заряда, а опережающие — сходящимся к заряду. Уравнения Максвелла действительно имеют такие решения, но мы их обычно отбрасываем как не соответствующие реальности, что и является истинным источником необратимости.

С другой стороны, Дж. Уилер и Р. Фейнман показали, что все результаты классической электродинамики могут быть получены при использовании обратимых во времени решений уравнений Максвелла, равных полусумме опережающих (идуших из будущего!) и запаздывающих решений. При этом в соответствии с позицией, отстаиваемой Эйнштейном в полемике с Ритцем, необратимое поведение возникает только в результате операции усреднения по состояниям поглотителей. Более того, такой подход, сохраняя все достижения теории Максвелла, свободен от ряда трудностей, например, от проблемы бесконечной собственной энергии электрона. При переходе к квантовому случаю ситуация, правда, опять радикально изменяется. Дело в том, что принцип отбора решений, аналогичный использованию

лишь запаздывающих волн, глубоко заложен в основах современной квантовой теории поля. Этот принцип – сам по себе, без какой-либо конкретизации законов динамики – приводит к так называемым дисперсионным соотношениям, выражающим причинность; их следствия неизменно подтверждались во всех выполненных до настоящего времени экспериментах. В то же время до сих пор никем не построена удовлетворительная квантовая версия электродинамики Уилера-Фейнмана, и неясно, можно ли это сделать в принципе. Отметим еще, что использование опережающих решений лежит в основе упоминавшейся в главе 3 трансакционной интерпретации квантовой механики, согласно которой каждый акт измерения в определенном смысле изменяет прошлое системы. Влияние будущего на прошлое является излюбленной темой научной фантастики.

В феноменологических подходах, развивавшихся Пригожиным и др., влияние «будущего» определяется так называемым аттрактором – состоянием, к которому стремится система. Дискуссионность таких вопросов показывает, что даже в рамках чисто естественно-научного подхода проблема необратимости (соотношения прошлого и будущего) далека от удовлетворительного решения.

6.3. Эволюция и конец времени

*Что за смех, что за радость, когда весь мир горит?
Покрытые тьмой, почему вы не ищете света?*

(Дхаммапада. Глава о старости, 146)

Аллах сжимает и щедро дает, и к Нему вы будете возвращены!

(Коран 2:245)

Когда наступит великая смерть, осуществится великая жизнь.

(Дзен)

Кто говорит, что... начало тождественно концу, а конец есть мера начала, – да будет анафема.

(V Вселенский Собор, 553 г.)

Вопрос о механизмах эволюционного развития является одним из самых сложных (и, пожалуй, одним из наиболее важных)



в современной науке. Последняя исходит из признания факта появления все более и более сложных структур во Вселенной с течением времени: от однородной горячей водородно-гелиевой плазмы к галактикам, звездам и планетам; от неживой материи к живым организмам, и, наконец, от «примитивной» психики животных – к разуму. Надо, однако, подчеркнуть, что только первый из отмеченных здесь «скачков» в эволюции материи действительно достаточно хорошо изучен естественно-научными методами (см., напр., книгу Я.Б. Зельдовича и И.Д. Новикова «Строение и эволюция Вселенной»).

Решение Фридмана, в зависимости от плотности вещества во Вселенной, дает три варианта эволюции – бесконечное расширение (пространство искривлено, как поверхность седла, и бесконечно; дальнейшая эволюция такой Вселенной, напоминающая тепловую, точнее, «холодную» смерть, обсуждается в работе Ф. Дайсона «Время без конца: физика и биология в от-

крытой Вселенной», впрочем достаточно оптимистичной), расширение с последующим сжатием и сгоранием (пространство конечно и замкнуто, время – отрезок, имеющий начало и конец, что соответствует восточной концепции циклов), и «промежуточный» вариант, когда пространство евклидово (плоское). Вопрос о выборе модели зависит от распределения вещества во Вселенной (здесь многое определяется количеством «темной» материи, обнаруживаемой в астрономических наблюдениях по косвенным данным; физическая природа ее в настоящее время неясна). Согласно последним данным, наиболее вероятен сценарий с бесконечным расширением Вселенной (см., напр., Волков А. Впишите в хронологию слово «вечность» // Знание-сила, 2000. № 1. С. 36); при этом в определенном смысле возрождается концепция космологической постоянной Эйнштейна (раздел 6.1). По-видимому, плотность вещества в целом близка к критической, и скорость расширения мала: при слишком быстрой эволюции Вселенной просто не хватило бы времени для формирования галактик, звезд и планет. С.Хокинг писал:

Уменьшение скорости расширения на одну единицу в 10^{12} в тот момент, когда температура Вселенной была 10^{10} К, привело бы к тому, что Вселенная бы снова начала сжиматься, когда ее радиус составлял бы только $1/300$ нынешнего значения, а температура была бы только 10000°K .

В связи с последним фактом уместно перейти к подробно обсуждению важного мировоззренческого обобщения современной науки, которое получило название *антропный принцип*. По формулировке американского физика Дж. Уилера, «не только человек приспособлен к Вселенной, но и Вселенная приспособлена к человеку». В частности, масса нейтрона чуть больше, чем сумма масс протона и электрона, и поэтому в обычных условиях атом водорода стабилен (соответствует минимуму энергии), а нейтрон – нет. Если бы соотношение масс было обратным (что не противоречит никаким из известных в настоящее время фундаментальным физическим законам), Вселенная состояла бы главным образом из нейтронов, и ни химия, ни биология в известных нам формах не существовали бы. Ниже мы приведем и другие примеры, которые свидетельствуют, что структура Вселенной весьма чувствительна к значениям фундаментальных констант, причем их заметное изменение делает существование человека невозможным. Как отмечалось в главе 5, в свете антропного принципа можно объяснить даже факт трехмерности пространства.

Для человека, верящего в Божественный промысел, антропный принцип выглядит очень естественно. Современная наука, начиная с Дарвина старающаяся объяснять целесообразность в природе случайным перебором возможностей, выдвинула, как отмечалось выше, концепцию множественного рождения Вселенных (точнее, Метагалактик), лишь незначительная часть которых имеет условия, благоприятные для разумной жизни. По формулировке российского космолога А. Зельманова, «мы являемся свидетелями процессов определенного типа, потому что процессы другого типа протекают без свидетелей». Впрочем, и здесь возникают ассоциации не столько с позитивистской «дарвиновской» наукой, сколько с каббалистическими «искра-ми» и с «сосудами стеклянными и глиняными».

Ключевую роль в эволюции Вселенной после отделения вещества от излучения (раздел 6.1) играет известное в классической механике явление гравитационной неустойчивости. Грубо говоря, так как гравитация — это всегда притяжение, случайное возрастание плотности вещества в какой-то области пространства неизбежно приведет, за счет гравитационных сил, к дальнейшему возрастанию плотности и к расслоению первоначально однородного распределения вещества. Таким образом, возникают скопления галактик, затем галактики и, наконец, звезды.

Кто может расчислить облака своею мудростью и удержать сосуды неба, когда пыль обращается в грязь и глыбы слипаются?

(Иов 38:37–38)

В конечном счете именно за счет гравитационной энергии внутренности протозвезд разогреваются до температур, когда становятся возможными термоядерные реакции, и начинается химическая эволюция Вселенной — приготовление тяжелых элементов. Вначале звезды представляют собой водородно-гелиевые шары, сжавшиеся и разогревшиеся до такой степени, что в их центральной области начинаются термоядерные реакции, то есть процессы слияния легких ядер в более тяжелые с выделением большого количества энергии. Единственным типом таких реакций в звездах первого поколения является так называемый «протонный цикл», в результате которого из четырех протонов (ядер водорода) синтезируется одна альфа-частица (ядро гелия). Когда весь водород «сгорает», звезда превращается в красный гигант. В дальнейшем начинается реакция слияния трех ядер гелия в ядро углерода и цепочка сложных реакций синтеза, в процессе которых возникают ядра железа. При опре-

деленных условиях звезда заканчивает свое существование в виде вспышки Сверхновой, в результате которой синтезируются элементы тяжелее железа (вплоть до трансурановых) и все «наработанные» в процессе эволюции элементы рассеиваются в космическое пространство. Соответственно звезды следующего поколения наряду с водородом и гелием содержат в небольшом количестве и более тяжелые элементы. Те элементы, из которых состоят планеты земного типа, а также те, которые образуют химическую основу жизни, формируются в процессе звездной эволюции. При этом ключевой является реакция слияния трех ядер гелия в ядро углерода (по ряду причин слияние двух ядер гелия не приводит к появлению устойчивых ядер). Вероятность таких процессов столкновения трех частиц, вообще говоря, мала. Ф. Хойл и Э. Солпитер показали, что углерод синтезируется в звездах в заметных количествах только благодаря «случайному» обстоятельству (антропный принцип!): из-за особенности энергетической структуры ядра углерода этот процесс носит *резонансный* характер. Если бы значения фундаментальных физических констант существенно отличались от реализующихся в нашей Вселенной, вероятность синтеза углерода и более тяжелых элементов была бы намного меньше и Вселенная состояла бы почти из чистой водородно-гелиевой смеси. В такой Вселенной жизнь в ее земных формах была бы безусловно исключена.

Следует отметить, что сейчас Вселенная не отождествляется с ее наблюдаемой частью (для которой используется термин Метагалактика) и допускается возможность разных условий в разных метагалактиках.

В настоящее время представляется более правдоподобным, что Вселенная в целом будет существовать вечно, нескончаемо порождая новые и новые экспоненциально большие области, в которых законы низкоэнергетического взаимодействия элементарных частиц и даже эффективная размерность пространства-времени могут быть различны. Мы не знаем, может ли жизнь неограниченно долго развиваться в каждой отдельной такой области, но мы знаем наверняка, что жизнь снова и снова будет зарождаться в разных областях Вселенной во всех своих возможных видах... Действие все еще продолжается, и, скорее всего, оно будет продолжаться вечно. В разных частях Вселенной разные зрители наблюдают его бесконечные вариации.

(А.Д. Линде. *Физика элементарных частиц и инфляционная космология*, с. 262)

В «синергетическом» подходе Пригожина (см. ниже) слабо связанные части Вселенной (миры) могут обладать разным временем и находиться на разных стадиях эволюции.

Разумеется, многие важные детали космогонических процессов до сих пор неясны, но принципиальных трудностей здесь, по-видимому, нет. В то же время вопрос о эволюции живого и особенно происхождении жизни является чрезвычайно трудным, а сама возможность его корректного рассмотрения в рамках естественных наук не доказана, хотя материалистически настроенные биологи и психологи и проявляют здесь оптимизм. По-видимому, достаточно надежно продемонстрирована возможность появления весьма сложных органических соединений в условиях, предположительно соответствующих атмосфере и гидросфере первобытной Земли. С другой стороны, обстоятельства решающего шага – появления самовоспроизводящихся структур из белков и нуклеиновых кислот – неясны совершенно. Дарвиновская гипотеза об естественном отборе как основном механизме прогрессивной биологической эволюции также вызывает ряд вопросов. Основная проблема здесь, по существу, является количественной – хватает ли времени существования Земли (не более 4.5–5 миллиардов лет) для превращения первичного бульона, состоящего из относительно простых молекул, в современную биосферу, включая человека, кальмара, муравья и т.д. Надо сказать, что физики и математики (например, Г. Вейль) часто занимают здесь гораздо более скептическую позицию, чем большинство биологов и биофизиков, которые обычно ограничиваются феноменологическим описанием эволюции на языке простых дифференциальных уравнений. Математическое рассмотрение показывает, что скоординированные мутации нескольких признаков (которые необходимы для формирования сложных структур – например, глаза) крайне маловероятны (особенно для признаков, которые не доминантны, а рецессивны, что типично) и требуют астрономического числа поколений.

Мне рассказывали о беседе математика и квантового теоретика фон Неймана с одним биологом по этому вопросу. Биолог был убежденным приверженцем современного дарвинизма, фон Нейман относился к дарвинизму с недоверием. Математик подвел биолога к окну своего кабинета и сказал: «Вы видите вон там на холме прекрасный белый дом? Он возник случайно. В течение миллионов лет геологические процессы образовали этот холм, деревья вырастали, сохли, разлагались и снова вырастали, потом ветер покрыл вершину

холма песком, камни туда забросило, наверное, каким-то вулканическим процессом, и они случайно вдруг легли друг на друга в определенном порядке. Так все и шло. Естественно, в ходе истории Земли благодаря этим случайным неупорядоченным процессам возникало большею частью все время что-то другое, но однажды через много, много времени возник этот дом, потом в него вселились люди и живут в нем сейчас». Биологу было, разумеется, немного не по себе от такой логики.

(В. Гейзенберг. Физика и философия, с. 236)

Следует отметить, что к «обычной» дарвиновской эволюционной теории критически относились и некоторые выдающиеся биологи: Тимофеев-Ресовский, Любищев. Другой количественный вопрос связан с возможностью хранения всей информации о человеке (более того, памяти рода и даже всего мира, ср. гл. 5) в рамках генной структуры. Этот вопрос аналогичен проблеме взаимоотношения сознания и мозга — гены можно рассматривать и как символы-приемники.

В последнее время усилиями прежде всего И. Пригожина и его школы, а также многочисленных «синергетиков» был получен ряд интересных результатов в области теории формирования так называемых диссипативных структур. Было показано, что в открытых термодинамических системах (то есть обменивающихся энергией и веществом с внешним миром), далеких от состояния термодинамического равновесия, возможно возникновение неоднородных (например, периодических) распределений концентрации, температуры и т. д. Широкую известность получили периодические (автоколебательные или, точнее, автоволновые) химические реакции, первая из которых была открыта в 50-х гг. советским химиком Б. Белоусовым. Впрочем, еще ранее были известны автоволновые процессы в явлениях конвекции, процессах горения и др. Безусловно, демонстрация принципиальной возможности существования долгоживущих нетривиальных (в смысле пространственной неоднородности и временной динамики) состояний физико-химических систем является большим достижением. С другой стороны, неявно подразумеваемая цепочка рассуждений во многих работах этого направления (вот мы объяснили, откуда берутся конвективные ячейки Бенара; теперь предоставляем читателю в качестве самостоятельного упражнения понять, что такое жизнь) временами производит впечатление некоторой легковесности. Некоторые биологи (см., напр., Э.С. Бауэр. Теоретическая биология.

М.-Л., 1935) полагают, что функционирование живой клетки обусловлено не *внешними* неравновесными потоками, а *внутренними* причинами, которые и определяют продолжительность ее жизни и смерти; с этой точки зрения деятельность клетки по «нарушению» второго начала термодинамики за счет потенциала генетической информации напоминает демона Максвелла. Что же касается третьего скачка – происхождения (человеческого) разума, – сама возможность естественно-научного анализа этой проблемы кажется нам сомнительной как ввиду отсутствия серьезных подходов, так и в силу философских трудностей, связанных с проблемой первичности сознания.

Теория диссипативных структур затрагивает чрезвычайно серьезный вопрос о происхождении порядка из хаоса, сложного из простого. В отличие от оккультных (например, теософских) схем, традиционные мировоззрения говорят скорее об органическом росте и раскрытии (как физическом, так и духовном), а не об эволюционном развитии.

То, что не существует в начале и в конце, не существует и в середине.

(Гаудапада. Мандукья-Карики 2:6)

Блажен тот, кто существует до того, как он появился. Ибо тот, кто существует, был и будет.

(Евангелие от Филиппа 57)

Телесное восприятие шатко и смутно,
но существует чистый огонь внутри, пламя, подобное Аврааму,
которое есть Альфа и Омега. Кажется, что люди
происходят с этой планеты и развиваются на ней, но по сути
человечество – первопричина зарождения мира.

(Руми. Маснави 4)

Традиционная точка зрения на процесс развития высказана также Р. Геноном

...Если бы мы даже придерживались идеи «первоначальной простоты», то вовсе не понятно, почему все должно начинаться с простого, чтобы потом усложняться; напротив, если представить себе, что зародыш какого-нибудь существа с необходимостью содержит в себе виртуально все то, чем это существо будет впоследствии, то есть все возможности, которые развернутся в ходе его существования, там уже заключены, то это заставляет думать, что начало каждой вещи должно быть на самом деле крайне сложным, ... самое маленькое по количеству должно быть самым большим по качеству.

(Царство количества и знаменья времени, с. 82)

Эта точка зрения может быть проиллюстрирована отрывком из пролога к «Сильмариллиону» Р. Толкиена.

И когда они оказались в пустоте, Илюватар сказал им: «Глядите, что сотворила ваша музыка!» И Он дал им возможность видеть там, где раньше они только слышали, и они увидели новый мир, возникший перед ними. И он имел форму шара, висящего в пустоте. И пока Аинур смотрели и удивлялись, этот мир начал раскрывать свою историю, и им казалось, что он живет и совершенствуется. Аинур долгое время вглядывались и молчали, а Илюватар заговорил снова: «Смотрите на дело вашей музыки! Это то, что вы напели. И каждый из вас найдет в его содержимом, в задаче, которую Я поставил перед вами, все то, что, как ему могло бы показаться, он придумал или добавил сам. И ты, Мелькор, обнаружишь там все тайные мысли твоего разума и ощутишь, что они – не более чем часть целого и помогают его славе».

Согласно многим традициям, мир как целое сотворен именно из хаоса. Что касается библейской картины происхождения мира, то слова еврейского оригинала «ве-хаарец хойту тоху вабоху» – «земля же безвидна и пуста» (Быт. 1:2) в одном из вариантов комментируются так:

В плане эмоциональном «тоху» выражает состояние предельного изумления и недоумения, связанного с предельной скорбью. Как понятие абстрактное, «тоху» – это состояние предельного нестроения и смятения, близкое к хаосу. Это тот «материал», из которого строится Мир. Тоху Земли – максимально приближено к тому «ничего», из которого Бог творит Мир... Тоху – хаос и тьма, но и потенция отстройки мира, его формы. В нашем Мире изначально наличествует ущерб, тьма и хаос. Что подразумевает и само слово Элоким (имя Бога в Быт. 1:1) – Бог, дающий закон и порядок, овладевающий, одолевающий хаос, «тоху».

(Б.И. Берман. Библейские смыслы, с. 10)

Р. Генон трактует соотношение обсуждаемой картины эволюции и творения *ex nihilo* следующим образом:

...Если говорят, что мир был образован из «хаоса», то его рассматривают исключительно с субстанциональной точки зрения, и тогда это начало надо рассматривать как вневременное, так как очевидно, время не существует в «хаосе», а существует только в «космосе». Если же обратиться к порядку развертывания проявления, который... претворяется в порядок временной последовательности, то тогда надо двигаться

... со стороны сущностного полюса, от которого проявление, согласно циклическим законам, постоянно удаляется, чтобы спуститься к субстанциональному полюсу. «Творение» как разложение «хаоса» в определенном смысле мгновенно, это, собственно, и есть библейское «Да будет свет».

(Цит.соч., с. 85)

Вернемся теперь к обсуждению человеческой истории. В отличие от «пессимизма» (впрочем, часто ложно понимаемого) восточных учений, западная философия нового времени, особенно в век Просвещения, придерживалась оптимистических концепций линейного прогресса разума и цивилизации (хотя ранее, в средние века, на понимание истории большое влияние оказывала идея астрологических циклов). Наиболее отчетливо такой подход проявился в философии истории Гегеля и Маркса. Однако в нашем веке стало очевидно, что этот оптимизм неоправдан. Концепции периодического кризисного развития занимают важное место даже в современной экономике. Идеи необратимости и хаоса используются в статьях политической направленности, принадлежащих современным последователям Генона.

Траектория процесса подчиняется строгим закономерностям лишь до определенного момента реального времени. За пределом этого момента «нормальное» время заканчивается и наступает парадоксальное «время Ляпунова»... Состоит оно не из раз навсегда заданной траектории (в четырехмерном пространстве), а из «событий», т.е. совершенно непредсказуемых движений... Хаос должен быть не просто пережит, но и осмыслен. Раз этого не произошло, то неизбежно повторение хаоса. Еще одна катастрофа, еще одна фаза социальных сдвигов, еще один аккорд «диссипативного скачка»... Но мы знаем, что «время Ляпунова» – это *наше* время. Поэтому рука сама тянется... (нет, пока не к тому, о чем вы подумали) к книгам Пуанкаре, Колмогорова, Стенгерс, Тома, Пригожина, Капра, Николиса, Мандельброта и других интересных авторов.

(А. Дугин. *Время Ляпунова*)

Следует также упомянуть концепцию этногенеза Л. Гумилева, где главную роль играет эволюция каждого этноса через стадии подъема, стагнации, упадка и гибели; при этом используются «энергетические» категории – пассионарность, ее толчки, обусловленные космическими излучениями, и т.д. (правда, в не совсем обычном для физиков смысле).

Философ, теолог и палеонтолог Тейяр де Шарден (1881–1955) рассматривал органическую эволюцию как прогрессивное дви-

жение по направлению к Богу, направляемое сознанием. Зло и страдания он рассматривал как космический процесс, связанный со вторым началом термодинамики.

...По целому ряду причин (и научных, и догматических) сегодня уже не представляется возможным рассматривать первородный грех как *простое звено* в цепи исторических фактов... Чтобы удовлетворять одновременно опытным данным и требованиям веры, грехопадение *не может быть локализовано* ни в определенном моменте времени, ни в определенном месте. Оно не вписано в наше прошлое как частное «событие». Но, выходя за пределы (и принимая вид всеобщего искривления) времени и пространства, оно «определяет» саму среду, в недрах которой разворачивается вся полнота нашего опыта.

...В самом общем и коренном значении слова смерть (т.е. распад) начинает обнаруживать себя практически уже в атоме (!). Входя в саму физико-химическую природу материи, она всего лишь выявляет на свой манер структуральную атомистичность Вселенной. Поэтому невозможно выйти из «смертного состояния» (и тем самым из сферы действия первородного греха), не выходя из самого мира... Если в мире есть первородный грех, то он может быть в нем только повсюду и всегда, от самых первых форм до самых отдаленных туманностей.

(П. Тейяр де Шарден.
Божественная среда, М., 1992, с. 193, 221)

Однако, как обсуждалось в гл. 3, с религиозной точки зрения наш мир нельзя считать замкнутой системой. В качестве силы, противостоящей энтропии, Тейяр де Шарден выдвигал духовную («радиальную») энергию:

Подобно тем раскаленным струям, которые пронзают самые твердые металлы, дух, притягиваемый Богом, проникает в мир и движется вперед... На всякое проявление веры и доверия Бог отвечает тем, что различными способами оказывает особое воздействие на скрытые пружины причинности.

(там же, с. 100, 102)

Когда эволюция исчерпает свой потенциал, должно произойти новое сверхъестественное вмешательство – Парусия (второе пришествие Христа).

Путь трансформации человечества на клеточном и даже внутриатомном уровне «изнутри» при помощи нисходящей силы был предложен и практически испробован современными мистиками индуистской традиции Шри Ауробиндо и Матерью.

Есть своеобразное состязание на пути к трансформации, – говорила Мать, – соревнуются двое: человек, который стремится преобразовать свое тело по образу божественной Истины, и старая привычка тела разлагаться. И весь вопрос в том, что наступит раньше – преобразование или разложение. ... Необходимо, чтобы *одно-единственное* человеческое существо завершило работу в течение *одной* жизни. Осуществленное хоть раз, это достижение может быть передано и другим.

(Сатпрем. Шри Ауробиндо или Путешествие сознания, с. 286–287)

К проблемам смысла существования и судьбы человечества неизбежно обращаются многие западные ученые.

Все же в своем признании случая как основного элемента в строении самой вселенной эти ученые очень близки друг другу, а также традиции св. Августина. Ибо этот элемент случайности, это органическое несовершенство можно рассматривать, не прибегая к сильным выражениям, как зло – негативное зло, которое св. Августин охарактеризовал как несовершенство, а не как позитивное предумышленное зло.

(Н. Винер. Кибернетика и общество, с. 27)

При этом чисто научный подход не дает оснований для оптимистических выводов.

Таким образом, вопрос о том, толковать ли второй закон термодинамики пессимистически, зависит от того значения, которое мы придаем вселенной в целом, с одной стороны, и находящимся в ней местным островкам уменьшающейся энтропии – с другой. Запомним, что мы сами составляем такой островок уменьшающейся энтропии и живем среди других таких островков... Мы в самом прямом смысле являемся терпящими кораблекрушение пассажирами на обреченной планете. Все же даже во время кораблекрушения человеческая порядочность и человеческие ценности не обязательно исчезают, и мы должны создать их как можно больше.

(там же, с. 51, 52)

В приведенных цитатах легко увидеть переключку с апокалиптическими книгами, написанными на рубеже нашей эры, в том числе неканоническими книгами Библии:

Сердце твое слишком далеко зашло в этом веке, что ты помышляешь постигнуть путь Всевышнего. ... Ибо как земля дана лесу, а море волнам его, так обитающие на земле могут разуметь только то, что на земле; а обитающие на небесах

могут разуместь, что на высоте небес. И отвечал я, и сказал: молю Тебя, Господи, да дастся мне смысл разумения. ... Переходим из века сего, как саранча, жизнь наша проходит в страхе и ужасе, и мы сделались недостойными милосердия. Он же отвечал мне: чем больше будешь испытывать, тем больше будешь удивляться; потому что быстро спешит век сей к своему исходу, а о том, о чем ты спрашивал меня, скажу тебе: посеяно зло, а еще не пришло время искоренения его. Посему, доколе посеянное не исторгнется, и место, на котором насеяно зло, не упразднится, — не придет место, на котором всеяно добро. Ибо зерно злого семени посеяно в сердце Адама изначала, и сколько нечестия народило оно доселе и будет рождать до тех пор, пока не настанет молотьба! Рассуди с собою, сколько зерно злого семени народило плодов нечестия! Как же и когда это будет? спросил я его; почему наши лета малы и несчастны? ... На это отвечал мне Иеремиил Архангел: «когда исполнится число семян в вас, ибо Всевышний на весах взвесил век сей, и мерою измерил времена, и числом исчислил часы, и не подвинет и не ускорит до тех пор, доколе не исполнится определенная мера». ... Отвечал я: ... покажи мне: имеющие придти более ли того, что прошло, или сбывшееся более того, что будет?... И я стал, и увидел: вот горящая печь проходит передо мною; и когда пламя прошло, я увидел: остался дым. После сего прошло предо мною облако, наполненное водою, и пролился из него сильный дождь; но как скоро стремительность дождя остановилась, остались капли. Тогда он сказал мне: размышляй себе: как дождь более капель, а огонь больше дыма, так мера прошедшего превысила, а остались капли и дым. Тогда я умолял его и сказал: думаешь ли ты, что я доживу до этих дней? и что будет в эти дни? На это отвечал он, и сказал: о знамениях, о которых ты спрашиваешь меня, я отчасти могу сказать тебе, а о жизни твоей я не послан говорить с тобою, да и не знаю.

(3 книга Ездры 4)

Правильное личное отношение дается последними словами отрывка. Эта мысль повторяется и в канонических евангелиях (ср. Марк 13:32–37).

О конце времени и новом творении говорят пророческие книги Библии, включая Апокалипсис.

И увидел я великий белый престол и Сидящего на нем, от лица Которого бежало небо и земля, и не нашлось им места... И Ангел, которого я видел стоящим на море и на земле, поднял руку свою к небу и клялся Живущим во веки веков, Кото-

рый сотворил небо и все, что на нем, землю и все, что на ней, и море и все, что в нем, что времени уже не будет... И увидел я новое небо и новую землю, ибо прежнее небо и прежняя земля миновали, и моря уже нет... И сказал Сидящий на престоле «Се, творю все новое».

(Откровение 10:5–6, 20:11, 21:1,5)

Апокалиптические библейские описания (при соответствующем понимании символики) напоминают возможную картину гибели звезд и Вселенной в различных физических моделях эволюции (сжатие и сгорание, сменяющие расширение Вселенной, и т.д.).

И истлеет все небесное воинство (звезды); и небеса свернутя, как свиток книжный; и все воинство их падет, как падает лист с виноградной лозы, и как увядший лист – со смоковницы.

(Исаия 34:4)

Впрочем, здесь снова главное – не онтология, а понятие времени весьма условно (например, ощущение «последних времен» появлялось в общественном сознании неоднократно, особенно на протяжении средневековья), «космический» же пессимизм сочетается с личностным оптимизмом.

Снаружи – студеной ночью пустыни. Эта, другая ночь –
внутри – разгорается все жарче.

Пусть ландшафт покрыла колючая корка, здесь у нас
мягкий сад.

Континенты взорваны, города и селения – все превращается в сожженный почерневший шар.

Услышанные нами новости полны скорби об этом будущем, но настоящая новость здесь, внутри, состоит в том, что вообще нет никаких новостей.

(Руми. Диван. Пер. Л. Тираспольского)

В Евангелии, согласно которому смысл существования и свобода обретаются через веру («мое знание пессимистично, моя вера – оптимистична», А. Швейцер), об этом говорится следующее:

Истинно, истинно говорю вам: слушающий слово Мое и верующий в Пославшего Меня имеет жизнь вечную, и на суд не приходит, но перешел (!) от смерти в жизнь. Истинно, истинно говорю вам: наступает время, и настало уже (!), когда мертвые услышат глас Сына Божия и, услышав, оживут.

(От Иоанна 5:24–25)

Заключение

Принимая наставления, ты должен постигать их исток,
не меряй их собственными мерками.
В хорошем разговоре не все говорится.
Речь – клевета. Молчание – ложь. За пределами речи и
молчания есть выход.
Искусный мастер не оставляет следов.
По закону не дозволяется пронести иголку,
частным образом проедет целый экипаж.

(Дзен)

Еще не конец!

(Ицзин 64)

Нашей целью было сопоставление естественно-научной картины мира с традиционными религиозными взглядами и некоторыми более «светскими» гуманитарными системами. Мы старались не навязывать читателю собственную точку зрения, хотя, разумеется, она неизбежно наложила отпечаток на подбор цитат и порядок изложения. Тем не менее, в заключение кажется целесообразным высказаться с несколько большей отчетливостью.

Нам представляется, что гуманитарно ориентированным читателям может быть полезно узнать о современном состоянии науки (прежде всего физики), которая в своем развитии столкнулась уже не только с возможностью, а с необходимостью рассматривать вопросы, ранее целиком относившиеся к компетенции философии или теологии. По-видимому, любое добросовестное обсуждение этих вопросов в наше время должно предполагать знакомство с естественно-научной картиной мира. Это тем более актуально, что в очень многих современных текстах эта картина представлена искаженно (чаще всего, впрочем, не намеренно, а в силу недостаточного знакомства с вопросом). Прежде всего мы имеем в виду «естественно-научные» подходы к парапсихологии и родственным явлениям и трактовку данных современной физики во многих книгах оккультной направленности. Разумеется, ошибки почти неизбежны при любом популярном изложении, но мы надеемся, что, будучи физиками-профессионалами, мы по крайней мере смогли избежать *грубых* ошибок.

Второй важной задачей для нас было попытаться привлечь внимание читателей-«естественников» к вопросам, выходящим

за рамки стандартного естественно-научного или технического образования (наиболее радикально настроенные авторы полагают даже, что интерес к таким вопросам несовместим с успешной профессиональной деятельностью, с чем вряд ли согласились бы Бор, Гейзенберг, Эйнштейн или Паули). Отношения науки и религии чрезвычайно сложны и безусловно далеки от идиллических, но, при мало-мальском знакомстве с историей, их заведомо нельзя свести к тезису о «несовместимости» занятий наукой и веры в Бога, да еще со ссылкой на судьбу Джордано Бруно и Галилея (напрашивающиеся в рамках такой логики утверждения о несовместимости с наукой материализма и атеизма со ссылкой на судьбу Н.И. Вавилова, С.П. Шубина и многих других жертв режима, бывшего официально атеистическим и материалистическим, в соответствующей литературе не встречаются). Пытаясь отстаивать эти взгляды всерьез, нужно игнорировать совершенно недвусмысленные высказывания, скажем, Макса Планка:

История всех времен и народов весьма убедительно свидетельствует о том, что из непосредственной, незамутненной веры, которую религия внушает своим последователям, живущим деятельной жизнью, исходили самые сильные стимулы и значительные творческие достижения, причем в области социальной не меньше, чем в области искусства и науки.
(Цит. по: А. Мень. Истоки религии)

По словам Ф. Бэкона,

Малое знание удаляет от Бога, большое знание приближает к Нему.

Кроме того,

Атеизм – признак силы ума, но только до известной степени.
(Б. Паскаль. Мысли)

Крупные ученые не так уж верят, что действительно есть предметы, к которым можно подходить количественно, и никак иначе. В это твердо верят ученые мелкие, особенно же твердо – неученые любители наук
(К. Льюис. Человек отменяется)

Во всяком случае, вряд ли кто-то станет настаивать на некомпетентности А. Эйнштейна в вопросе о психологии научного творчества:

Я утверждаю, что космическое религиозное чувство является сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования.. В наш материалистический век серьезными учеными могут быть только глубоко религиозные люди.

Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, – это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне если не мертвецом, то во всяком случае слепым.

(Собр. науч. трудов, т. 4, с.128,129,178).

Что касается слов С. Хокинга о том, что достижения естественных наук привели к «унижению для философии с ее великими традициями от Аристотеля до Канта» (цит. книга, с.147), мы попытались показать, что мысль человека не начинается с Аристотеля и не кончается Кантом. Еще более важно, что кроме философии (Афин) в традиции западной культуры существует Иерусалим.

Очень серьезен также вопрос о связи науки с *неортодоксальными* религиозными взглядами, а в историческом плане – даже с магией и колдовством, о чем шла речь в главе 1.

Ученый преуспел, а чародей потерпел неудачу; и обстоятельство это настолько разделило их в обыденном сознании, что обычный человек не понимает, как наука родилась. Многие верят и даже пишут, что в XVI в. магия была пережитком средневековья, который и собиралась смести новорожденная наука. Те, кто изучал этот период, так не думают. В средние века колдовали мало, в XVI и XVII вв. – очень и очень много. Серьезный интерес к магии и серьезный интерес к науке родились одновременно.. И магия, и прикладная наука отличаются от мудрости предшествующих столетий одним и тем же. Старинный мудрец прежде всего думал о том, как сообразовать свою душу с реальностью.. Магия и прикладная наука думают о том, как подчинить реальность своим хотениям.

(К. Льюис. Человек отменяется, в цит. соч., с. 205, 206)

Или, согласно афоризму одного из персонажей «Колыбели для кошки» К. Воннегута, «наука – это колдовство, которое действует». Помимо опасности для конкретного человека, в связи с рассмотренным выше «техническим» аспектом магии, возникает глобальная угроза механистичности и бездуховности.

Древние знали нечто, что мы, похоже, забыли. Все средства постижения цели обернутся лишь тупыми инструментами, если за ними не стоит живой дух.

(А. Эйнштейн)

Многие серьезные авторы отмечают симптомы глубокого кризиса современной естественной науки. В целом, наука как духовный и социальный феномен сталкивается с теми же болезнями, что и религия. Сюда относится, например, образование различных клановых школ-сект узкой направленности, которые с ходу отвергают чуждые мнения. Кроме того, появляются новые «отрасли» науки, посвященные исключительно внутренним проблемам языков программирования, компьютерного оформления документов, игр в виртуальном пространстве и т.д. В этих играх постепенно забывается и утрачивается роль человека.

Но даже он нам не сможет
Того.., чего в него *не вложит*
Рука лукавого жреца.

(Н. Матвеева. Компьютер)

Один из крупнейших физиков современности Р. Фейнман назвал такую выродившуюся науку «наукой самолетопоклонников», имея в виду некую секту тихоокеанских островитян, религия которых сводится к ритуалам, смысл которых им полностью непонятен (подражание вполне осмысленным – в своей области – действиям авиадиспетчеров). «Ритуальные» действия самолетопоклонников находят аналогии не только в естественных, но и в гуманитарных науках, особенно при их массовом применении. Например, различные психологические методики на практике часто сводятся к чистой технике и отрываются от духовных корней. Разумеется, задача синтеза научных и религиозных представлений в цельное мировоззрение остается актуальной. Однако такой синтез должен брать лучшее, а не худшее (формальное) из исторической науки и религии и происходить в первую очередь не на социальном, а на личном уровне.

Более тривиальные, но не менее реальные опасности для науки вызваны измельчанием мотивации (житейское преуспеяние вместо стремления к истине).

Но я заметил отсутствие *одной* черты во всех науках самолетопоклонников.. Это научная честность, принцип научного мышления, соответствующий полнейшей честности, честности, доведенной до крайности. Например, если вы ставите

эксперимент, вы должны сообщать обо всем, что, с вашей точки зрения, может сделать его несостоятельным.. Если вы подозреваете, что какие-то детали могут поставить под сомнение вашу интерпретацию – приведите их.. Если вы создали теорию и пропагандируете ее, приводите все факты, которые с ней не согласуются так же, как и те, которые ее подтверждают (особенно актуально выглядит это место для тех, кто имеет, подобно нам, некоторый опыт работы в области высокотемпературной сверхпроводимости, если говорить о недавних научных событиях – *В.И., М.К.*)... Итак, главный принцип – не дурачить самого себя.. Здесь надо быть очень внимательным. А если вы не дурачите сами себя, вам легко будет не дурачить других ученых. Здесь нужна просто обычная честность.

Люди... так стремятся к новым результатам в рекламных целях (чтобы получить больше денег), что готовы обесценить сами эксперименты, составляющие единственный смысл их деятельности.

(Р. Фейнман. Успехи физ. наук, 1986, т. 148, с. 509)

В историческом плане этот аспект кризиса науки связан, по-видимому, с изменением ее статуса во время Второй мировой войны, причем особую роль здесь сыграли американский и советский атомные проекты.

Перед войной, особенно в период депрессии, доступ в науку был сильно затруднен. К тем, кто хотел заниматься научной работой, предъявлялись очень высокие требования. Во время войны произошли два существенных изменения. Во-первых, обнаружился недостаток в людях, способных осуществить все необходимые для войны научные проекты. Во-вторых, поскольку их все равно нужно было осуществлять, пришлось перестроить всю систему так, чтобы иметь возможность использовать людей с минимальной подготовкой, минимальными способностями и минимальной добросовестностью. Почти во все предыдущие эпохи в науку шли только те, кого не пугала суровость труда и скудость результатов. Честолюбивые люди, относящиеся к обществу недостаточно лояльно, или, выражаясь более изящно, не склонные терзаться из-за того, что тратятся чужие деньги, когда-то боялись научной карьеры как чумы. А со времен войны такого рода авантюристы, становившиеся раньше биржевыми маклерами или светочами страхового бизнеса, буквально наводнили науку. Нам пришлось отказываться от многих старых представлений. Мы все знали, что у ученых есть

свои недостатки. Среди нас были педанты, любители спиртного, честолюбцы, но при нормальном положении вещей мы не ожидали встретить в своей среде лжецов и интриганов.

(Н. Винер. Я – математик, с. 260)

Можно себе представить (и, к сожалению, подкрепить эти представления реальными историческими примерами), во что превратилась бы религия, если стремление к житейскому преуспеянию стало основной мотивацией священнослужителей! Таким образом, основной постулат современной науки о возможности жесткого разделения субъекта и объекта познания подвергается серьезному испытанию не только в связи с проблемами интерпретации квантовой механики, проанализированными в главе 3. Само будущее науки сейчас в значительной степени определяется не ее внутренними трудностями, противоречиями и т.п., а тем тривиальным, на первый взгляд, обстоятельством, что науку делают люди, отягощенные всеми предрасудками и моральными болезнями своей эпохи и своего общества.

Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения и всего хода истории, чем ее чисто интеллектуальные достижения. Последние зависят от величия характера в значительно большей степени, чем это обычно принято считать.

(А. Эйнштейн. Собр. науч. трудов, т. 4, с. 193)

В связи с дороговизной серьезных экспериментальных установок и широким распространением компьютеров становится все труднее проверять результаты, полученные другими исследователями, и все меньше желающих этим заниматься. Если говорить о теоретической физике (идейной основе современного естествознания), можно еще отметить неоднозначное влияние прогресса математического аппарата на качество научной продукции: становится все легче публиковать работы, «очень похожие на настоящие», но по существу бессодержательные (ситуация, аналогичная вырождению религии в сторону формальной «каббалистической» магии). Все это неизбежно приводит к росту доли неправильных и бесполезных работ в общем числе публикаций и, в тенденции, может обесмыслить саму научную работу как таковую. В такой ситуации нам показалось нелишним напомнить о связи науки с другими формами познания и о всей серьезности тех вопросов, которые современная наука затрагивает. Особенно остро этот вопрос стоит в России,

где традиционная позитивистская установка ведущих естественно-научных школ, будучи примененной к проблемам обыденной жизни в усложнившейся социально-экономической ситуации, зачастую вырождается в вульгарный цинизм и, по нашему мнению, является одной из причин переживаемых сейчас трудностей.

Впрочем, не исключено, что мы столкнулись с гораздо более глобальным явлением. Продолжать свое развитие в том же направлении наука может, лишь оставаясь объектом массовой профессиональной деятельности, а массовость неизбежно приводит к резкому снижению достоверности и полезности публикуемой информации. Уместно спросить, не достигнуты ли уже пределы современной науки в ее традиционной форме.

Всеобъемлющая, приводимая в движение подлинно экзистенциальной страстью наука необходимо связана с исторически обусловленной структурой – с особой, «глубокой» душой. Она покоится на чрезвычайно хрупком фундаменте, который не позволяет надеяться на ее долговечность и не гарантирует ее продолжения, хотя бы в следующем поколении... Основу ее составляет сложнейшее соединение мотивов, так что при исчезновении даже одного из них она либо начинает хромать на одну ногу, либо становится пустой наукообразной оболочкой; вот почему на протяжении всех столетий нового времени настоящая наука встречалась так редко, а теперь встречается все реже... Даже исследователи, еще делающие открытия в своих специальных областях, бессознательно, по инерции продолжающие еще некоторое время движение, начавшееся под воздействием неведомых им сил – даже эти ученые не знают, что такое наука... Мир без Бога на закате науки.

(К. Ясперс. Ницше и христианство, с. 67–69)

Отметим, однако, что прогрессивный ход научного познания в прошедшие века также не следует переоценивать.

О наука! Все в ее власти! Для тела и для души – взамен святого причастия – медицина и философия, сиречь snadob'ya добрых кумушек и народные песни в новейшей аранжировке. И утехи владык, и запретные некогда игры! География, космография, механика, химия!

Наука, новая аристократия! Прогресс. Мир движется вперед! А отчего бы ему не вертеться на месте.

(А. Рембо. Дурная кровь)

Кризисные явления в науке и обществе в целом происходят не в первый раз.

Научная истина или точно доказанный, не противоречащий современному мировоззрению факт или обобщение, войдя уже в научное мировоззрение, иногда из него теряются, заменяются ложным или явно противоречащим научному мировоззрению фактом или положением. Происходит регресс научного знания... Так сменилось представление о шаровой форме Земли представлением о плоском земном острове, многие века царившем в византийской науке... Гелиоцентрические системы Вселенной, к которым все время склонялись Платон и его последователи, были окончательно вытеснены из научного мировоззрения античного мира и средних веков геоцентрическим представлением... Когда... Галилей открыл свои бессмертные законы движения и положил начало динамике, его научные противники Беригар и Барди указывали, что Галилей повторяет то, что давно известно в школах и сочинениях некоторых из схоластических ученых... Они были не правы только потому, что эти обобщения Неморария были при дальнейшем росте научного мирозерцания забыты и заменены ложными схемами чистых аристотеликов...

Иногда – только иногда – можно проследить до известной степени причину регрессивного хода научного мышления: в научное мировоззрение вторгаются новые создания религиозной или философской (метафизической) деятельности человеческого сознания...

Иногда такое движение захватывает всю область научной мысли, и тогда наблюдаются периоды полного упадка науки, например того, который начался в последние столетия жизни римской империи и несколько раз возобновлялся в течение средних веков в Европе; то же самое резко сказалось в мусульманских государствах, в Индии и Китае. Нельзя искать причин такого упадка в нашествии варварских народов... Они связаны с изменением психологии народа и общества, с изменением духовного интереса личности, с ослаблением того усилия, той воли, которая поддерживает научное мышление и научное искание, как поддерживает она все в жизни человечества!

(В.И. Вернадский. Научная мысль как планетное явление, М., Наука, 1991, с. 231–233)

Хотя убеждения Вернадского нельзя отнести к религиозным, его слова о роли духа перекликаются с приведенными выше словами Эйнштейна. Приведем еще одно (относящееся к

началу века) размышление о путях выхода из тупика, касающиеся соотношения веры и знания.

Он был, несомненно, человек верующий, который просто ни во что не верил: его величайшей преданности науке никогда не удавалось заставить его забыть, что красота и доброты людей идут от того, во что они верят, а не от того, что они знают. Но вера всегда была связана со знанием, хотя бы и с мнимым, с древнейших времен его, знания, волшебного воцарения. И этот старый элемент знания давно сгнил и заразил веру своим тлением; надо, значит, сегодня установить эту связь заново. И, конечно, не просто «подняв веру на уровень знания», а как-то иначе, так, чтобы она воспарила с этого уровня. Искусство возвышения над знанием надо изучить заново. А поскольку никому в отдельности это не по силам, все должны направить на это свои помыслы, о чем бы еще ни помышляли они; и если в этот момент Ульрих подумал о десятилетнем, столетнем или тысячелетнем плане, который должно бы наметить себе человечество, чтобы направить усилия к цели, и правда еще никому не ведомой, то он без труда понял, что давно уже представлял себе это под разными названиями как воистину экспериментальную жизнь.

(Р. Музиль. Человек без свойств)

Чтобы закончить на возвышенной и оптимистической ноте, приведем, следуя общему стилю нашего текста, несколько отрывков, которые могут дать пищу для самостоятельных размышлений читателя. Начнем снова со слов ученого-физика:

Грядущая великая эра пробуждения человеческого разума принесет с собой метод понимания *качественного* содержания уравнений. Сегодня мы еще неспособны на это.. Сегодня мы не можем сказать с уверенностью, содержит ли уравнение Шредингера и лягушек, и композиторов, и даже мораль или там ничего похожего даже и быть не может.. Поэтому каждый из нас может иметь на этот счет свое особое мнение.

(Фейнмановские лекции по физике, вып. 7, М., Мир, 1977, с. 270)

О вечных мотивах творчества, в том числе и научного, говорят следующие стихи.

И только Мастер их похвалит, и только Мастер попрекнет —
Работников не ради славы, не ради денежных щедрот,

Но ради радости работы, но ради радости раскрыть –
Какой ты видишь эту Землю – Ему, велевшему ей – быть!

(Р. Киплинг)

И, наконец, добрая хасидская притча «По пути поколений»:

Ружинский рабби рассказал:

Баал Шем-Тов хотел спасти жизнь дорогого ему ребенка, который тяжело заболел. Велел отлить свечу чистого воска, взял ее в лес, привязал к дереву и зажег. Потом стал молиться. Свеча горела всю ночь. Утром мальчик был здоров. Когда захотел мой прадед, Маггид из Межерича, ученик Баал Шем-Това, сотворить такое же исцеление, он не знал, как настроил себя Баал Шем-Тов на ту молитву. Сделал все, как его учитель. Исцеление удалось. Когда захотел рабби Моше Лейб из Сассова, ученик ученика Маггида, сотворить такое же исцеление, он сказал: «Мы уже не в силах сделать даже так. Но я расскажу о том событии, а Господь Благословенный да поможет». И исцеление удалось опять.

Литература

Абаев Н.В. Чань-буддизм и культурно-психологические традиции в средневековом Китае (в приложении – Сутра Помоста и др. тексты). Новосибирск, Наука, 1989.

Августин. О граде Божием. Минск, 2000.

Авени Э. Империи времени. София, 1998.

Авеста в русских переводах. СПб, 1998.

Агада (сказания, притчи, изречения из Талмуда и мидрашей). М., 1993.

Андреас Ст., Андреас Кон. Сердце мозга. Екатеринбург, 1993.

Ансельм Кентерберийский. Сочинения (в приложении – трактат П. Дамиани «О божественном всемогуществе»). М.: Канон, 1995.

Апокрифические апокалипсисы. СПб.: Алетейя, 2000.

Апокрифы древних христиан. М., Мысль, 1989.

Бейтсон Г., Бейтсон М.К. Ангелы страшатся. М., 1994.

Беннет Ч. Демоны, двигатели и второе начало термодинамики // В мире науки, 1988, № 1. С. 52.

Берман Б.И. Библейские смыслы. М., 1997.

Бирлайн Дж.Ф. Параллельная мифология. М, 1997.

Бом Д. О самом важном. Беседы Д. Кришнамурти с Д. Бомом. М.: Либрис, 1996.

Бор Н. Собр. науч. трудов. Т. 2, М.: Наука, 1971.

Борн М. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977.

Бруно Джордано. Изгнание торжествующего зверя. Самара, 1997; Избранное. Самара, 2000.

Бубер М. Два образа веры. М.: Республика, 1995; Хасидские предания. М.: Республика, 1997.

Буддийский взгляд на мир / Под ред. Е.П. Островской и В.И. Рудого. СПб., 1994 (обсуждается буддийская и китайская космология).

Будь тем, кто ты есть! Наставления Шри Раманы Махарши. СПб.: Андреев и сыновья, 1994.

Вайнберг С. Первые три минуты: современный взгляд на происхождение Вселенной. М.: Энергоиздат, 1981; За рубежом первых трех минут. Успехи физ. наук. Т. 134. 1981. С. 333.

- Васубандху*. Абхидхармакоша. Раздел 1. М.: Наука, 1990; Раздел 1,2. М.: Ладомир, 1998; Раздел 3. СПб., 1993.
- Вернон В., Ректор К.* Холодинамика в вашей жизни. М., 1995.
- Вигнер Е.* Этюды о симметрии. М.: Наука, 1971.
- Винер Н.* Кибернетика и общество. М.: Иниздат, 1958; Я – математик. М.: Наука, 1967; Кибернетика. М.: Наука, 1983.
- Витгенштейн Л.* Философские работы. Т. 1, 2. М., 1994.
- Вопросы Милинды. М.: Наука, 1989.
- Всемирное Писание. Сравнительная антология священных текстов. М.: Республика, 1995.
- Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1989.
- Генон Рене.* Кризис современного мира. М., 1991; Царство количества и знамения времени. М.: Беловодье, 1994.
- Гермес Трисмегист и герметическая традиция Запада и Востока, пер. К. Богуцкого, М.: Алетейа, 1998.
- Гриб А.А.* Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях. Успехи физ. наук. Т. 142. 1984. С. 619.
- Гроф С.* За пределами мозга. М., 1992; Путешествие в поисках себя. М., 1994.
- Гумилев Л.Н.* Этногенез и биосфера земли. Л., 1990; Этносфера. История людей и история природы. М., 1993.
- Гуссерль Э.* Феноменология внутреннего сознания времени. М.: Гнозис, 1994.
- Дандарон Б.Д.* Мысли буддиста. Черная тетрадь. СПб., 1997; Письма о буддийской этике. СПб., 1997.
- Дионисий Ареопагит.* О небесной иерархии. СПб, 1997.
- Дилтс Р.* Стратегии гениев. Т. 2. Альберт Эйнштейн. М.: Класс, 1998.
- Дубров А.П., Пушкин В.Н.* Парапсихология и современное естествознание. М., 1989.
- Дхаммапада. СПб., 1993.
- Знание за пределами науки / Под ред. И.Т. Касавина. М.: Республика, 1996.
- Зогар.* Фрагменты из книги / Пер. М. Кравцова. М., 1994.
- Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
- Зороастрийские тексты. М., 1997.
- Иванов Вяч. Вс.* Избранные труды по семиотике и истории культуры. Т.1. М., 1999.

- Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И.* Уставы небес. Екатеринбург: У-Фактория, 2000.
- Исаева Н.В.* Шанкара и индийская философия. М.: Наука, 1991; Слово, творящее мир. М., 1996 (книга содержит переводы трактатов Бхартрихари и Гаудапады).
- История и культура Древней Индии. Тексты. М.: МГУ, 1990.
- Капра Ф.* Дао физики. СПб.: Орис, 1994; Уроки мудрости. М., 1996.
- Карсавин Л.П.* Малые сочинения. СПб.: Алетейя, 1994.
- Кастанеда К.* Учения Дона Хуана. Отделенная реальность. Путешествие в Икстлэн. Сказки о силе. Второе кольцо силы. Дар Орла. Внутренний огонь. Сила безмолвия. Искусство сновидений. Активная сторона бесконечности. Киев, София (несколько изданий).
- Кефалайа («Главы»). М., 1998.
- Кшнин С.Я.* Квантовая информация. Успехи физ. наук. Т. 169. С. 507. 1999
- Клайн М.* Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984; Математика. Поиск истины. М.: Мир, 1988.
- Классическая йога / Пер. Е.П. Островской, В.И. Рудого. М.: Наука, 1992.
- Козырев Н.А.* Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулковое, 1958; Неизведанный мир. Октябрь. 1964. № 7. С.183.
- Косарева Л.М.* Рождение науки Нового времени из духа культуры. М., 1997.
- Кузанский Н.* Сочинения. Т. 1, 2. М.: Мысль, 1980.
- Кэмпбелл Дж.* Тысячеликий герой. М., 1997.
- Ларичев В.Е.* Колесо времени. Новосибирск: Наука, 1986; Мудрость змеи. М.: Наука, 1989.
- Линде А.Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990.
- Лосев А.Ф.* Бытие, имя, космос. М.: Мысль, 1993; Очерки античного символизма и мифологии. М.: Мысль, 1993; Миф, число, сущность. М.: Мысль, 1994; Хаос и структура. М.: Мысль, 1997.
- Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С.* Введение в синергетику. М.: Наука, 1990.
- Льюис К. С.* Любовь. Надежда. Страдание. М.: Республика, 1992.
- Лысенко В.Г.* «Философия природы» в Индии: атомизм школы вайшешика. М.: Наука, 1986.

- Мамардашвили М.К.* Как я понимаю философию. М.: Прогресс, 1990; Картезианские размышления. М.: Прогресс, 1993; Кантианские вариации. М.: Аграф, 1997; Стрела познания. М., 1996; Психологическая топология пути. СПб., 1997.
- Мамардашвили М.К., Пятигорский А.М.* Символ и сознание. Метафизические рассуждения о сознании, символическом языке. М., 1999.
- Мень А.* Истоки религии. М., 1991; Магизм и единобожие, М., 1991.
- Меррелл-Вольф Ф.* Пути в иные измерения. София, 1993; Математика, философия и йога. София, 1999.
- Мильков В.В.* Древнерусские апокрифы. СПб., 1999.
- Мистическое богословие (книга включает труды Дионисия Ареопагита и работы В.Н. Лосского). Киев: Путь к Истине, 1991.
- Мишлав Дж.* Корни сознания. Киев, София, 1995.
- Молчанов Ю.Б.* Четыре концепции времени в философии и физике. М.: Наука, 1977.
- Мудрецы Китая. Ян Чжу, Лецзы, Чжуанцзы / Пер. Л.Д. Позднеевой. СПб., 1994.
- Налимов В.В.* Спонтанность сознания. М., 1989. В поисках иных смыслов. М., 1993.
- Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного. М.: Мир, 1990.
- Новиков И.Д.* Как взорвалась Вселенная. М.: Наука, 1988; Куда течет река времени. М., 1990.
- Ориген.* О началах. Самара, 1993.
- Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1989.
- Палама Св. Григорий.* Триады в защиту священнобезмолвствующих. М.: Канон, 1995.
- Панин Д.* Теория густот. М.: Мысль, 1993; Механика на квантовом уровне. М.: Физматлит, 1993.
- Паули В.* Физические очерки, М.: Наука, 1975
- Планк М.* Религия и естествознание // Вопросы философии. 1990. № 8. С. 25.
- Платон.* Собрание сочинений. Т. 1–4. М.: Мысль, 1994.
- Пригожин И.* От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985.
- Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. М., 1994.
- Пуанкаре А.* О науке. М.: Наука, 1983.
- Путьшев В.Н.* Тибетская медицина. Новосибирск: Наука, 1991.

- Пути за пределы эго. Трансперсональная перспектива. / Под ред. Р. Уолша и Ф. Воон. М., 1996.
- Пятигорский А.М.* Избранные труды. М., 1996.
- Радхакришнан С.* Индийская философия. Т. 2. М., 1993.
- Раушенбах Б.В.* Пристрастие. М., 1997.
- Родзянко Епископ Василий.* Теория распада Вселенной и вера отцов. М., 1996.
- Розеншток-Хюсси О.* Бог заставляет нас говорить. М.: Канон, 1998.
- Руми Дж.* Сокровища воспоминания. Суфийская поэзия. М.: Диас, 1998.
- Сатпрем.* Шри Ауробиндо или Путешествие сознания. Л.: ЛГУ, 1989; Разум клеток. Киев, 1992.
- Синергия.* Проблемы аскетики и мистики православия / Под ред. С.С. Хоружего. М., 1995.
- Судзуки Д.Т.* Мистицизм христианский и буддистский. Киев, София, 1996.
- Сутра о цветке лотоса чудесной дхармы / Пер. А.Н. Игнатовича. М., 1998.
- Тейяр де Шарден.* Феномен человека. М.: Наука, 1987; Божественная среда. М., 1992.
- Тибетская книга мертвых (с дополнениями К. Юнга, С. Роуза и П. Флоренского). СПб., 1992.
- Торчинов Е.А.* Религии мира. Опыт запредельного. СПб., 1998.
- Трунгпа Чогьям.* Преодоление духовного материализма. Киев, София, 1994.
- Тартанг Тулку.* Время, пространство и знание. М., 1994.
- Уилбер К.* Никаких границ. М., 1998.
- Уилсон Р.А.* Квантовая психология. Киев, София, 1998; Психология эволюции. Киев, София, 1998.
- Упанишады (3 т.) / Пер. А.Я.Сыркина. М.: Наука, 1992.
- Успенский П.Д.* Новая модель Вселенной. СПб., 1993; В поисках чудесного. СПб., 1992.
- Фаулер У.А.* Нобелевская лекция. Успехи физ. наук. Т. 145. 1985. С. 441.
- Фейнман Р.* Характер физических законов. М.: Мир, 1968; КЭД: странная теория света и вещества. М.: Наука, 1988.
- Флоренский П.А.* У водоразделов мысли. М.: Правда, 1990; Анализ пространственности и времени в художественно-изобразительных произведениях. М.: Прогресс, 1993.
- Франк С.Л.* Религия и наука. Франкфурт: Посев, 1967.

- Хокинг С.* От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени. М.: Мир, 1990.
- Холтон Дж.* Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981.
- Чжан Чжэн-Цзы.* Практика дзэн. Красноярск, 1993.
- Честертон Г.К.* Вечный человек. М., 1991.
- Шах Идрис.* Суфизм. М, 1994. Путь суфия. М, 1993.
- Шейнман-Топштейн С.Я.* Платон и индийская философия. М.: Наука, 1978.
- Шестов Л.* Соч.: В 2 т. М.: Наука, 1993.
- Шипов Г.И.* Теория физического вакуума. М.: НТ-Центр, 1993.
- Шпенглер О.* Закат Европы. Новосибирск: Наука, 1993.
- Шредингер Э.,* Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976.
- Штейнзальц А.* Роза о тринадцати лепестках. М., 1990.
- Шуцкий Ю.К.* Китайская классическая книга перемен Ицзин. М., 1993.
- Щербатской Ф.И.* Теория познания и логика по учению позднейших буддистов. Т. 1, 2. СПб., 1995
- Эйнштейн А.* Собр. науч. трудов. Т. 1–4, М.: Наука, 1966, 1967.
- Элиаде М.* Космос и история. М., 1980; Священное и мирское. М.: МГУ, 1994; Аспекты мифа. М., 1995; Мифы, сновидения, мистерии. М., 1996; Миф о вечном возвращении. М.: Алетейа, 1998; Шаманизм. Киев, София, 1998; Азиатская алхимия. М.: Янус, 1998; Священные тексты народов мира. М.: Кронпресс, 1998; Йога: бессмертие и свобода. СПб., 1999.
- Юнг К.Г.* Архетип и символ. М., 1991; Психологические типы. М., 1995; О современных мифах. М., 1994; Феномен духа в искусстве и науке. М.: Ренессанс, 1992; Дух Меркурий. М.: Канон, 1996; Ответ Иову. М.: Канон, 1995; Синхронистичность. М.: Рефл-Бук, 1997; Психология и алхимия, М.: Рефл-Бук, 1997. *Mysterium Coniunctionis.* М.: Рефл-Бук, 1997; AION, исследование феноменологии самости. М.: Рефл-Бук, 1997.
- Ясперс К.* Смысл и назначение истории. М.: Политиздат, 1991; Ницше и христианство. М., 1994.
- Bell J.S.* Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. Cambridge University Press, 1993.
- Cramer J.G.* Transactional interpretation of quantum mechanics. Review of Modern Physics. V. 58. P. 647 (1988).
- Dyson F.J.* Time without end: physics and biology in an open

universe. Review of Modern Physics. V. 51. P. 447 (1979).

Laurikainen K.V. The Message of the Atoms. Essays on Wolfgang Pauli and the Unspeakable. Springer, Berlin, 1997.

Leggett A.J. Macroscopic quantum systems and the quantum theory of measurement. Suppl.Progr.Theor. Phys. V.69. P. 80 (1980).

Mensky M.B. Continuous Quantum Measurements and Path Integrals. Bristol, IOP, 1993.

Penrose R. The Emperor's New Mind. Oxford University Press, 1989; Shadows of the Mind. Oxford University Press, 1994.

Peres A. Quantum Theory, Concepts and Methods. Dordrecht, Kluwer, 1993.

Quantum Mechanics versus Local Realism, ed. by F. Selleri, N.Y., Plenum Press, 1988.

Thorndike L. A History of Magic and Experimental Science. Vol. 1–8. Columbia University Press, New York, 1923–1958.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ К ДОПОЛНЕНИЮ

В оформлении дополнения к учебному пособию использованы работы М.К. Эшера, опубликованные в книге Миранды Феллоуз «Жизнь и работы Эшера» (Miranda Fellows. The Life and Works of Maurits Cornelis Escher. Siena, 1995).

1. **Print Gallery**, 1956. Lithograph (стр. 450).
2. **Tower of Babel**, 1928. Woodcut (стр. 460).
3. **Scarabs**, 1935. Wood engraving (стр. 475).
4. **Eye**, 1946. Mezzotint (стр. 487).
5. **Crystal**, 1947. Mezzotint second state (стр. 504).
6. **Other World**, 1946. Wood engraving and woodcut from three blocks (стр. 530).
7. **Dragon**, 1952. Wood engraving (стр. 558).
8. **Inside St. Peter's, Rome**, 1935. Wood engraving (стр. 582).
9. **Three Worlds**, 1955. Lithograph (стр. 595).
10. **Encounter**, 1944. Lithograph (стр. 610).
11. **Depth**, 1955. Wood engraving and woodcut from three blocks (стр. 636).
12. **Castrovalva**, 1930. Lithograph (стр. 648).

Сергей Васильевич Вонсовский (1910–1998)

Родился в г. Ташкенте в семье учителя. После окончания Ленинградского университета в 1932 г. был направлен вместе со своим учителем и другом С.П. Шубиным в Свердловск, где стал основателем уральской школы физиков-теоретиков. За свою плодотворную и многогранную научную деятельность в области магнитных и электрических свойств металлов и полупроводников, особенно ферромагнетизма, в 1966 г. был избран действительным членом Академии Наук СССР. Автор ряда монографий, Герой Социалистического Труда (1969). В течение многих лет являлся профессором Уральского государственного университета, заместителем директора по науке Института физики металлов Уральского отделения Академии Наук, председателем Президиума Уральского научного центра (затем Уральского отделения) АН СССР. С.В. Вонсовский был вторым с момента основания ректором и почётным президентом первого в СССР и современной России частного вуза «Гуманитарный университет» в г. Екатеринбурге.

Summary

S. V. Vonsovsky
Modern scientific world picture

This book explains main conceptions of the modern scientific picture of the world. Most important laws of micro- and macrophysics are considered in detail in a simple form. A great attention is paid both to classical problems and recent developments. Interrelations between physics, other sciences and technique is discussed.

The Addendum by V. Yu. Irkhin and M. I. Katsnelson contains a comparative analysis of scientific and traditional spiritual concepts concerning the problems which are most actual in the beginning of new millennium: criterion of verity, nature of space and time, consciousness and physical universe, origin and end of the world etc.

The monograph can be useful for undergraduate and post-graduate students and scientists. It may also serve as a rich source of miscellaneous scientific and humanitarian information for a wide readership.

У ч е б н о е и з д а н и е

ВОНСОВСКИЙ Сергей Васильевич

Современная естественно-научная картина мира

Научное редактирование: В.Ю. Ирхин, Л.Н. Петрова

Редактор: О.А.Ануфриева

Художник: И.М.Игнатьев

Компьютерная верстка:

Е.Г.Бушуева, Л.В. Зайкова, В.Б.Белолугов

Подписано в печать 10.08.05. Формат 84x108/32.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 35,7. Тираж 450. Заказ № 1120.

Издательство Гуманитарного университета
620086 г. Екатеринбург, ул. Посадская, 40, корп. 3.
Лицензия № 0327 от 13.10.2000.

Отпечатано с оригинал-макета
в ГУП СО «Каменск-Уральская типография».
623400 Свердловская область,
г. Каменск-Уральский, ул. Ленина, д. 3.
Тел. (3439) 37-94-90, 33-42-72. Т/факс (3439) 33-62-81.
E-mail: tipograf@kamensktel.ru



Личная подпись

Избран 23 октября 1953 г.

Высшей Аттестационной Комиссии
от 30 сентября 1944 г. (прошюкол № 22)

Гражданин
Вонсовский Сергей Васильевич
УПВЕРЖДЕН В УЧЕНОМ ЗВАНИИ
ПРОФЕССОРА
по кафедре
теоретической физика

Председатель
Высшей Аттестационной
Комиссии
ученый секретарь
Высшей Аттестационной
Комиссии

С. Мадатов
М. М. М. М.



540

АКАДЕМИЯ НАУК
Союза Советских Социалистических
Республик

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВОНСОВСКИЙ
СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Президент
Академии наук СССР
академик

Месин

№284



АКАДЕМИЯ НАУК
Союза Советских Социалистических Республик
на основании Устава Академии Наук СССР

избрала
Сергея Васильевича
ВОНСОВСКОГО

действительным членом
(академиком)
АКАДЕМИИ НАУК СССР
по Отделению общей и прикладной физики
1 мая 1966 г.

Президент
Академии Наук
СССР *Месин*

И. о. главного ученого секретаря
Президиума Академии Наук
СССР *Григорьев*

№ 304

