

Министерство образования Российской Федерации
Ульяновский государственный технический университет

Р.А. Браже, Р.М. Мефтахутдинов

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

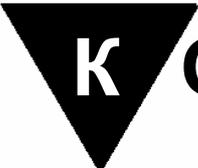
МАТЕРИАЛЫ К СЕМИНАРСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Часть 1

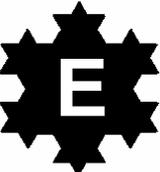
Учебное пособие
для студентов экономических специальностей
технических университетов

Ульяновск 2003

Р.А. Браже
Р.М. Мефтахутдинов

 **КОНЦЕПЦИИ**

 **СОВРЕМЕННОГО**

 **ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Материалы к семинарским занятиям

Часть 1

УДК 50(075)

ББК 20я7

Б87

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Рецензенты:

кафедра экспериментальной физики
Ульяновского государственного университета
(зав. кафедрой — д-р физ.-мат. наук, проф. Э. Т. Шипатов).
Д-р филос. наук, проф. А. Н. Чекин

Браже Р.А.

Б 87 Концепции современного естествознания. Материалы к семинарским занятиям. Ч. 1: Учебное пособие/ Р. А. Браже, Р. М. Мефтахутдинов. — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 143 с.
ISBN 5-89146-400-0

Представлены методические материалы к семинарским занятиям по курсу «Концепции современного естествознания». Объем пособия рассчитан на время, отводимое учебными планами и программами для студентов экономических специальностей на первый семестр изучения курса.

УДК 50(075.8)

ББК 20я7

© Браже Р. А., Мефтахутдинов Р. М., 2003

ISBN 5-89146-400-0

© Оформление. УлГТУ, 2003

Оглавление

Предисловие	6
Введение	8
1. У истоков учения о гармонии мира	10
1.1. Золотое сечение	10
1.2. Числа Фибоначчи и их связь с Золотым сечением	13
1.3. Роль Золотого сечения и чисел Фибоначчи в формообразовании биологических объектов	14
1.4. Естественнонаучные основы гармонии	17
2. Картина мироздания в религии и науке	19
2.1. Космогонические мифы древнего мира	19
2.2. Картина мироздания в христианстве	22
2.3. Вопросы мироздания в исламе	25
2.4. Буддизм и мироздание	27
2.5. Сравнительный анализ религиозной и научной картины мира	28
3. Принцип Бритвы Оккама	30
3.1. Философские и естественнонаучные взгляды У. Оккама	30
3.2. Развитие Оккамом представлений о пространстве, времени и движении	31
3.3. Принцип Бритвы Оккама и его роль в науке	33
4. «Божественная комедия» Данте и средневековые представления о мироустройстве	35
4.1. Отказ от средневековых канонов	35
4.2. «Божественная комедия» Данте	36
4.3. Космос Данте	38
4.4. Эзотерическая сторона «Божественной комедии»	40

5. «Гармония мира» Кеплера: эволюция взглядов на мироустройство	43
5.1. Путь в науку	43
5.2. «Тайна мироздания»	44
5.3. «Гармония мира» и законы астрономии	47
6. Искривленное пространство-время и его описание	49
6.1. Плоское пространство	49
6.2. Искривленные пространства	51
6.3. Искривленное пространство-время в специальной и общей теориях относительности	55
7. Квантованность пространства-времени	59
7.1. Кванты пространства и времени	59
7.2. Размерность пространства и времени	61
7.3. Киральность как проблема размерности пространства	63
8. Кварки	65
8.1. Элементарные частицы	65
8.2. Кварки	73
9. Большой взрыв	78
9.1. Эволюционирующая Вселенная	78
9.2. Теория расширяющейся Вселенной	82
9.3. Альтернативные модели Вселенной	87
10. Черные дыры	89
10.1. Что это такое?	89
10.2. Строение и свойства черной дыры	93
10.3. Поиски черных дыр	96
11. От архаических космогонических мифов к теориям всего сущего	98
11.1. Виды силовых взаимодействий	98
11.2. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействий	102
11.3. Объединение электрослабого и сильного взаимодействий	103
12. Симметрия в природе	106

12.1. Симметрия и ее описание	106
12.2. Предельные группы симметрии	109
12.3. Принципы симметрии	110
12.4. Симметрия в природе	111
13. Где нарушаются законы сохранения?	117
13.1. Природа законов сохранения	117
13.2. Размерность пространства-времени и количество сохраняющихся величин	118
13.3. Иные миры — иные законы	120
14. Энтропия и информация	121
14.1. Энтропия как мера близости системы к хаотическому состоянию	121
14.2. Информация как мера упорядоченности системы	124
14.3. Связь энтропии, информации и симметрии	126
15. Открытые системы: устойчивость и неустойчивость стационарных состояний	129
15.1. Едва-устойчивость стационарных состояний	129
15.2. Бифуркации и катастрофы	130
15.3. Самоорганизованная критичность и устойчивость стационарных состояний	133
Библиографический список	135

Предисловие

Учить мудрости не такое дело, за которое можно было бы браться с легким сердцем или очертя голову.

Эпиктет

В соответствии с государственными образовательными стандартами и учебными планами курс «Концепции современного естествознания» (КСЕ) сейчас читается в высших учебных заведениях России всем студентам гуманитарных и экономических специальностей. Что касается лекционной составляющей этого курса, то в настоящее время создано большое количество учебников и учебных пособий с таким названием (авторам известно около 100). Однако проведение семинарских занятий, на которые, как правило, выносятся проблемные и дискуссионные вопросы, связано с большими трудностями в подборе соответствующей литературы. Многие материалы можно найти лишь в специальных книгах и научной периодике. Их теоретический уровень обычно очень высок и требует адаптации к уровню подготовки студентов. Кроме того, в библиотечных фондах эти издания присутствуют в единичных экземплярах, что не позволяет обеспечить даже в минимальной мере потребности учебного процесса. В связи с этим издание компактного учебного пособия, содержащего необходимый минимум материалов к семинарским занятиям по КСЕ, является актуальным.

В 2000 г. одним из авторов, Браже Р. А., было издано такое пособие для студентов гуманитарных специальностей, содержащее материалы всего к 5 семинарам. Такова специфика курса КСЕ на гуманитарном факультете УлГТУ, где на семинарские занятия отводится 16 часов (8 занятий, из которых первое — вводное, последнее — зачетное и еще одно отводится под контрольную работу). Книжка сразу же получила популярность, и не только у студентов гуманитарного факультета, но и у студентов экономических специальностей. По крайней мере она «закрывала проблему» по ряду тем.

Настоящее пособие рассчитано на студентов экономико-математического факультета и факультета информационных систем и технологий УлГТУ, у которых на семинарские занятия отводится до 68 часов — два семестра по 34 часа. В соответствии с этим пособие разбито на две части. Из 15 тем первой части 10 тем (1 – 5, 7, 12 – 15) подготовлено Браже Р.А., остальные (6, 8 – 11) — Мефтахутдиновым Р. М. Общее редактирование пособия выполнено Браже Р. А. Авторы надеются, что книга будет полезной не только студентам УлГТУ и студентам других вузов, но и широкому кругу читателей, интересующихся проблемами современного естествознания.

Р. А. Браже
Р. М. Мефтахутдинов

Введение

Ты все пытаешься проникнуть в тайны света,
В задачу бытия ... К чему, мой друг, все это?

Омар Хайям

Для чего будущим менеджерам, маркетологам, аудиторам или специалистам по информационным технологиям в экономике — вообще всем, кто собирается работать в этой области, — изучать естествознание?

Во-первых, во избежание узости специального образования. Как говорил Козьма Прутков: «Специалист подобен флюсу». Действительно, современный экономист с высшим университетским образованием должен быть широкообразованным человеком, обладающим не только профессиональными знаниями, но и имеющим ясное представление об устройстве окружающего мира. Таким образом, первая задача, стоящая перед курсом КСЕ, — это формирование в сознании студентов современной естественнонаучной картины мира.

Во-вторых, методы естественных наук оказались чрезвычайно плодотворными для решения, казалось бы, чисто экономических проблем. Это стало особенно понятным в конце XX в. в связи с развитием синергетики — науки о самоорганизации сложных неравновесных систем. Основной принцип синергетики — принцип универсального эволюционизма — гласит, что любая достаточно сложная, нелинейная, диссипативная, открытая динамическая система тяготеет к самоорганизации. Характер этой самоорганизации не зависит от природы системы, а определяется ее симметрией, т.е. строением и видом действующих в ней связей. Поэтому используемые в синергетике методы нелинейной динамики, теории катастроф, теории фракталов, спектрального, в том числе, вейвлет-анализа хорошо зарекомендовали себя и в экономической сфере. Вряд ли кто станет отрицать, что предполагаемые экономические решения, особенно если речь идет о крупных проектах, лучше вначале «обыграть» на математических и компьютерных моделях, прежде чем пускаться в рискованные эксперименты с

реальными финансовыми потоками. Поэтому для подготовки высококвалифицированных экономистов эта вторая задача курса не менее важна, чем первая.

Процесс познания законов природы не легок. Необходимо вначале накопить в своем сознании достаточно подробный набор представлений об устройстве окружающего мира на самых различных структурных уровнях его организации: от микромира до мегамира. Лишь затем становится возможным исследование существующих в мире закономерностей и их систематизация. Поэтому курс КСЕ мы также условно разделили на две части. В первой дается ответ на вопрос «как устроен мир»? Во второй объясняется, почему он устроен именно так.

На семинарских занятиях, подкрепляющих первую часть курса, подробно рассматривается эволюция взглядов на пространство, время и движение — основных понятий, без которых невозможно описать строение и свойства материи. Несколько семинаров посвящено веществу и полю — двум формам материи, их взаимопревращению в ходе эволюции Вселенной. Заканчивается первая часть пособия обсуждением таких важнейших понятий, как порядок и хаос, симметрия, информация, энтропия. Делается вывод, что самоорганизация возможна только в открытых системах, подверженных внешним воздействиям.

В конце пособия приведен обширный, хотя далеко не полный список литературы по каждому семинару. Он поможет студентам привлечь дополнительную информацию при подготовке к занятию. Это, однако, ни в коей мере не ограничивает самостоятельный поиск интересующей читателя информации в монографиях, периодической печати, различных каталогах и Internet.

1

У истоков учения о гармонии мира

Все элементы мироздания гармонично связаны между собой.

Цицерон

1.1. Золотое сечение

Начнем издалека... Древняя Греция, VI в. до н. э. Пифагор Самосский — это имя известно каждому школьнику по его знаменитой теореме: «Пифагоровы штаны на все стороны равны». Уже в ранней юности Пифагор проявил недюжинные способности к различным наукам и, как тогда было принято, отправился совершенствовать свои знания в Египет. Здесь он прожил долгих 22 года и здесь, у египетских жрецов получил свои знания в области геометрии и астрономии.

VI в. до н. э. — это эпоха бурных персидских войн. Войска Кира II захватили обширные территории от Армении на севере до Египта на юге и от Африки до Индии с запада на восток. Египет завоевывал сын Кира II Камбис. Пифагор попал в плен к Камбису и был вывезен на территорию Вавилонии, где провел еще 12 лет. В Вавилонии он имел возможность познакомиться с обрядовой мистикой персидских магов и математическими знаниями халдейских мудрецов. Халдеями греки называли семитские народы. Некоторые авторы уверяют, что Пифагор побывал также и в Индии. В этом ничего невозможного нет, так как ее значительная часть тогда также входила в громадную Персидскую державу.

На родину Пифагор вернулся уже зрелым человеком. Пора было обзаводиться учениками и, вот, в городе Кротон (теперь это северная часть Италии, а тогда — территория Древней Греции) он создает свою школу, или пифагорейский союз. Статут союза был весьма суров. Прежде чем быть в него принятым, претендент должен был пройти

трехлетний испытательный срок, отказаться от принадлежащего ему имущества в пользу союза, приучиться соблюдать множество правил и запретов. Затем следовало пятилетнее обучение в качестве ученика низшей ступени — *акусматика*, т. е. слушателя. Акусматики не видели самого Учителя, а могли только слушать его голос из-за занавеса. Ученики, успешно закончившие обучение на низшей ступени, после дополнительных испытаний переводились на высшую ступень. Теперь они становились *математиками* (от греч. *mathematike* — полное знание).

Что же это за полное знание, которому учил Пифагор? В основном оно сводилось к двум основным положениям. Первое — это учение о *метемпсихозе* — переселении души после смерти в иное тело. Второе — учение о четырех первоосновах (стихиях) мироздания: огонь, воздух, вода и земля. Обе концепции в VI в. до н. э. были чрезвычайно распространены в индийских философских школах. Это является дополнительным косвенным свидетельством того, что Пифагор в Индии бывал.

Разумеется, древние мыслители не были столь наивны, чтобы считать, что все сущее буквально состоит из этих первоэлементов. Просто, ввиду отсутствия разработанной научной терминологии, они называли землей любое твердое состояние вещества, водой — жидкое, воздухом — газообразное, а огнем — то, что теперь называют плазмой. Действительно, эти четыре агрегатные состояния вещества полностью определяют любые его возможные формы. Пифагор решил их обозначить какими-то элементарными символами. Таковыми он считал числа. Рассуждал он приблизительно так: все тела ограничены поверхностями, поверхности ограничены линиями, линии состоят из точек, а точки можно пересчитать. Поэтому, по мнению Пифагора, нет ничего более элементарного, чем число.

Вот он и обозначил упомянутые выше первоосновы цифрами 1, 2, 3, 4. Тогда вся Вселенная, содержащая в себе все первоосновы, может быть обозначена как $1 + 2 + 3 + 4 = 10$. Именно десятку Пифагор избрал символом своего союза, запечатлев ее в виде геометрического образа — *пентаграммы* (рис. 1.1).

Изучая пентаграмму, Пифагор и его ученики вскоре выяснили, что она состоит из подобных треугольников вида *ABC* и *BCD*. Тогда

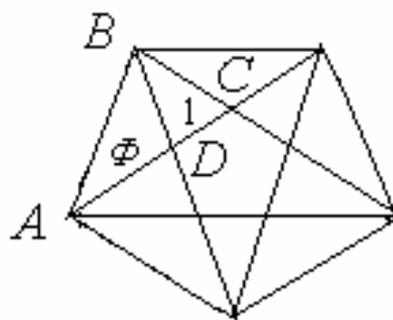


Рис.1.1. Пентаграмма — символ пифагорейского союза

$$\frac{AC}{BC} = \frac{BC}{DC}.$$

Так как $BC = AD$, то

$$\frac{AC}{AD} = \frac{AD}{DC}, \quad (1.1)$$

т. е. большая часть AD отрезка AC так относится к его меньшей части DC , как длина всего отрезка относится к его большей части (так называемое Золотое сечение).

Обозначив $AD = \Phi$, а $DC = 1$, пропорцию (1.1) можно переписать в виде

$$\Phi = 1 + \frac{1}{\Phi},$$

откуда следует квадратное уравнение

$$\Phi^2 - \Phi - 1 = 0,$$

положительный корень которого

$$\Phi = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{5}) \approx 1,618. \quad (1.2)$$

Таким образом, для разбиения кого-либо тела в Золотом сечении, необходимо, чтобы его большая часть превышала меньшую приблизительно в 1,618 раз.

Эта пропорция нашла свое практическое воплощение в древнегреческих архитектурных сооружениях и творениях выдающегося скульптора Фидия (в честь которого Золотое сечение и обозначается буквой Φ). Затем, после упадка Древней Греции и захвата ее Римом, найденная греками пропорция была использована римским архитектором Витрувием (I в.), а в эпоху Возрождения заново воскрешена великим Леонардо да Винчи. Именно он ввел термин «*Sectio aurea*» — Золотое сечение. Современник и друг Леонардо, монах францисканского ордена, профессор теологии и математики Лука Пачоли назвал Золотое сечение «*Divina proportione*» — Божественной пропорцией, написав о ней полную восторженных эпитетов книгу, иллюстрированную Леонардо. Вдохновленные этой книгой, Золотое сечение ис-

пользовали многие архитекторы и художники эпохи Возрождения: Микеланджело, Паладио, Боттичелли, Дюрер и др.

1.2. Числа Фибоначчи и их связь с Золотым сечением

Средневековая Италия, 1202 г. Интересующийся математикой купец Леонардо Пизанский по прозвищу Фибоначчи (сокр. от староритал. *figlio bonta natura* — сын доброй природы), решая задачу о размножении кроликов, находит числовую последовательность вида

$$\{F_n\}: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots \quad (1.3)$$

Числа Фибоначчи (1.3) оказались тесно связаны с Золотым сечением. Для доказательства этого факта рассмотрим последовательность цепных дробей вида

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= 1 = \frac{1}{1}; \\ \Phi_1 &= 1 + \frac{1}{1} = \frac{2}{1}; \\ \Phi_2 &= 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1}} = \frac{3}{2}; \\ \Phi_3 &= 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1}}} = \frac{5}{3}; \\ &\dots \\ \Phi &= 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\dots}}}} \end{aligned}$$

В силу бесконечной повторяемости предельной бесконечной цепной дроби Φ можем записать эквивалентное выражение: $\Phi = 1 + \frac{1}{\Phi}$. Откуда $\Phi^2 - \Phi - 1 = 0$. Решение этого квадратного уравнения нам

нам уже известно: $\Phi = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1,618$. Сравнивая приближающие к Φ конечные цепные дроби, записанные выше, с числами Фибоначчи, видим, что

$$\Phi = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n+1}}{F_n}.$$

В теории цепных дробей доказывается, что цепные дроби с ограниченным числом звеньев наиболее медленно сходятся к своим иррациональным пределам, выражаемым бесконечными цепными дробями, если образующие их цифры одинаковы, причем тем медленнее, чем эти цифры меньше. Следовательно, **Золотое сечение представляет собой такое иррациональное число, которое труднее всего аппроксимировать сходящейся последовательностью рациональных чисел, а числа Фибоначчи являются последовательностью чисел, отношения соседних членов которой медленнее всего сходятся к этому рациональному числу.**

1.3. Роль Золотого сечения и чисел Фибоначчи в формообразовании биологических объектов

Оказалось, что пропорции Золотого сечения широко присутствуют в строении живых организмов.

1. Как показал великий немецкий математик и астроном И. Кеплер (1571—1630), количество лепестков у цветов, имеющих форму правильной розетки, равно числам Фибоначчи либо, если они располагаются в два яруса, удвоенным числам Фибоначчи:

$$N_f = kF_n \quad (k=1, 2). \quad (1.5)$$

Например, цветы растений семейств осоковых (осока, циперус), злаковых (пшеница, рожь, овес) и розговых (рогоз) вообще не имеют лепестков. Ароидные (калла, эмиinium, кантедеския) имеют по 1 лепестку. Некоторые губоцветные (пустырник, шалфей) — по 2 лепестка. Лимнохарисовые (гидроклеис) и марантовые (таллия) — по 3 лепестка. Маковые (мак, чистотел), крестоцветные (сурепка, капуста, редис, редька), гидрангиевые (жасмин), маслиновые (сирень) — по 4 лепестка. Розоцветные (шиповник, яблоня, груша, слива, вишня), вересковые (рододендрон, багульник), тыквенные (тыква, арбуз, дыня, огурец),

пасленовые (картофель, томат, перец), жимолостные (бузина, калина) — по 5 лепестков. Луковые (лук, блоуерия), лилейные (лилия, тюльпан, геждия, купена), ирисовые (ирис, гладиолус, шафран) — по 6 лепестков. Цветы сложноцветных растений могут иметь 8 краевых цветков — лепестков (космея), 13 (гайлардия), 21 (ромашка обыкновенная), 34 (календула), 55 (подсолнух).

2. *Филлотаксис* (от греч. *phyllon* — лист, *taxis* — порядок) — расположение листьев на стеблях покрытосеменных растений (рис. 1.2) — характеризуется дробью, в числителе которой указывается количество листьев, которые нужно пройти, чтобы добраться до более молодого листа, находящегося на той же ортостихе, а в знаменателе — число оборотов вокруг стебля, которое при этом требуется совершить.

Для большинства растений филлотаксисные дроби выражаются отношением чисел Фибоначчи, взятых через одно:

$$\left\{ \frac{F_{n+2}}{F_n} \right\} : \frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{5}{2}, \frac{8}{3}, \frac{13}{5}, \dots \rightarrow \Phi^2.$$

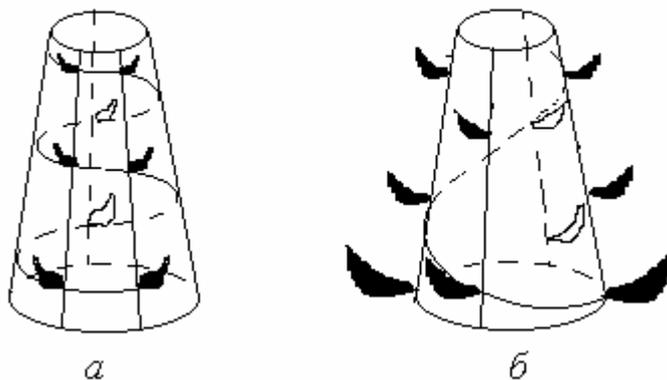


Рис. 1.2. Филлотаксисные спирали на примере вербы (а) и клена (б). Листья располагаются на ортостихах (от греч. *orthos* — прямой и *stichos* — ряд)

Так, например, это отношение равно 2/1 у березы и липы, 3/1 — у вербы, 5/2 — у яблони, груши и других розоцветных, 8/3 — у барбариса, 13/5 — у облепихи. Но из всякого правила есть исключения. Скажем, филлотаксис ясеня, клена, сирени характеризуется не отношением чисел Фибоначчи, а отношением чисел Люка ($\{L_n\}$: 1, 2, 3, 4, 7, 11, 18, ...): $\{L_{n+2}/L_n\} = 4/1$, причем в этом случае имеется две спирали

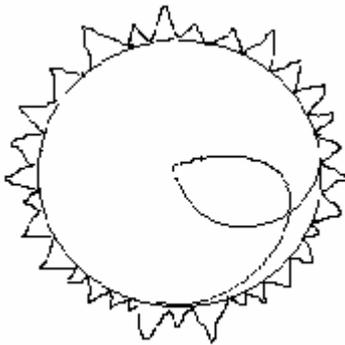
со взаимно противоположным направлением закручивания и супротивным расположением листьев (рис. 1.2 б). Впрочем, числа Люка, названные так по имени предложившего их французского математика Ф. Люка (1842—1891), обладают тем же самым свойством, что и числа Фибоначчи: их отношения (большого к меньшему) по мере увеличения номера также стремятся к Золотому сечению (только несколько быстрее, чем отношения чисел Фибоначчи).

Филлотаксисные спирали возникают не только в растительном мире. Они встречаются в формообразовании чешуи рыб и пресмыкающихся, в расположении щупальцев медуз, в строении раковин *фораминифер* — отряда простейших из класса корненожек. Эти закономерности проявляются уже на уровне белковых молекул. В α -спиралях полипептидов расположение аминокислотных остатков по ходу спирали описывается числами вида

$$\left\{ \frac{L_{n+1}}{F_n} \right\} : \frac{3}{1}, \frac{4}{1}, \frac{7}{2}, \frac{11}{3}, \frac{18}{5}, \dots \rightarrow 2 + \Phi. \quad (1.6)$$

В числителе этого ряда стоят числа Люка, а в знаменателе — числа Фибоначчи.

3. У покрытосеменных растений семейства сложноцветных, таких как подсолнух, одуванчик, ромашка, семена собраны в корзинку плоской или полушаровидной формы. В расположении семян можно заметить два семейства спиралей, раскручивающихся в противоположные стороны и пересекающихся под углами, близкими к прямым (рис. 1.3). Похожим образом расположены семена в шишках хвойных растений.



Отношение числа длинных парастих к числу коротких парастих представляет из себя дроби следующего вида:

Рис. 1.3. Расположение семян в корзинке подсолнуха по парастихам (от греч. *para* — вне, около и *stichos* — ряд)

$$\left\{ \frac{F_{n+1}}{F_n} \right\} : \frac{2}{1}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{8}{5}, \frac{13}{8}, \dots \rightarrow \Phi. \quad (1.7)$$

Например, для европейской лиственницы и сибирского кедра это отношение равно $8/5$, различных видов сосны — $8/5$, $13/8$, $21/13$, европейской ели — $13/8$. У подсолну-

ха встречаются сорта с отношением числа парастих 55/34, 89/55, 144/89.

1.4. Естественнонаучные основы гармонии

Что же является причиной того факта, что в живой природе доминируют пропорции Золотого сечения (см. выражения (1.5) — (1.7))? Из физики известно, что *любая система, выведенная из состояния равновесия, стремится перейти в состояние с минимальной свободной энергией**. Поэтому в ходе морфогенеза соединительные ткани, отделяющие одни части живого организма от других, располагаются в местах, обеспечивающих организму минимальные затраты энергии в процессе жизнедеятельности. Организмы, не удовлетворяющие этому принципу, выбраковываются под действием естественного отбора. Как же природа находит оптимальные места для листьев и семян у растений, камер в раковинах моллюсков, суставов у позвоночных животных и т.д.? Ситуацию здесь проясняет известная из математики теорема об оптимальном шаговом плане поиска экстремума неизвестной функции. Согласно этой теореме, при заданном числе шагов поиска, экстремум находится с минимальной погрешностью методом Золотого сечения. Суть метода состоит в том, что область поиска делится на F_{n+2} равных отрезков, где n — число шагов. Рис. 1.4 иллюстрирует применение этого метода для отыскания минимума некоторой функции $F(x)$, каковой может быть, например, свободная энергия биологической системы. Природа не имеет возможности бесконечно долго искать места ее минимумов для стыковки пар каких-либо органов тела, поэтому поступает по фибона-

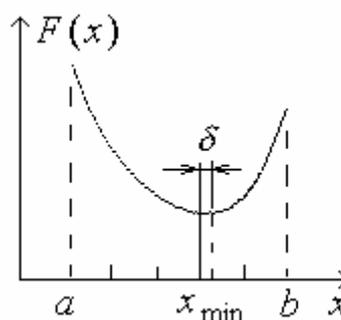


Рис.1.4. Нахождение минимума функции $F(x)$ по фибоначчиевому плану за $n = 3$ шага. Область задания функции $[a, b]$ разбивается на $F_{3+2} = F_5 = 5$ равных отрезков. Затем пошагово, с погрешностью δ , находится x_{\min} .

на F_{n+2} равных отрезков, где n — число шагов. Рис. 1.4 иллюстрирует применение этого метода для отыскания минимума некоторой функции $F(x)$, каковой может быть, например, свободная энергия биологической системы. Природа не имеет возможности бесконечно долго искать места ее минимумов для стыковки пар каких-либо органов тела, поэтому поступает по фибона-

* Под свободной энергией системы понимается та часть ее внутренней энергии, за счет которой может совершаться работа. Следовательно, неравновесная система стремится перейти в такое состояние, в котором ей придется совершать наименьшую работу над другими телами.

начиевому плану. По этой же причине в строении живых организмов и встречаются так часто пропорции Золотого сечения.

2

Картина мироздания в религии и науке

Все религии, искусства и наука являются ветвями одного дерева.

А. Эйнштейн

2.1. Космогонические мифы древнего мира

В дошедших до нас письменных памятниках, повествующих об укладе жизни, обрядах и верованиях людей, населявших центры древних цивилизаций, особое место занимают *космогонические мифы*. В них описываются представления древних о том, кто и каким образом создал окружающий мир: небесные светила, Землю, растения, животных и людей.

Не имея возможности подробно исследовать эти представления во временном и географическом масштабах, сосредоточим здесь наше внимание лишь на уже сложившейся ко 2 — 3 тысячелетию до н.э. мифологии Древнего Египта, Вавилонии и отчасти Древней Греции, так как именно она оказала непосредственное влияние на возникновение сразу нескольких мировых религий.

Мифология Древнего Египта достигла своего расцвета в эпоху Среднего царства (2-е тыс. до н. э., примерно до XVI в.). Именно тогда Египет завоевал Сирию, Палестину и другие территории. Центром его культурной и политической жизни стал Гелиополь, развалины которого теперь находятся близ города Баальбек в Ливане. В «Книге познания явлений Ра и низвержения Апопа» — злого змея, противника солнечного бога *Ра* — говорится:

—Слушайте! Я тот, кто воссуществовал как Хепра (одно из имен Ра), восуществовал Я, и восуществовали существования все после того, как восуществовал Я. Многие существа вышли из уст моих.

Это было время, когда еще не было неба и земли, когда не было ни воздуха, ни ветра, ни деревьев, ни животных, а был лишь один *Нун* — вселенский хаос и небытие. И было мне все это неприятно созерцать, поскольку не было мне места для того, чтобы опереться на что-нибудь. И тогда размыслил Я в сердце своем, задумав сотворить мир, заполненный богами, людьми, животными и растениями.

И соединился с рукой своей сжатой, совокупился Я с тенью своей и излил я семя в собственный рот, зачав таким образом в самом себе детей. Потом выплюнул Я на свет сына *Шу*, бога воздуха, а потом изрыгнул Я дочь *Тэфнут*, ставшую супругой *Шу*. /.../

После этого собрал Я члены свои, полил их слезами, и родились люди из слез моих. Создал Я и существ земных — зверей, птиц, рыб.

Далее повествуется о том, что от *Шу* и *Тэфнут* родились бог земли *Геб* и богиня неба *Нут*, которые, в свою очередь, произвели *Осириса* — бога умирающей и воскресающей природы, его сестру и одновременно жену *Исиду* — богиню плодородия, воды и ветра (изображалась в виде женщины с головой или рогами коровы), *Сета* — бога пустыни, брата и убийцы *Осириса*, и *Нефтиду*. Так появилась знаменитая гелиопольская «Великая Девятка богов» во главе с *Ра*, положившая начало египетскому пантеону богов.

В других центрах древнеегипетской цивилизации бытовали свои, местные представления о происхождении Вселенной и главенствующее положение занимали свои боги, впоследствии часто отождествляемые с гелиопольским *Ра*. Так, в *Мемфисе* — столице Древнего царства (3-е тыс. до н. э.) — считалось, что весь мир, боги, люди, города и храмы, жизнь и смерть — все это возникло по мысли бога *Птаха*, выраженной в его слове. В *Элефантине* (2—1-е тыс. до н. э.) утверждали, что весь мир и людей вылепил бог — горшечник *Хнум* на гончарном круге.

В вавилонской мифологии (3 — 2-е тыс. до н. э.), как и в древнеегипетской, также считалось, что в начале времен существовал *Хаос*. Его олицетворяли мужское начало — *Ансу* и женское — *Тиамат*. От их союза родилась первая пара богов: *Ламму* и *Лахаму*, от которых уже появились богиня любви и плодородия *Иштар*, бог ветра *Мардук*, бог Солнца *Шамаш* и др. боги. Боги боролись с хаосом за наведение порядка в мире. Они убили *Ансу*. Затем *Мардук* рассек тело *Тиамат* на две части и сделал из них небо и землю.

Одержав победу, боги принялись пировать. Для приготовления яств и напитков им понадобились слуги. Первоначально они стали делать их из мяса и костей одного из своих собратьев, бога *Кингу*, которого убили по подозрению в измене и пособничестве *Тиамат*. Однако,

поскольку боги были уже в изрядном подпитии, из этой затеи ничего не вышло, только перепортили материал. Тогда бог *Эа* вылепил более-менее удачный экземпляр из глины и вдохнул в него часть своей бессмертной души. Так появился первый человек по имени *Адапа*, что на аккадском (ассиро-вавилонском) языке буквально означало «из глины».

По поводу происхождения женщины говорится следующее. Однажды у верховного бога *Энки* разболелось ребро. Чтобы его вылечить, он создал специальную «госпожу ребра» — *Нин-ти*, которая успешно справилась с задачей. Слово *ти* имело и другое значение — «дающая жизнь».

От *Адапы* и *Нин-ти* произошли все остальные люди. Но они вели себя совсем не так, как рассчитывали боги: были непослушны и свое нравны. Тогда *Энки* решили уничтожить весь людской род, наслав на землю потоп. Однако добрый бог *Эа* предупредил одного праведника по имени *Утнапиштим* о готовящемся наводнении, велел ему построить большой ковчег и разместить там свою семью, скот («всякой твари по паре») и запасы продовольствия и корма для скота. Об этом подробно повествуется в «Эпосе о Гильгамеше», но уже из приведенных отрывков ясно, что многие вавилонские мифы были позднее использованы в Библии.

Древнегреческая мифология (2 — 1-е тыс. до н. э.) моложе древнеегипетской и вавилонской, но во многом на них похожа. В разное время и в разных районах Древней Греции бытовали различные взгляды на то, как был сотворен мир. Для нас здесь представляется наиболее интересным ранний, так называемый *пеласгический** миф. Вот как повествуется в нем о мироздании. В начале времен *Эвринома*, богиня всего сущего, восстала обнаженной из вечного безграничного темного Хаоса, где перемешаны были все начала будущего мира — земля и вода, воздух и огонь, и обнаружила, что ей не на что опереться, поэтому она отделила небо от моря и начала свой одинокий танец над его волнами. В своем танце она продвигалась к югу, и за ее спиной возникал ветер, который ей показался вполне пригодным, чтобы начать творение. Обернувшись, она поймала этот северный ветер, сжала его в своих ладонях — и перед ее глазами предстал великий змей *Офион*. *Эвринома* плясала все неистовей, пока в *Офионе* не пробудилось желание, и он не обвил ее тело, чтобы обладать ею. Затем

* Согласно античным преданиям, пеласгами называли себя древнейшие жители Балканского полуострова, островов Эгейского моря и западного побережья Малой Азии.

обернулась она в голубку, села на волны и снесла *Мировое Яйцо*. *Офион* обернулся *семь раз* вокруг Яйца и высиживал его, пока оно не расколосось. Из этого Мирового Яйца и появилось все, что существует на свете: солнце, луна, планеты, звезды, земля и ее горы, реки, растения и животные.

Возгордившись, *Офион* объявил себя творцом Вселенной. За это *Эвринома* ударила его палкой по голове, выбила все зубы и изгнала в мрачное подземное царство — *Аид*. Из этих зубов, якобы, и произошли люди (по другой версии они считались рожденными из земли).

Представление об *Аиде*, как царстве мертвых, подробнее описано в более позднем, *олимпийском мифе* творения. Туда *Зевс*, верховный бог – громовержец, воцарившийся на Олимпе, низвергает враждовавших с ним чудовищ и титанов, а также тех, кто при жизни был жесток, зол и беспощаден. Но почему добрые люди должны после смерти делить ту же участь, что и грешники? Поэтому наряду с *Аидом* возникает представление о древнегреческом рае — *Элисиуме*, где живут души праведников.

2.2. Картина мироздания в христианстве

На основе ассиро-вавилонской мифологии к началу 1-го тыс. до н. э. среди еврейского населения Палестины возник *иудаизм* — монотеистическая религия с культом бога *Яхве* или, иначе, *Иеговы*, что в переводе с древнееврейского означает *Сущий* или *Дающий*.

Христианство появилось в начале I в. там же, вначале как секта внутри иудаизма, среди угнетенных слоев населения, веривших в приход *мессии* (от др. – евр. *машиах* — помазанник), ниспосланного богом и долженствующего навечно установить свое справедливое царство. Таковым спасителем для них стал *Иисус* из Назарета, города в северной Палестине — Галилеи, которого считали богочеловеком, рожденным *Девой Марией* путем непорочного зачатия от *Святого Духа Господня*. После мученической смерти на кресте во искупление грехов человеческих и последовавшего за этим воскресения и вознесения на небо *Иисуса* стали называть *Христос* (от греч. *Christos* — помазанник).

Священной книгой христиан является *Библия* (от греч. *biblia* — книги), состоящая из *Ветхого Завета* (по сути иудейской Торы — Пятикнижия Моисеева, переведенной вначале на греческий, а затем и на другие языки) и *Нового Завета* (жизнеописания Иисуса Христа, признаваемого лишь христианами).

Вот как описывается в Торе и Ветхом Завете сотворение мира Богом за шесть дней:

1. «В начале сотворил Бог небо и землю. Земля же была безвидна и тьма над бездною, и Дух Божий носился над водою. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет. И увидел Бог свет, что он хорош, и отделил Бог свет от тьмы. И назвал Бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер и было утро: день один».

Таким образом, в первый день творения Бог создал Свет.

2. «И сказал Бог: да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды. [И стало так.]. И создал Бог твердь, и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так. И назвал Бог твердь небом. [И увидел Бог, что это хорошо.] И был вечер, и было утро: день второй.

И сказал бог: да соберется вода, которая под небом, в одно место, и да явится суша. И стало так. [И собралась вода под небом в свои места, и явилась суша.] И назвал Бог сушу землею, а собрание вод назвал морями. И увидел Бог, что это хорошо».

Стало быть, на второй день Бог создал небо, землю и моря.

3. «И сказал Бог: да произрастит земля зелень, траву, сеющую семя [по роду и подобию ее, и], дерево плодовитое, приносящее по роду своему плод, в котором семя его на земле. И стало так. И произвела земля зелень, траву, сеющую семя по роду [и подобию] ее, и дерево [плодовитое], приносящее плод, в котором семя его по роду его [на земле]. И увидел Бог, что это хорошо. И был вечер, и было утро: день третий».

Итак, третий день потратил Бог на создание растений.

4. «И сказал Бог: да будут светила на тверди небесной [для освещения земли и] для отделения дня от ночи, и для знамений, и времен, и дней, и годов; и да будут они светильниками на тверди небесной, чтобы светить на землю. И стало так. И создал Бог два светила великие: светило большое, для управления днем, и светило меньшее, для управления ночью, и звезды; и поставил их Бог на тверди небесной, чтобы светить на землю, и управлять днем и ночью, и отделять свет от тьмы. И увидел Бог, что это хорошо. И был вечер, и было утро: день четвертый».

Таким образом, Солнце, Луна и звезды были созданы Богом на четвертый день.

5. «И сказал Бог: да произведет вода пресмыкающихся, душу живую; и птицы да полетят над землею, по тверди небесной. [И стало так.] И сотворил Бог рыб больших и всякую душу животных пресмыкающихся, которых произвела вода, по роду их, и всякую птицу пернатую по роду ее. И увидел Бог, что это хорошо. И благословил их

Бог, говоря: плодитесь и размножайтесь, и наполняйте воды в морях, и птицы да размножаются на земле. И был вечер, и было утро: день пятый».

Выходит, на пятый день Бог создал рыб, пресмыкающихся и птиц.

6. «И сказал Бог: да произведет земля душу живую по роду ее, скотов, и гадов, и зверей земных по роду их. И стало так. И создал Бог зверей земных по роду их. И увидел Бог, что это хорошо. И сказал Бог: сотворим человека по образу Нашему [и] по подобию Нашему, и да владычествуют они над рыбами морскими, и над птицами небесными, [и над зверями] и над скотом, и над всею землею, и над всеми гадами, пресмыкающимися по земле. И сотворил Бог человека по образу Своему, по образу Божию сотворил его; мужчину и женщину сотворил их. И благословил их Бог, и сказал им Бог: плодитесь и размножайтесь, и наполняйте землю, и обладайте ее, и владычествуйте над рыбами морскими [и над зверями,] и над птицами небесными, [и над всяким скотом, и над всею землею,] и над всяким животным пресмыкающимся по земле, И увидел Бог все, что Он создал, и вот, хорошо весьма. И был вечер, и было утро: день шестой».

В завершение своих трудов, на шестой день Бог создал млекопитающих и человека, и «почил в день седьмой от дел Своих, которые делал».

Далее повествуется о том, как Бог создал женщину. Поселив *Адама* в саду Едемском (земном раю) и поручив ему давать названия всяким животным, Бог увидел, что *Адам* тоскует, что нет у него, в отличие от животных, пары. И, вот, навев на *Адама* глубокий сон, Бог взял у него ребро и сотворил женщину — *Еву* (от евр. *Хава* — дающая жизнь). По научению Змея *Ева* уговорила *Адама* отведать вместе с ней запретный плод от «дерева познания добра и зла», за что они были изгнаны из рая.

Читатель, настроенный вульгарно атеистически, найдет в вышеприведенных отрывках из Библии много наивных и нелепых, на его взгляд, моментов. Между тем, ситуация здесь гораздо сложнее.

Действительно, что же светило в первый день творения, если Солнце, Луна и звезды были созданы Богом лишь на четвертый день? И как отсчитывались сами дни? Какова была их продолжительность?

А разве современная космология не пришла к выводу об имевшем место около 10 — 20 млрд лет назад некоем Большом взрыве, положившем начало нашей Вселенной и сопровождавшемся электромагнитным излучением, которое в ранней горячей Вселенной наблюдалось в видимом диапазоне, а теперь перешло в миллиметровый диапазон радиоволн (так называемое *реликтовое излучение Вселенной*)?

Что касается продолжительности божьих дней творения, то следует иметь в виду, что еврейское слово «йом», переведенное вначале на греческий, а затем и на другие языки как день, означает не только современное понятие «сутки», но и вообще любой неопределенный промежуток времени.

Что такое небесная *твердь*? Означает ли это, что небо представлялось в виде хрустального купола с отверстиями для дождя и что все небесные тела Бог расположил, таким образом, на равном расстоянии от Земли? Вовсе нет! Здесь тоже недоразумение, связанное с неточностью перевода. Слову *твердь* в древне-еврейском оригинале соответствует слово *ракиа* — протяженность. На греческий оно переведено как *stereota*, что означает не только нечто твердое, но и объемное, пространственное.

Много возражений вызывает создание Богом растений и животных сразу в готовом виде, что как-будто противоречит эволюционному учению. Но современная теория эволюции, основанная на молекулярной генетике, также приходит к выводам о скачкообразном характере эволюции.

По поводу того, что Бог создал человека по образу и подобию Своему: «по образу Божию сотворил его; мужчину и женщину...». Какими половыми признаками тогда обладает сам Бог? Он что — гермафродит? И можно ли вообще представлять себе Бога в виде антропоморфного существа? Разумеется нет, речь идет о духовном сходстве: ведь именно у человека, согласно Библии, предполагается наличие души. Сам же Бог, (как, впрочем, и ангелы, и Дьявол, и черти) не имеют телесной оболочки. Хотя в Библии описаны случаи, когда эти существа представали перед людьми в том или ином образе.

2.3. Вопросы мироздания в исламе

Ислам (с араб. *покорность*) является самой молодой из мировых религий. Он возник в Аравии, в нач. VII в. Его пророк и основатель, *Мухаммед*, по преданию был бедным пастухом, который, благодаря выгодной женитьбе на богатой вдове, стал владельцем большого стада, вел торговые дела с соседними народами — иудеями и христианами. От них он узнал об основных догматах иудаизма и христианства, которые причудливым образом переплелись в его сознании с местными арабскими мифологическими представлениями и культом бога племени курейшитов *Аллаха*.

Считается, что однажды ночью к *Мухаммеду* спустился посланник *Аллаха Джабраил* (аналог библейского архангела Гавриила) и

приказал: «Читай!». И, хотя, Мухаммед не умел читать, после третьего повторения *Джабраилом* этого приказа он начал изрекать заповеди *Аллаха*. С этого момента *Мухаммед* довольно часто впадал в подобный религиозный транс, а его проповеди, продолжавшиеся более двадцати лет, были после смерти пророка собраны с помощью его бывшего секретаря и писца Зейда ибн Сабита и составили *Коран* (с араб. *Кур'ан* — чтение) — священную книгу мусульман.

Поскольку *Коран* рождался без какого-либо плана, он состоит из разнородных фрагментов, содержащих регламентацию религиозных обрядов, моральные предписания и правовые установления, обычаи и традиции, определяющие уклад жизни мусульман. По вопросу мироздания он во многом повторяет Тору и Ветхий Завет. Здесь фигурируют те же библейские персонажи: *Адам*, Ной (*Нух*), Авраам (*Ибрагим*), Исаак (*Исхак*), Исмаил (*Измаил*), Иаков (*Якуб*), Иосиф (*Юсуф*), Аарон (*Гурон*), Иов (*Айюв*), Давид (*Дауд*), Соломон (*Сулейман*), Илия (*Иьяс*), Иисус (*Иса*), Моисей (*Муса*) и др.

Как и в иудаизме, в исламе отрицается божественная сущность Иисуса (*Исы*), хотя и признается, что *Аллах* вдохнул в чрево Марии (*Марьям*) свой «дух», после чего он и родился.

Как и иудейский *Яхве*, и христианский *Бог-Отец*, *Аллах* (в сущности, это один и тот же бог) сотворил мир за шесть дней. Творил он легко и без изъянов, единым своим словом «Будь!».

Он сказал «Будь!» — и появились небеса и земля; «сотворил семь небес, одно над другим», устроил небо так, что «нет в нем ни единой щели». Низшее небо *Аллах* украсил светилами и поставил их для отражения дьяволов. Он «велел ему (небу) производить темноту ночи, заставил его изводить утреннюю светозарность». С неба *Аллах* спустил на землю лестницу, «по которой ангелы и духи восходят к нему в течение дня, которого продолжение пятьдесят тысяч лет». Однако люди и черти, если бы и попытались влезть на небо по этой лестнице, не были бы туда допущены. Земля в *Коране* представляется в виде неподвижной плоскости, наподобие ковра, удерживаемого воздвигнутыми на нем горами.

«*Аллах*, — говорится в *Коране*, — сотворил всякое животное из воды; из них есть такие, что ходят на животе, и есть из них такие, что ходят на двух ногах, и есть из них такие, что ходят на четырех». По поводу происхождения человека в *Коране* имеется несколько вариантов: «из глины звучащей, из глины, облеченной в форму», «из воды», «из капли» и т.п. Говорится в *Коране* и об изгнании *Адама* и жены его из рая за ослушание не есть плодов от запретного дерева.

В целом, в вопросах мироздания ислам повторяет несколько до-работанную и приукрашенную картину мира, описанную в иудейской Торе и Ветхом Завете христиан.

2.4. Буддизм и мироздание

Буддизм возник в Индии в VI в. до н.э. Его основатель — *Сидхартха Гаутама* из рода Шакья был сыном раджи. С раннего детства мальчик был окружен роскошью и весельем, знал только радости жизни. Но, вот, однажды, когда он уже был женат и имел сына, *Гаутама* случайно оказался за пределами дворца. Здесь он встретил покрытого язвами изможденного больного, сгорбленного годами убого старца, похоронную процессию и наконец, погруженного в раздумья аскета. Это произвело на него столь сильное впечатление, что он ушел из отчего дома, стал отшельником, аскетом, подвергал себя всевозможным самоистязаниям, пытаясь понять великую тайну жизни. Так прошло семь лет. Наконец, однажды, когда предельно усталый и изможденный *Гаутама* сел под деревом, прислонился к нему спиной и предался, как обычно, глубокому самопознанию, на него внезапно снизошло прозрение. Он как бы внутренне «пробудился», стал *Буддой* (от санскрит. *Будха* — пробужденный, просветленный).

Перед *Гаутамой* ясно предстали тайны жизни и смерти, составляющие *четыре благородных истины*: 1. Жизнь — это страдания. 2. Причина страданий — это желания. 3. Избавление от страданий — это отказ от желаний. 4. Существует путь избавления от страданий, так называемый *восьмеричный путь Будды*: праведная вера — истинная решимость — праведная речь — праведные дела — праведная жизнь — праведная мысль — праведные помыслы — истинное созерцание. Соблюдение этих принципов приводит к *нирване* — психологическому состоянию совершенной удовлетворенности, полной самодостаточности и абсолютной отрешенности от внешнего мира.

Для уяснения основ буддизма важно знать, что он зиждется на индуистских представлениях о переселении души, ее воплощении после смерти физического тела в другое тело. В соответствии с *кармой* — грузом наследственных и собственных прижизненных добрых и злых поступков — новая жизнь может оказаться более или менее счастливой, чем прежняя. Но бесконечная цепь перерождений не сулит ничего хорошего. Поэтому целью буддистов является стремление разорвать это «колесо бытия», достичь *нирваны* и слиться с «*Космическим телом Будды*».

Буддийскую картину мира хорошо передает *мандала*— культовое блюдо или изображение на полу храма. Она представляет из себя круг, в который вписан квадрат, сориентированный по четырем сторонам света. В квадрат вписан малый круг, в центре которого изображение Будды, символизирующее его мощь и влияние на всю Вселенную. Из каждой стороны квадрата выходят ворота в большую Вселенную. На выходе из этих ворот изображаются различные божества; то же изображено и в пространстве вокруг квадрата. Это карта Вселенной в горизонтальном плане. Через центр *мандалы* проходит воображаемая ось (гора Меру или мировое дерево), которая пересекается другими плоскостями многослойной Вселенной. Подземный ее слой составляют область злых демонов (*ассуров*, преисполненных ненависти к богам) и тройная система адов — раскаленные, морозные и комбинированные. Земной мир также многослоен (воздушный, водный и др.). Над ним находится мир 33 небес, населенный различными богами и демонами, возглавляемый царем богов — *Буддой*.

Во Вселенной происходит постоянный круговорот будд: одни умирают, другие воплощаются, причем в разных параллельных мирах это происходит независимо, так что общее количество существовавших и одновременно существующих будд огромно. Однако лишь *Гаутама* может их всех знать и помнить. Всякое рождение нового Будды приходится на эпоху, когда в мире падает вера и начинает торжествовать зло. Тогда Он приходит и наводит порядок.

В отличие от христианского и исламского Бога, *Будда* не сотворил мир и человека. Вселенная в буддизме существует вечно, постоянно изменяясь и представляясь человеку своими разными гранями, где воедино слиты прошлое, будущее и настоящее.

2.5. Сравнительный анализ религиозной и научной картины мира

Описанная в иудейской Торе, Ветхом Завете христиан и исламском Коране картина сотворения Мира Богом за шесть дней (еще раз отметим в связи с этим различие этих Божьих дней по продолжительности с сутками, о чем уже говорилось в п. 1.2) поражает удивительно точной последовательностью событий, подтвержденных впоследствии наукой. Итак, День 1 — Свет (свет Большого Взрыва). День 2 — Небо и Земля (Земля покрыта водой, горячая, атмосфера содержит в больших количествах пары воды, метан, окиси азота и непрозрачна). День 3 — отделение суши от воды, создание растений (они действительно,

появились раньше животных). День 4 — Солнце, Луна и звезды (обогатившись кислородом, выделенным растениями, атмосфера стала прозрачной). День 5 — рыбы, амфибии и птицы (все по науке). День 6 — млекопитающие и человек (то же).

А буддийские и йоговские представления о Космическом теле Будды или Мировом Абсолюте, множественности миров и пульсирующей Вселенной? Они также имеют аналогии в современных космологических теориях, связанных с Большим Взрывом, реликтовым излучением Вселенной, найденными А. Фридманом (1922) решениями уравнения Эйнштейна из общей теории относительности.

Что это? Случайные совпадения? Или, действительно, Бог периодически доводил через своих пророков до людей в понятных для них образах сведения о мироздании?

Некоторые ученые так и считают. Их называют *креационистами* (от лат. *creatio* — творение, создание). Креационисты утверждают, что развитие науки лишь подтверждает то, что написано в Священных книгах разных религий.

Однако большинство материалистически мыслящих ученых обратили свои взоры на *синергетику* — науку о самоорганизации неравновесных динамических систем, интенсивно развивающуюся в последнее время. Синергетика учит, что в достаточно сложных открытых системах при наличии диссипации энергии неизбежно возникает самоорганизация и происходит образование упорядоченных структур.

Взгляды тех и других ученых можно было бы совместить, если бы удалось договориться о терминологии. Синергетика не имеет ничего против креационизма, если под словом Бог понимать внешнее по отношению к нашей Вселенной энергетическое воздействие. Тогда, согласно хорошо известному из физики принципу Кюри, в результате воздействия, симметрия системы понижается (т. е. происходит упорядочение), и в ней сохраняются лишь элементы симметрии, общие с элементами симметрии воздействия (чем Вам не «по образу и подобию Божию»?).

Откуда же люди, жившие несколько тысяч лет назад, могли об этом знать или хотя бы догадываться? По-видимому, их мозг, еще не замутненный абстрактно-логическими формами мышления, интуитивно схватывал общие принципы устройства природы, которые ныне открывает синергетика.

3

Принцип Бритвы Оккама

Лишку ни в чем.

Питтак Милетский

3.1. Философские и естественнонаучные взгляды У. Оккама

Уильям Оккам (ок. 1285—1349) — английский философ, монах францисканского ордена, профессор Оксфордского университета. Для западно-европейской науки XIII в. было характерно увлечение *схоластикой* (от греч. *scholastikos* — школьный). Ее суть состояла в том, что значительное место в научных занятиях ученых того времени занимали составление комментариев к трудам античных ученых и формально-логические споры по поводу содержащихся в них положений. Как прилежные школяры, маститые профессора дискутировали по поводу понятий и определений (номинализм), универсалий и сумм знаний, представлений о пространстве, времени и движении.

Апологетом схоластики второй половины XIII в. был итальянский монах-доминиканец Фома Аквинский (*Thomas Aquinas*). Он пытался систематизировать схоластику на базе христианства и учения Аристотеля. Фома Аквинский считал, что вся природа завершается в благодати божией, а разум — в вере, поэтому всякие эксперименты в науке недопустимы. Но у такого подхода к науке были и противники. Например, английский философ и естествоиспытатель, профессор Оксфордского университета Роджер Бэкон (ок. 1214—1292) придавал опыту первостепенное значение и даже создал в своей монашеской келье лабораторию, где ставил опыты по алхимии, оптике, магнетизму. Такие занятия не приветствовались руководством университета и Бэкона, обвинив в связях с дьяволом, заточили в темницу, где он провел 14 лет и был выпущен на свободу лишь незадолго до смерти.

У. Оккам, будучи логиком, в начале своей творческой деятельности также выступал как схоласт, активный представитель номинализма. Однако его подход к определениям в науке отличался от принятого тогда описания и перечисления свойств определяемого понятия. Оккам учил, что дать чему-либо определение — значит указать, мерой чего это является. Такое понимание определений стало впоследствии общепринятым и используется в науке до сих пор.

Как и Р. Бэкон, У. Оккам признавал в науке большую роль опыта. Ему принадлежит высказывание: «Понятия, несводимые к интуитивному и опытному значению, должны удалиться из науки». На интуитивном знании, без доказательства формируются постулаты, на которых базируется любая научная теория. Предсказываемые же теорией эффекты должны подтверждаться экспериментально. Исследуя проблему постулирования основ научной теории, Оккам задумался над тем, сколько их должно быть в правильно построенной теории? Это привело его впоследствии к формулировке знаменитого принципа Бритвы Оккама, о котором речь пойдет ниже.

Взгляды У. Оккама были подвержены резкой критике папой римским. Опасаясь ареста, он сбежал из Англии и в 1328 г. поселился в Германии, в Мюнхене, где надеялся получить покровительство у германского императора — протестанта и противника папы римского, выступавшего против его притязаний на светскую власть.

3.2. Развитие Оккамом представлений о пространстве, времени и движении

Попробуйте дать ответ на, казалось бы, элементарные вопросы: что такое пространство? Или: что такое время? Скорее всего, у Вас получится что-то вроде «пространство — это то, что нас окружает», «время — это то, что течет из прошлого в будущее»...

Дать определение — не такое простое дело, как может показаться на первый взгляд. Вот и в XIII в. каждый уважающий себя ученый старался дать определение этим «простым» понятиям. Учитель У. Оккама, Иоганн Дунс Скот, например, считал, что пространство — это вместительность тел, определяющее местоположение предмета. Время по Фоме Аквинскому, — это последовательность мгновений, отпущенных Богом для того или иного явления.

Следуя своему методу давать определения как указания меры чего-либо, Оккам дал настолько строгие определения пространства и времени, что они используются и сегодня. По Оккаму *пространст-*

во — это мера протяженности и структуры материи, а время — это мера длительности процессов, происходящих в материальном мире.

У Оккама пространство независимо от находящегося в нем предмета, а время не зависит от его движения. Само же движение тела надлежит рассматривать в пространстве и во времени. Оккам различает *равномерное* и *неравномерное* (ускоренное или замедленное) движение. К неравномерному движению он, в частности, относит циклическое и криволинейное движение. Однако взгляды Оккама еще не вполне оформились, и, наряду с этими видами движения, он приводит в качестве примеров неравномерного движения также такие «оригинальные», с точки зрения сегодняшней физики, виды движения как вытеснение, волочение, подталкивание и др.

Весьма прозорливо Оккам разделяет движение на два вида: 1) механическое перемещение в пространстве (*motus localis*) и 2) внутреннее движение (*motus naturalis*). И хотя Оккаму еще не известны молекулярно-кинетические механизмы внутреннего движения, он понимает, что такие изменения, происходящие с телами, как плавление, кипение и др., также есть результат некоторого «природного» движения, хотя оно и не сводится к перемещению тел в пространстве.

Взгляды Оккама оказали благотворное влияние на дальнейшее развитие представлений о движении тел.

Английский последователь учения Оккама Томас Брадвардин (ок. 1290—1349), преподаватель Оксфордского университета, ввел в науку представление о *континуальности* (от лат. *continuum* — непрерывное) пространства и времени. Иначе говоря, он считал, что пространство и время можно делить сколь угодно долго, и их свойства при этом изменяться будут.

Французский философ Жан Буридан (ок. 1300—1358), бывший в одно время даже ректором Парижского университета, ввел представление об *импульсе* и предвосхитил *закон сохранения импульса* в изолированной системе. Ж. Буридан пропагандировал взгляды Оккама во Франции даже после появления в 1339 г. папского декрета, запрещающего его учение.

Впоследствии, уже в XVII в., идеи У. Оккама, Т. Брадвардина и Ж. Буридана были использованы Г. Галилеем и И. Ньютоном при создании основ классической физики.

3.3. Принцип Бритвы Оккама и его роль в науке

Наибольшую известность У. Оккаму принес его знаменитый принцип Бритвы, сформулированный им первоначально как чисто логический принцип бережливости или экономии при доказательстве

каких-либо утверждений. Однако очень скоро Оккам распространил его и на онтологию, т. е. учении о бытии. Таким образом, этот принцип он считал универсальным принципом, по которому устроена вся природа. Самая простая формулировка принципа Бритвы Оккама выглядит так: *«Множественность никогда не следует полагать без необходимости»*.

Это означает, что при сравнении нескольких научных теорий, объясняющих один и тот же круг явлений, предпочтение следует отдать той из них, в которой используется меньшее количество постулатов. Применительно к природе этот принцип приводит к выводу об универсальности механизмов ее организации. Сам Оккам проиллюстрировал это положение трактатом об изоморфности материи в подлунном и надлунном мире, отметив, что «...на небе имеется материя того же сорта, что и в подлунных предметах». Оккам объяснил это тем, что Богу не было нужды использовать для создания других планет иную материю, чем ту, из которой он создал Землю.

Бритва, на то и бритва, чтобы ею пользовались осторожно и не отсекали чего-нибудь из необходимого. Поэтому формальное неприятие какой-либо научной теории по принципу Бритвы Оккама из-за того, что по количеству исходных постулатов она проигрывает другой теории, неправомерно. В науке, как и в искусстве, главное не в простоте или сложности творческого продукта, а в таланте его автора, в способности проникнуть в суть отображаемого. Роль этого принципа велика и в современной науке, но лишь как теста на грамотность предлагаемой теории. В ней не должно быть избыточных, противоречащих друг другу или вытекающих один из другого постулатов.

Сказанное означает, что право на жизнь имеют различные теории, даже если они по-разному объясняют одни и те же явления. Тогда какой же из них верить? И можно ли, в принципе, построить единственно правильную теорию, адекватную самому явлению природы?

Ответ на этот вопрос был дан лишь в 1931 г. в теореме о неполноте немецкого математика Курта Гёделя. Согласно этой теореме, любая замкнутая система аксиом является неполной в том смысле, что в ней всегда отыщется противоречие, недоказуемое в рамках этой системы. Таким образом, любые, даже правильно построенные, научные теории имеют модельную ограниченность. Ведь это всего лишь описание свойств некоторой модели явления, а не его самого. Теоретик, как художник-карикатурист, выделяет главные черты явления, а все, по его мнению, второстепенное отбрасывает. Что сохранить, а чем пренебречь, каждый автор решает самостоятельно. Так появляются различные теории. Но рано или поздно любая из них сталкивается с парадоксами и становится внутренне противоречивой. Например,

классическая механика Ньютона хорошо объясняет движение тел макроскопических размеров при скоростях, малых по сравнению со скоростью света в вакууме. Но она потерпела фиаско в попытках объяснить движение микрочастиц или движение тел при очень больших скоростях. Потребовалось создать квантовую механику и специальную теорию относительности, чтобы описывать такие виды движения. Но всякая новая теория, если она верна, должна приводить к уже известным результатам в соответствующих предельных случаях и предсказывать новые эффекты, которые могут быть (возможно не сразу, а позже) проверены экспериментально.

4

«Божественная комедия» Данте и средневековые представления о мироустройстве

Esse homo *

слова Понтия Пилата перед толпой в передаче евангелиста Иоанна

4.1. Отказ от средневековых канонов

Средневековые представления об устройстве Вселенной базировались на канонизированной Церковью *геоцентрической картине мира* древнегреческого астронома Клавдия Птолемея (II в. до н. э.). Согласно учению Птолемея, центром мира является Земля. Вокруг Земли на небесных сферах вращаются планеты, Солнце и Луна в такой последовательности по мере удаления от Земли: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн (другие планеты еще не были открыты). Затем идет сфера звезд, т. е. предполагалось, что все звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли.

Сокрушительный удар по этой системе мира нанесла *гелиоцентрическая система* Н. Коперника, высказанная им в сочинении «Об обращении небесных сфер» в 1543 г., запрещенном Католической Церковью. Центром мира по Копернику является не Земля, а Солнце. Идеи Коперника поддержали и развивали Дж. Бруно (1548—1600) и Г. Галилей (1564—1642), которые также пострадали из-за преследований Церкви: Дж. Бруно был обвинен в ереси и сожжен инквизицией в Риме, а Галилей был вынужден отречься от своих взглядов и остаток жизни провел в ссылке.

Но все эти события последовали значительно позже начала новой эпохи в развитии культуры и науки — эпохи Возрождения. В этом на-

* Се человек (лат.)

звании имеется в виду возрождение античного наследия, разрушенного Церковью и подвергнутого забвению почти на тысячу лет. Эпоха Возрождения началась не одновременно в разных странах и со значительным сдвигом во времени в искусстве и науке. Четкой границы, разделяющей Средневековье и Возрождение не существует, но принято считать, что Возрождение началось в конце XXIII — начале XXIV вв., с Данте и Джотто. Данте Алигьери (1265—1321) — итальянский поэт, создатель литературного итальянского языка, автор знаменитой «Божественной комедии». Джотто ди Бондоне (1266(7)— 1337) — итальянский художник, автор фресок в капелле дель Арка в Падуе и церкви Санта-Кроче во Флоренции.

Заслуга Данте и Джотто в том, что они первыми порвали со средневековыми канонами в искусстве, согласно которым человек — существо изначально греховное и низменное, а цель искусства — воспевание Бога, ангелов, святых и богоугодную миссию пастырей человеческих — отцов Церкви. Данте в поэзии, а Джотто в живописи воспели красоту человека, внесли в религиозные сюжеты земное начало.

4.2. «Божественная комедия» Данте

«Божественная комедия» — произведение, обессмертившее имя Данте. Величайшая цель, которую поставил перед собой автор, — указать людям путь к спасению души. Этот путь он видит в познании истины через красоту. Персонификацией образа красоты у Данте является Беатриче — донна, ставшая его музой, детскую любовь к которой он пронес через всю свою жизнь. По своему характеру «Комедия» многопланова: это и странствия по загробному миру в поисках истины, и совершенствование души на пути к Богу, и энциклопедия общественно-политической жизни средневекового общества, и картина мироздания в представлении человека XIV в., и волнующий гимн любви.

Собственно, комедийного в смысле театрального действия, в «Комедии» ничего нет. Это слово надо рассматривать не как греческое *komodia* — веселое, смешное представление, а скорее как латинскую конструкцию *comedia*, где приставка *co* означает *общее, соединение*, а *media* — множественное число от *medium* — *среда*. Таким образом, для Данте «Комедия» — соединенные среды, соединение в образе человека двух начал: возвышенного, божественного и низменного, дьявольского. Прилагательное «божественная» было добавлено к названию уже после смерти Данте его почитателями.

Композиционно «Комедия» разделена на три части: «Ад», «Чистилище» и «Рай». В них человеческая душа представлена как арена

борьбы Бога и Дьявола, где, по мере искупления грехов, очищенная, она, в конце концов, предстает в освобожденном виде перед Богом.

Количество глав (песен) в «Комедии» равно 100, причем в «Аде» содержится 34 песни, а в «Чистилище» и «Рае» — по 33 песни. Песни состоят из трехстиший — терцин. Каждая песня заканчивается дополнительным одностишьем — символом единства. Заключительная строка каждой части — кантики — заканчивается словом «*stele*» — звезды. Тем самым Данте подчеркивает вселенский характер своего поэтического построения.

Начинается «Комедия» со следующей терцины: «Земную жизнь пройдя до половины / Я очутился в сумрачном лесу, / Утратив правый путь во тьме долины». Продолжительность человеческой жизни во времена Данте считалась равной 70 годам; 35 лет ему исполнилось в 1300 году. Данте пишет что к середине жизни он оказался на распутье, утратив былые идеалы, и теперь вынужден переосмыслить свою жизнь, найти верный путь. Произведение писалось поэтом в течение последних четырнадцати лет жизни и, следовательно, позже 1300-го года, но этот литературный прием позволил ему как бы предвидеть некоторые описываемые события.

Данте, пользуясь принятой аллегорией, пишет, как он пытается выбраться из этого дикого леса к вершине холма, пробиться к свету, но ему преграждают путь три зверя: рысь — прихотливая, пятнистая шкура которой символизирует страсть к богатству, лев — символ жестокости и волчица — олицетворение алчности. Они теснят его вниз. Но тут ему на помощь приходит Вергилий — древнеримский поэт, наследником его прекрасного слога считает себя Данте. Он говорит ему: «Ты должен выбрать новую дорогу», сообщает, что прежде, чем попасть наверх, ему надлежит спуститься вниз к «вечным селеньям», т.е. в Ад. Вергилий и становится проводником Данте по Аду, затем по Чистилищу, пока в тридцатой песне «Чистилища» ему на смену не приходит Беатриче. Вергилий — язычник, ему вход на вершину Чистилища, тем более в Рай, закрыт. Именно Беатриче проводит далее Данте до самого престола Бога, где ему открылись Высший Свет и Высшая Любовь, «Любовь, что движет Солнце и светила».

4.3. Космос Данте

В сознании Данте причудливо переплелись идеи Пифагора, Платона и Птолемея. Из учения Пифагора он почерпнул представления о четырех первоосновах мира (см. семинар 1): *огне, воздухе, воде и зем-*

ле. От Птолемея — представление о пятом элементе — *Вселенной*. Вселенную Платон представлял в виде правильного двенадцатигранника — додекаэдра. В него последовательно вписывались правильный двадцатигранник — икосаэдр, обозначавший воду, куб — землю, октаэдр — воздух и тетраэдр — огонь.

В соответствии с астрономией Птолемея Данте помещает Землю (окруженную прочими первоэлементами) в центр Мира. Вокруг Земли на небесных сферах обращаются Луна, Солнце и известные в то время пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. На последней, внешней сфере находятся звезды. Небесные сферы приводятся в движение Перводвигателем, вращающимся за счет силы Бога Отца.

На рис. 4.1 изображена схема этого построения, следующего из текста «Божественной комедии». Данте художественно дополняет его новыми подробностями.

Это, прежде всего, девять кругов Ада, на которых мучаются души грешников. Его центральный пояс — *Джудекка*, названный так по имени придавшего Христа апостола Иуды, находится в самом центре Земли. Здесь, возвышаясь по грудь изо льда, замерзшего озера *Коцит*, пребывает бывший ангел *Люцифер*, а ныне властелин Ада *Дьявол*. Он ужасен: шесть его крыльев без перьев, гонят три ветра по темному пространству Ада; под крыльями три лица — красное, бело-желтое и черное; шесть глаз источают слезы, а из трех пастей стекает кровавая слюна. Эти пасти терзают трех самых страшных, по мнению Данте, грешников: предателя величия Божеского — *Иуды* и предателей величия человеческого (Цезаря) — *Брута* и *Кассия*. Спустившись по ногам Люцифера, Данте и Вергилий оказываются в другом полушарии Земли, заполненном водой. Выныривают они вблизи горы Чистилища, на вершине которой находится Земной Рай.

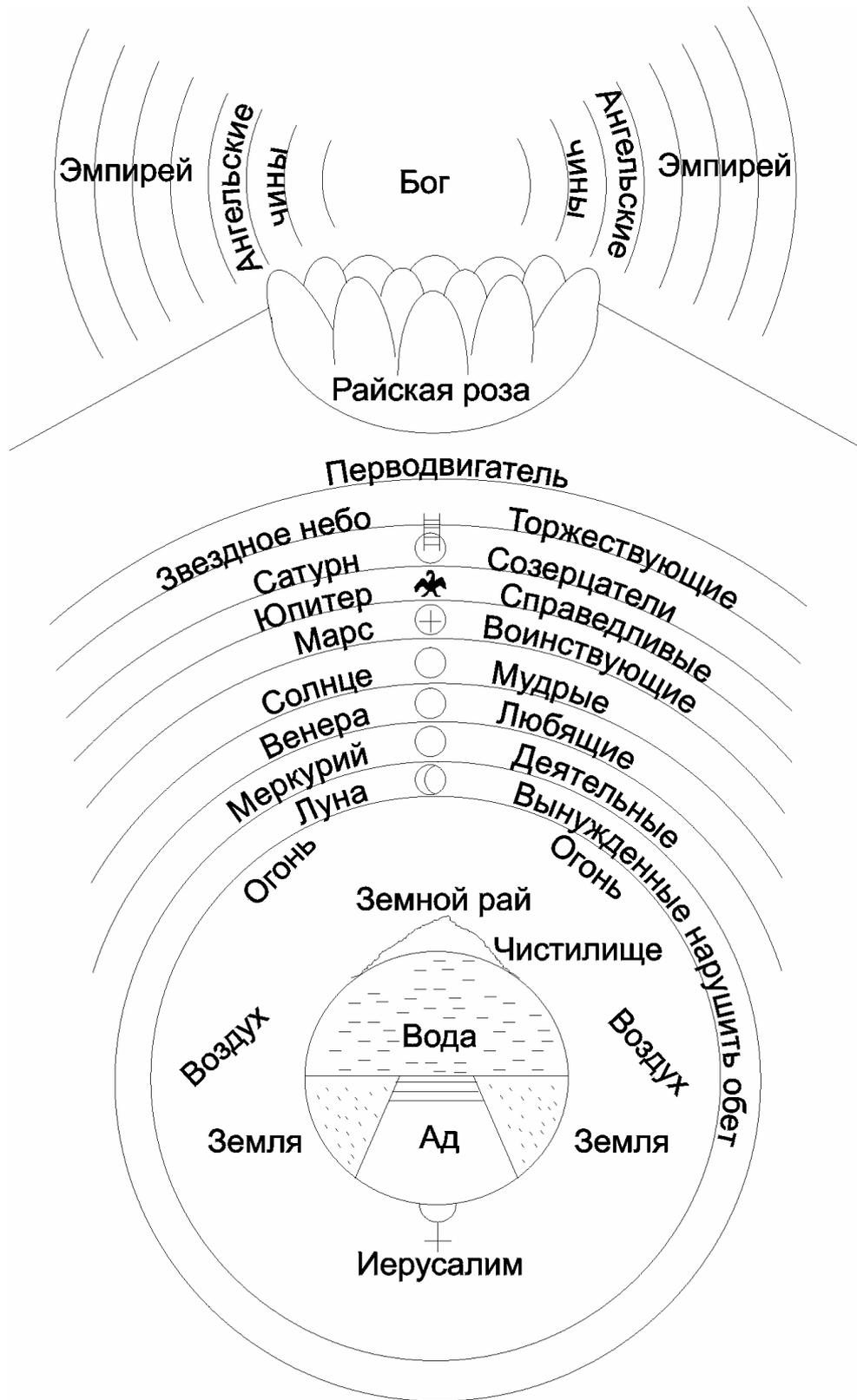


Рис. 4.1. Космос Данте (по кн. Доброхотова А.Л. Данте Алигьери. — М.: Мысль, 1990)

Небесный Рай находится в *Эмпирее* — верхней части неба, расположенной за пределами сферы звезд и имеющей огненную природу. Здесь, перед престолом Бога, восседают на лепестках Райской Розы ветхозаветные и новозаветные праведники, а также те, кого Данте считает достойными лицезреть Бога, среди них и Беатриче. Престол Господа Бога окружен девятью кругами ангельских чинов. Ближе всего к Богу ангелы высших рангов, созерцающих Могущество Бога Отца: *серафимы, херувимы и престолы*. Затем следуют *господства, силы и власти*, внимающие Мудрость Бога Сына. И, наконец, замыкают круги Эмпирея *начала, архангелы* и просто *ангелы*, ощущающие Любовь Святого Духа.

Художественное воображение Данте простирается и на планеты. На соответствующих небесных сферах он располагает души людей, искупивших свои грехи, очистившихся от нехороших помыслов и теперь пребывающих в Рае. Они располагаются тем ближе к Богу, чем выше и чище, по мнению Данте, их дух (см. рис. 4.1).

4.4. Эзотерическая сторона «Божественной комедии»

Наряду с явным, в «Комедии» большое место занимает написанное между строк и понятное лишь посвященным. Есть все основания считать, что в молодости Данте был близок к *тамплиерам* — рыцарскому ордену храмовников. Этот орден был основан в Иерусалиме в 1118 или 1119 г. и имел своей целью охрану паломников на пути к Гробу Господню, отвоеванному в результате крестовых походов у мусульман. Со временем, однако, он превратился в могущественную военно-религиозную организацию, не гнушавшуюся торговли и ростовщичества, ставшую крупнейшим банкиром католического мира. Центром ордена стал храм на горе Сион, где, как предполагали, некогда стоял храм Соломона, разрушенный вавилонским царем Навуходоносором в 588 г. до н. э. Резиденции ордена появились во многих странах Западной Европы, но наибольшего могущества тамплиеры достигли на юге Франции и в северной Италии. С военной, экономической и духовной силой тамплиеров приходилось считаться даже королям и папе римскому. Стремление избавиться от столь серьезного конкурента побудило последних обвинить орден в ереси и начать инквизиционный процесс против тамплиеров. В 1312 г. папа Климент V упразднил орден, а его последний гроссмейстер Жак де Моле был сожжен на костре близ Парижа в 1314 г.

Поводом для обвинения тамплиеров в ереси стала идеология ордена, представлявшая собой сложный синтез из элементов пифагорей-

ства, восточной мистики и гностически осмысленного христианства. Вслед за пифагорейцами тамплиеры считали единицу (1) числом единства, с которого все начинается и которым все заканчивается, числом добра и справедливости. Двойку (2) они считали числом нестабильности, раздора и всяческого зла. Тройка (3) же представлялась как число, вносящее равновесие в борьбу добра и зла, основа мира. Тамплиеры соотнесли это число с Богом. Христианский Бог — триединая сущность (святая троица): Бог Отец, Бог Сын и Святой Дух. Поскольку $3 + 3 + 3 = 9$, то это число получило статус Божественной Благодати. Каждой ее составляющей противостоит зло, поэтому число $6 = 2 + 2 + 2$ стало считаться числом Дьявола (к тому же 6 — это перевернутая 9), а трижды повторенная шестерка 666 стала символом Зверя, упоминаемого в Откровении Святого Иоанна Богослова: «Здесь мудрость. Кто имеет ум, тот сочти число зверя, ибо число это человеческое; число его шестьсот шестьдесят шесть». Там же дана и подсказка, как найти число человека, ибо указано, что в день Страшного Суда будут спасены 144000 душ.

Согласно пифагорейскому учению, все большие числа могут быть сведены к так называемому *числовому корню* от 1 до 9 путем последовательного суммирования. Так, 666 сводится к $6 + 6 + 6 = 18$, что в свою очередь, дает $1 + 8 = 9$. «Человеческое число» 144000 также сводится к 9: $1 + 4 + 4 + 0 + 0 + 0 = 9$. Следовательно, в человеке одновременно присутствуют и божественная благодать и черты Зверя: «все во мне — и я во всем».

Теперь понятны ключевые числа, заключенные Данте в построение «Комедии»: 1, 3, 6, 9. Общее число песен в ней равно 100 и $1 + 0 + 0 = 1$. «Чистилище» и «Рай» содержат по 33 песни, а «Ад» — 34, оказываясь как бы неправильными элементами целого. Сумма стихов в каждой песне, за вычетом объединяющей последней строки, имеет числовой корень 3, 6 или 9. Причем в «Аде» 11 троек, 15 шестерок, и 8 девяток. В «Чистилище» количество «божьих» и «дьявольских» чисел примерно одинаково: 7 троек и 8 шестерок (человек еще не вполне освободил свою душу от Дьявола) и 18 девяток. Зато в «Рае» 16 троек, 10 шестерок и 7 девяток. Сумма троек и девяток во всей поэме одинакова: 33, а сумма шестерок равна 34. Соотношение божественного и дьявольского в человеке, сподобившемся попасть в «Рай», $16 : 10 = 1,6 = 8/5$ — одно из приближений к Золотому Сечению. В этой же пропорции дробит «Комедию» ее кульминационный пункт — встреча с Беатриче в XXX песне «Чистилища». До нее 63 песни ($6 + 3 = 9$), после нее 36 песен ($3 + 6 = 9$)! Отношение $63 : 36 \approx 5/3$ — другое приближение к Золотому сечению. Общее число стихов в поэме равно 14233. Порядковый номер стиха, дробящего ее в данном отноше-

нии, — 8895 ($8 + 8 + 9 + 5 = 30$ или 3)! Это следующий стих: «... в земной плоти, воскресший для хвалений...». Он подчеркивает первоначальный замысел поэта: земной человек во всей своей противоречивости по отношению к борющимся в нем божественному и дьявольскому началам способен, искупив грехи и очистившись от дурных помыслов, воскреснуть в Раю, достойным для «хвалений».

5

«Гармония мира» Кеплера: эволюция взглядов на мироустройство

Это вовсе не было
очевидным априори

*Из книги А. Эйнштейна
об И. Кеплере*

5.1. Путь в науку

«Геометрия обладает двумя великими сокровищами. Первое — это теорема Пифагора, второе — деление отрезка в среднем и крайнем отношении. Первое можно сравнить с мерой золота, второе можно назвать драгоценным камнем», — эти слова принадлежат знаменитому немецкому математику и астроному Иоганну Кеплеру (1571— 1630). К приведенной цитате остается только добавить, что обоими названными сокровищами геометрию обогатил Пифагор (см. семинар 1). Кеплер был убежденным приверженцем тайных качеств Золотого сечения. Помимо геометрии он связывал Золотое сечение и числа Фибоначчи с ростом растений и формой цветов. Особого внимания заслуживает попытка Кеплера связать с Золотым сечением расположение планет в Солнечной системе, о чем было рассказано в подразделе 4.2.

Жизнь не баловала Кеплера. Казалось, что она только и делала, что ловила момент, чтобы подставить очередную подножку. Слабый от рождения, преследуемый кожными заболеваниями, болезнями печени и желудка, страдающий дефектами зрения (сильной близорукостью и монокулярной полиомией), юный Ганс, тем не менее, проявлял исключительные способности к математике и другим наукам. Слабое здоровье сына, советы учителей и денежные соображения побудили небогатых родителей Кеплера выбрать для сына духовную карьеру.

После окончания начальной немецкой, а затем латинской школы Кеплер учится в духовной семинарии.

Еще за год до окончания школы он выдерживает экзамен на степень бакалавра в Тюбингенском университете, в котором и начинает учебу на факультете искусств в следующем году. Здесь огромное влияние на Кеплера оказывает профессор математики и астрономии Михаил Мёстлин, который знакомит его с гелиоцентрическим учением Коперника.

Окончив факультет искусств и сдав экзамен на степень магистра, Кеплер переходит на теологический факультет. Он мечтает о духовной карьере, но жизнь распорядилась по своему. В протестантской средней школе в Граце, столице австрийской провинции Штирии, освободилось место преподавателя математики, и 22-летнему магистру искусств Иоганну Кеплеру сенатом университета было предложено занять вакансию. Так и не окончив обучение на теологическом факультете Тюбингенского университета, Кеплер вынужден в 1594 г. переехать в Грац, где вместе с должностью преподавателя, по существующей традиции, приобретает заодно и должность математика провинции Штирии.

5.2. «Тайна мироздания»

Математика не вызывала у дворянских и бюргерских отпрысков Граца прилива энтузиазма, а ее изучение не было обязательным. Поэтому Кеплер имел достаточно времени для чисто научных занятий. Через два года в Тюбингене выходит в свет его первая книга «Предвестник космографических исследований, содержащий космографическую тайну относительно чудесных пропорций между небесными кругами и истинных причин, числа и размеров небесных сфер, а также периодических движений, изложенных с помощью пяти правильных тел Иоганном Кеплером из Вюртемберга, математиком достославной провинции Штирии». Эту книгу для краткости теперь называют «Космографической тайной» или «Тайной мироздания».

Задавшись дерзкой целью проникнуть в тайну строения Вселенной, Кеплер остается верным идее о мудром промысле Божьем, считая, что Бог при сотворении мира использовал лишь божественные пропорции и совершенные геометрические фигуры. Во времена Кеплера было известно только шесть планет Солнечной системы, включая Землю, и он приходит к мысли, что сферы, по которым они обращаются, разделены пятью промежутками, в которые должны вписываться пять совершенных платоновых тел. Они изображены в его книге

(рис. 5.1), и из этого рисунка ясно, что Кеплер хорошо знал о том, какие стихии с ними связывал Платон. Таким образом, вопрос о числе планет получает, с точки зрения автора, надежное обоснование.

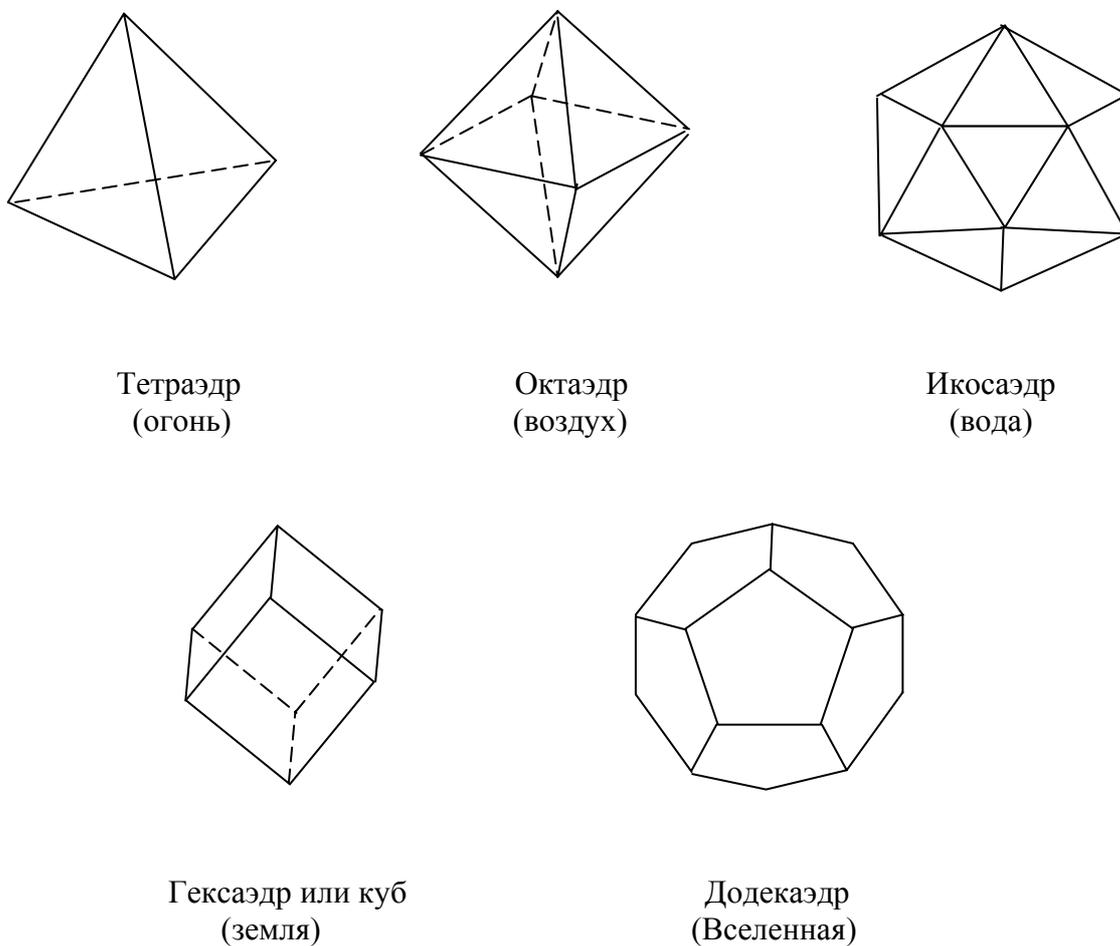


Рис. 5.1. Пять правильных многогранников (тел Платона)

Далее Кеплер устанавливает, что правильные многогранники можно разбить на две группы; к одной группе он относит куб, тетраэдр и додекаэдр, а к другой — икосаэдр и октаэдр. Говоря современным языком, он находит, что группа симметрии икосаэдра изоморфна группе симметрии додекаэдра, а группа симметрии октаэдра — группе симметрии куба. Это также, по мнению Кеплера, подтверждает мудрость Божью, так как позволяет поместить сферу Земли, на которой его образ воплощен в человеке, между указанными двумя типами многогранников. В итоге Кеплер строит впечатляющую модель Вселенной (рис. 5.2), в которой в сферу Сатурна вписан куб, в него вписана сфера Юпитера, далее последовательно вписаны тетраэдр, сфера Марса, додекаэдр, сфера Земли, икосаэдр, сфера Венеры, октаэдр и

сфера Меркурия. В центре всей системы Кеплер, как сторонник коперниканского учения, помещает Солнце.



Рис. 5.2. Модель Вселенной по И. Кеплеру, предложенная им в «Космографической тайне»

Остается проверить построенную модель численными расчетами, и Кеплер делает это, используя вычисленные Коперником из наблюдений радиусы планетных сфер. Результаты получаются довольно хорошими, Кеплер счастлив, а некоторые обнаруженные расхождения объясняет тем, что планетные сферы имеют определенную толщину. Но все же червь сомнения гложет его: как же такое совершенное существо, как Бог, могло допустить такую небрежность? Для более точной проверки построенной картины мироздания нужны надежные экспериментальные данные, которые в то время имелись лишь у одного человека в мире — великого датского астронома Тихо Браге, жившего в Праге и занимавшего пост математика и астронома «Священной Римской Империи германской нации». Кеплер направляется в Прагу, становится ассистентом Т. Браге, а после смерти последнего принимает его должность.

5.3. «Гармония мира» и законы астрономии

В голове Кеплера уже зреет замысел новой книги «Гармония мира», в которой он намеревался после всех уточнений в орбитах планет

обнаружить гармоничные пропорции в их параметрах. На это уходит двадцать лет напряженного труда в тяжелейших условиях жизни. За это время Кеплер успевает дважды жениться, похоронить шестерых из одиннадцати своих детей, испытать жестокие материальные лишения, религиозные гонения, всяческие невзгоды. Но в это же время он открывает два первых закона движения планет, становится автором «Новой астрономии», «Диоптрии», «Дополнений к Вителлию», «Симметрии винных бочек», вплотную подходит к методам исчисления бесконечно малых величин — дифференциальному и интегральному исчислениям.

«Гармонии мира. 5 книг» выходят в свет в 1619 г. Астрономические исследования занимают в них немного места, но именно здесь содержится знаменитый третий закон Кеплера — выражение долгожданной числовой гармонии в мироздании: «Отношение между периодами обращения каких-либо двух планет как раз равняется полуторной степени отношения их средних расстояний, т.е. радиусов орбит».

Жизнь И. Кеплера представляет собой удивительный пример достижения фундаментальных научных результатов, исходя из заведомо ложных посылок (о числе планет и законах, управляющих их движением). Только интуиция и вера в то, что в своей основе эти законы должны быть лаконичными, помноженные на колоссальную работоспособность, привели его к успеху.

Приведем в заключение знаменитые законы Кеплера в современной формулировке:

1 закон: *все планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, причем Солнце находится в одном из фокусов эллипса.* На рис. 5.3 показано взаимное расположение Солнца и одной из планет.

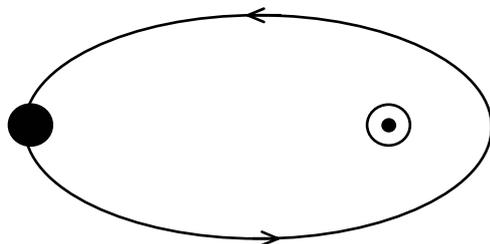


Рис. 5.3. К первому закону Кеплера

2 закон: *при обращении планеты вокруг Солнца ее секториальная скорость остается постоянной.* Под секториальной скоростью планеты понимается площадь сектора орбиты, заметаемая радиус-вектором планеты за единицу времени, т.е. величина

$$A = \frac{1}{2} \vec{r} \vec{v},$$

где \vec{v} — скорость орбитального движения (рис.5.4). Отсюда ясно, что вблизи афелия скорость вращения планеты выше, чем вблизи перигелия.

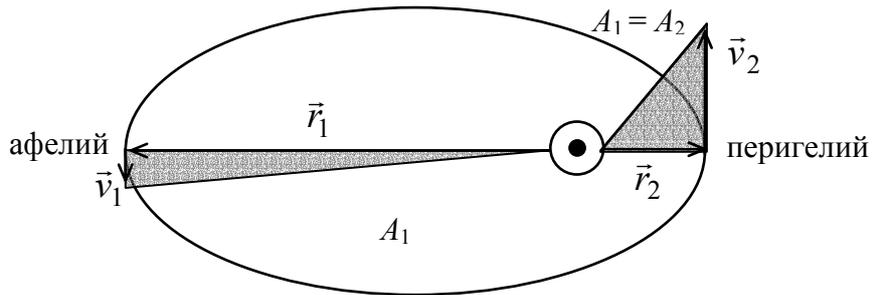


Рис. 5.4. К объяснению второго закона Кеплера

3 закон: *квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний до Солнца:*

$$\left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3.$$

Впоследствии законы Кеплера были объяснены на основе законов Ньютона.

6

Искривленное пространство-время и его описание

Это Разина мятеж,
Долетев до неба Невского,
Увлекает и чертеж
И пространство Лобачевского.

В. Хлебников

6.1. Плоское пространство

Евклидова геометрия. Вот уже на протяжении двух тысяч лет мы узнаем геометрию из «Начал» Евклида или из книг, написанных на ее основе. Лишь немногие профессиональные математики обращались к другим источникам — Архимеду, Аполлонию, Евдоксу, Теэтету и др. В связи с этим классическую геометрию еще называют евклидовой, в отличие от неевклидовой, или римановой, появившейся в XIX в.

О самом Евклиде в истории сохранилось так мало сведений, что высказывались сомнения о его существовании. Из каталога греческого философа Прокла Диадоха, жившего в V веке н. э., известно, что Евклид был современником египетского царя Птолемея I, царствовавшего с 306 по 283 гг. до н. э. В то же время он должен быть старше Архимеда (ок. 287 — 212 гг. до н. э.), который ссылался на его «Начала», да и свою механику он строил по их образу и подобию. Евклид преподавал в столице Птолемея I — Александрии — в одном из центров античной науки. Будучи последователем древнегреческого философа Платона, он считал, что занятиям философией должны предшествовать геометрия, астрономия, арифметика и теория гармонии, которые он, вероятно, и преподавал. Кроме «Начал» до нас дошли, написанные Евклидом книги по гармонии и астрономии.

Если говорить о Евклиде–ученом, то в этом качестве он сильно уступает таким великим древнегреческим геометрам, как Фалес, Пи-

фагор (VI в. до н. э.), Евдокс, Теэтет (IV в. до н. э.). Ему приписывается доказательство нескольких незначительных теорем. Величайшая его заслуга в том, что он подытожил все имеющиеся на то время знания по геометрии, и сделал он это с таким искусством, что «Начала» стали энциклопедией геометрии на две тысячи лет.

«Начала» состоят из 13 книг. Позже греческие математики включили в них еще две книги, написанные другими учеными.

Центральными понятиями в евклидовой геометрии являются длина отрезка прямой или кривой для окружности, а также угол между прямыми. Попробуем и мы дать им определения. Во времена Евклида еще не существовало алгебраической символики, мы же находимся в более выгодном положении: нам известны и символы, и координаты, которые ввел в геометрию французский математик Н. Оресм в XIV веке.

Итак, геометрия разворачивается в пространстве, состоящем из точек $A, B, C \dots$. В таком пространстве можно ввести систему координат. Это означает, что каждой точке соответствует набор действительных чисел x^1, \dots, x^n , которые называются *координатами точки*. Потребуем, чтобы выполнялись следующие условия:

- 1) каждой точке соответствует только один набор координат;
- 2) наоборот, каждому набору координат соответствует только одна точка.

Число координат n называется *размерностью* пространства.

Зададим в трехмерном пространстве декартовы координаты. Это означает, что каждой точке пространства соответствует набор из трех координат. Пусть точка A имеет координаты (x_A^1, x_A^2, x_A^3) , а точка B — (x_B^1, x_B^2, x_B^3) , тогда квадрат длины прямолинейного отрезка AB равен

$$\begin{aligned} l^2 &= (x_A^1 - x_B^1)^2 + (x_A^2 - x_B^2)^2 + (x_A^3 - x_B^3)^2 = \\ &= (\Delta x^1)^2 + (\Delta x^2)^2 + (\Delta x^3)^2. \end{aligned} \tag{6.1}$$

Такое пространство называется *евклидовым*. Декартовы координаты, обладающие указанными свойствами, называются *евклидовыми координатами*.

Известно, что с точками пространства удобно связывать векторы. Напомним, что под *вектором* понимается направленный отрезок. Вектор, идущий от начала системы координат (точка O) в рассматриваемом

мую точку A , называется *радиус-вектором*. Декартовы координаты (x^1, x^2, x^3) точки A являются координатами вектора.

Определим операцию *скалярного произведения* двух векторов как число, равное

$$(\vec{a}, \vec{b}) = \sum_i^n x^i y^i, \quad (6.2)$$

где x^i и y^i — координаты векторов \vec{a} и \vec{b} соответственно. Используя (6.2), запишем выражение для косинуса угла между двумя векторами

$$\cos \varphi = \frac{(\vec{a}, \vec{b})}{ab}, \quad (6.3)$$

здесь a и b — длины (модули) векторов, причем

$$a = \sqrt{(\vec{a}, \vec{a})}, \quad b = \sqrt{(\vec{b}, \vec{b})}.$$

Из (6.2) видно, что углы, длины и скалярное произведение векторов связаны между собой. Именно скалярное произведение, как правило, берется за основное, первичное понятие, на котором строится геометрия.

6.2. Искривленные пространства

Геометрия Лобачевского. Евклидова геометрия строится на пяти постулатах, пятый является самым сложным. Вот его формулировка: пусть две прямые пересекаются третьей; если сумма двух внутренних углов по какую-либо сторону от нее меньше, чем 180° , то по эту же сторону пересекаются исходные прямые (рис. 6.1).

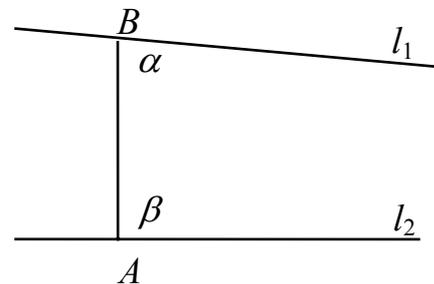


Рис. 6.1. К пятому постулату Евклида

Проверить экспериментально пятый постулат довольно сложно. Если, например, расстояние $AB = 1$ м, а угол α отличается от прямого на $1''$, то прямые пересекутся на расстоянии более 200 км от AB .

Многие математики пытались доказать, что этот постулат лишний, что он может быть доказан на основании остальных аксиом. В V в. Прокл также предпринял такую попытку. Однако при доказательстве, незаметно для себя, он использовал утверждение, эквивалентное пятому постулату. На протяжении двух тысячелетий продолжались попытки доказать пятый постулат Евклида. Постепенно доказательства становились все изощренней, эквиваленты менее заметными.

И вот, наконец, наступил двадцатый век, который принес разгадку пресловутого постулата. Независимо друг от друга, два математика, немец К. Ф. Гаусс и русский Н. И. Лобачевский, предположили существование неевклидовой геометрии, где пятый постулат заменяется его отрицанием. Однако Гаусс, один из самых великих математиков в истории, к мнению которого все прислушивались, не рискнул опубликовать свои работы, боясь что его не поймут. Тот факт, что великого немца посещали идеи о новой геометрии, стало известно лишь после его смерти, когда стали доступны его архивы.

В отличие от Гаусса, Лобачевский не побоялся изложить результаты своих исследований. В первых числах февраля 1826 г. он передал свою рукопись «Сжатое изложение начал геометрии со строгим доказательством теоремы о параллельных» в Казанский университет, где он преподавал, а с 1827 г. являлся его ректором. Уже 11 февраля он выступал на заседании Совета университета с докладом о построении геометрии, где отрицался пятый постулат Евклида. По всей видимости, никто из собравшихся не мог уследить за ходом мысли Лобачевского. Комиссия, созданная из членов Совета университета, в течение нескольких лет не давала заключения, поэтому решили воспользоваться помощью столицы: в 1832 г. статья была послана в Петербург. Однако и здесь никто ничего не понял, и работу квалифицировали как бессмысленную.

На продолжении 30 лет Лобачевский, несмотря на непонимание, уверенный в своей правоте, развивал свою геометрию. Он пытается сделать изложение более доступным для понимания, переводит свои работы на французский и немецкий языки. И лишь Гаусс, прочитав сначала немецкую версию, а затем и русскую, понял автора. В 1842 г., выразив свое отношение к научному подвигу русского математика, Гаусс добивается избрания Н. И. Лобачевского членом-корреспондентом Геттингенского королевского научного общества. Это единственная научная почать, которая досталась Лобачевскому при жизни. Прошло более двадцати лет, прежде чем его геометрия получила гражданство в математике.

Рядом с именами Гаусса и Лобачевского нельзя не упомянуть имя венгерского математика Яноша Бойяи, который также внес большой

вклад в неевклидову геометрию. В 1832 г. он опубликовал свою работу в приложении к книге своего отца, известного математика Ф. Бойяи.

В неевклидовой геометрии сохраняются все теоремы евклидовой за исключением тех, при доказательстве которых используется пятый постулат о параллельных. Такие теоремы изменяются. Так, например, теорема о сумме углов треугольника: в геометрии Лобачевского эта сумма всегда меньше 180° . Следует отметить, что в геометрии Бойяи эта же сумма всегда больше 180° . Казалось бы, противоречие налицо. Тем более, что вслед за Лобачевским и Бойяи математики создали и исследовали множество различных вариантов неевклидовых геометрий. Но в том же XIX в. немецкий ученый Г. Ф. Б. Риман сделал предположение, что существует множество геометрических пространств, и указал способ построения бесконечно большого числа геометрий. Такие пространства локально (в малой окрестности любой точки) являются евклидовыми, а в больших масштабах — искривленными. Все они являются частными случаями риманова пространства.

Риманово пространство. Как и в евклидовом пространстве, в римановом понятие длины или, как говорят, *метрики* является главным. Не вдаваясь в подробности вывода, запишем выражение для бесконечно малого элемента длины

$$dl^2 = g_{ij} dz^i dz^j, \quad (6.4)$$

где g_{ij} — положительно определенная матрица ($\det g_{ij} > 0$), элементами которой, в общем случае, являются функции координат z^i , $i = 1, \dots, n$ (матрица g_{ij} в физико-математической литературе чаще называется *метрическим тензором*).

Угол между двумя векторами $\vec{a}(x^1, \dots, x^n)$ и $\vec{b}(y^1, \dots, y^n)$ в точке $A(z_A^1, \dots, z_A^n)$ по-прежнему определяется формулой (6.2), причем скалярное произведение имеет вид

$$(\vec{a}, \vec{b}) = g_{ij}(z_A^1, \dots, z_A^n) x^i y^j. \quad (6.5)$$

В формуле (6.5) предполагается суммирование по повторяющимся индексам.

Таким образом, скалярное произведение, а значит и геометрия пространства, полностью определяется метрическим тензором. Если

компоненты тензора постоянны, не зависят от координат, то говорят, что пространство плоское, а если компоненты тензора зависят от координат, то пространство искривленное.

Пример 1. Евклидова метрика.

Для $n = 3$ зададим матрицу g_{ij} в следующем виде:

$$g_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6.6)$$

Тогда квадрат дифференциала длины равен

$$dl^2 = (dz^1)^2 + (dz^2)^2 + (dz^3)^2. \quad (6.7)$$

Видно, что (6.7) совпадает с формулой (6.1), если в последней перейти к бесконечно близким точкам.

Используя (6.5), запишем выражение (6.2) для скалярного произведения:

$$(\vec{a}, \vec{b}) = x^1 y^1 + x^2 y^2 + x^3 y^3 = \sum_i^n x^i y^i.$$

Таким образом, метрика вида (6.6) определяет евклидово пространство, которое является частным случаем риманова пространства.

Пример 2. Метрика сферы.

Для метрики сферы выражение для квадрата дифференциала длины в сферических координатах имеет вид

$$dl^2 = R^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (6.8)$$

где R — радиус сферы; $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ — полярный угол; $0 \leq \theta \leq \pi$ — азимутальный угол.

Найдем длину окружности радиуса r на сфере. Центр окружности разместим на северном полюсе (точка N при $\theta = 0$, рис. 6.2). Если радиус окружности мал, то он равен $r = R \sin \theta_0 \approx R \theta_0$. Поскольку угол $\theta_0 \approx r/R$ фиксирован, то на окружности имеем

$$dl^2 = R^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) = R^2 \sin^2 \frac{r}{R} d\varphi^2,$$

откуда находим ее длину

$$l = \int_0^{2\pi} R \sin \frac{r}{R} d\varphi = 2\pi R \sin \frac{r}{R}. \quad (6.9)$$

Опять используем условие малости радиуса r : $\sin \frac{r}{R} \approx \frac{r}{R}$.

Получаем

$$l = 2\pi R \sin \frac{r}{R} \approx 2\pi r.$$

Видно, что полученный результат совпадает с выражением для длины окружности в плоском евклидовом пространстве. Таким образом, построенное нами сферическое пространство локально, т. е. в малых областях устроено так же, как евклидово пространство.

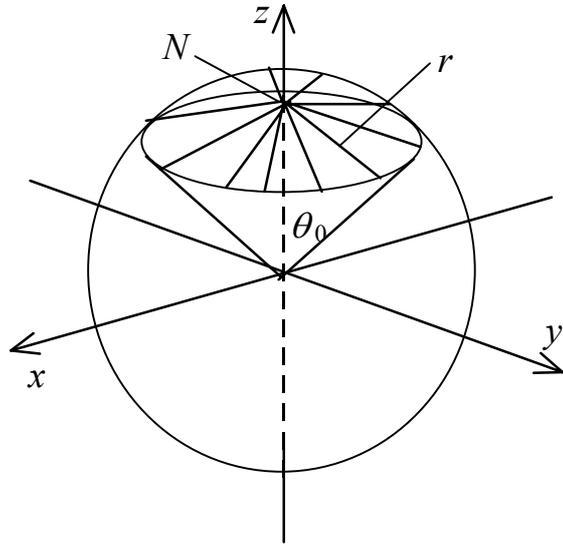


Рис. 6.2. Круг радиуса r на сфере

6.3. Искривленное пространство-время в специальной и общей теориях относительности

Пространство событий в СТО. В современной физике пространство и время объединены в единое 4-мерное многообразие. Такой подход оказывается чрезвычайно удобным для описания природных явлений. Каждая точка объединенного пространства-времени представляет собой событие, которому соответствует набор из четырех координат (x^0, x^1, x^2, x^3) . Три числа, помеченные индексами 1, 2 и 3, обозначают пространственные координаты, и указывают на место, где произошло событие, координата $x^0 = ct$. Здесь c — скорость света, а t — момент времени, в который произошло событие. Классическое трехмерное пространство представляет собой поверхность некоторого

фиксированного уровня $t = \text{const}$ в пространственно-временном многообразии. Если с каждым материальным объектом отождествлять точку, то весь процесс его жизни можно представить в виде линии $x^i(t)$, $i = 1, 2, 3$, в четырехмерном пространстве, где время меняется в пределах от t_1 до t_2 . Эта линия называется *мировой линией*.

В специальной теории относительности (СТО) оперируют пространством, метрический тензор в котором имеет вид

$$g_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (6.10)$$

Определитель матрицы g_{ij} меньше нуля, что соответствует псевдориманову пространству. Но чаще всего пространство СТО называют пространством Минковского, в честь немецкого математика Г. Минковского, внесшего большой вклад в развитие 4-мерного пространства-времени.

Квадрат длины вектора $\vec{a}(x^0, x^1, x^2, x^3)$ в пространстве Минковского определяется уже известной нам формулой (6.5):

$$a^2 = (\vec{a}, \vec{a}) = (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2. \quad (6.11)$$

Эта величина может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Множество векторов, длина которых равна нулю, образуют так называемый световой конус (рис. 6.3). Векторы, для которых $a^2 > 0$, лежат внутри конуса и называются *временноподобными*. Векторы, для которых $a^2 < 0$, лежат вне конуса и называются *пространственноподобными*.

Зададим мировую линию какого-либо материального объекта в виде

$$x^0 = ct, \quad x^1 = x^1(t), \quad x^2 = x^2(t), \quad x^3 = x^3(t).$$

Обозначим буквой b вектор, касательный к мировой линии. Его координатная запись имеет вид

$$\vec{b} = (c, \dot{x}^1, \dot{x}^2, \dot{x}^3),$$

причем $(\dot{x}^1, \dot{x}^2, \dot{x}^3)$ — координаты вектора скорости при движении в пространстве. Найдем длину вектора \vec{b} :

$$b^2 = c^2 - (\dot{x}^1)^2 - (\dot{x}^2)^2 - (\dot{x}^3)^2 = c^2 - v^2.$$

Согласно специальной теории относительности, материальные частицы не могут двигаться со скоростью большей, чем скорость света, поэтому $b^2 \geq 0$, т.е. вектор \vec{b} либо времениподобный, либо световой. В последнем случае наша мировая линия соответствует лучу света или безмассовой частице. Массивным частицам соответствуют мировые линии, имеющие времениподобные касательные векторы.

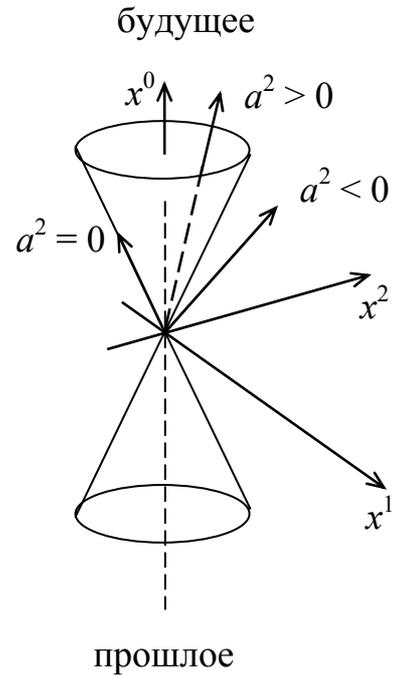


Рис. 6.3. Световой конус в пространстве R^3_1

Пространство-время в ОТО. В основе общей теории относительности (ОТО) лежат два постулата: об эквивалентности гравитационной и инертной масс и об эквивалентности кривизны пространства и гравитации. Из них следует, что ускорение частицы определяется свойствами пространства-времени, а точнее, его кривизной. Все частицы движутся по кратчайшим линиям — *геодезическим*. В римановой геометрии уравнение геодезической линии имеет вид

$$\frac{d^2 x^j}{dt^2} + \Gamma_{ki}^j \frac{dx^k}{dt} \frac{dx^i}{dt} = 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

где Γ_{ki}^j называется символом Кристоффеля или связанностью и выражается через компоненты метрического тензора. Если пространство евклидово, то $\Gamma_{ki}^j = 0$, и решениями этого уравнения являются прямые линии, как и должно быть, так как это пространство плоское. В каком-то смысле символы Кристоффеля играют роль напряженности гравитационного поля.

Уравнения общей теории относительности связывают искривление 4-мерного пространства-времени с энергией и импульсом материи, находящейся в этом пространстве. Эти уравнения, чаще называемые уравнениями Эйнштейна, имеют вид

$$R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = \kappa T_{ij}, \quad \kappa = \frac{8\pi G}{c^4}, \quad (6.12)$$

где R_{ij} — тензор Риччи; R — скалярная кривизна; T_{ij} — тензор энергии-импульса; G — гравитационная постоянная; c — скорость света в вакууме. Левая часть (6.12) определяет геометрию пространства, правая — физические характеристики помещенной в него материи.

7

Квантованность пространства-времени

Быть может, эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусства, знанья, войны, троны
И память сорока веков?
Еще, быть может, каждый атом —
Вселенная, где сто планет?
Там все, как здесь, в объеме сжатом,
А также то, чего здесь нет.

В.Я. Брюсов

7.1. Кванты пространства и времени

Представим себе звезду такой массы и радиуса, что ее гравитационное поле настолько велико, что не позволяет испускаемым этой звездой квантам излучения оторваться от поверхности звезды. Условием этого будет равенство

$$mc^2 = G \frac{mM}{R_0},$$

где m — релятивистская масса кванта; M — масса звезды; R_0 — *гравитационный радиус звезды*; c — скорость света в вакууме; G — гравитационная постоянная. Отсюда

$$R_0 = G \frac{M}{c^2}. \quad (7.1)$$

Таким образом, при сжатии тела массой M до его гравитационного радиуса R_0 электромагнитное излучение этого тела не может выйти за его пределы.

Из правила квантования боровских орбит

$$Mvr = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

следует, что минимально возможный радиус орбиты для тела массой M будет соответствовать квантовому числу $n = 1$ и скорости вращения $v = c$. Его обозначают λ_c и называют *комптоновским радиусом* тела:

$$\lambda_c = \frac{\hbar}{Mc}, \quad (7.2)$$

где \hbar — постоянная Планка. Из (7.2) видно, что тело массой M невозможно «затолкнуть» в область пространства меньшего размера, чем λ_c .

Возьмем такое значение M , при котором $R_0 = \lambda_c = L$. Тогда из (7.1), (7.2) получаем

$$M = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}. \quad (7.3)$$

Величина $M \sim 10^{-8}$ кг называется *фундаментальной или планковской массой*. Подставляя ее в (7.2), находим *фундаментальную (планковскую) длину*

$$L = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}, \quad (7.4)$$

численное значение которой $L \sim 10^{-35}$ м. *Фундаментальное (планковское) время* определим как L/c :

$$T = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}. \quad (7.5)$$

Вычисление по формуле (7.5) дает $T \sim 10^{-44}$ с.

Фундаментальная длина определяет минимальный размер пространства, из которого излучение выйти наружу не может, а вещество не может войти внутрь. Это означает, что при дроблении пространства на области радиусом $L \sim 10^{-35}$ м оно перестает быть *континуальным*.

Его свойства коренным образом изменяется. Говорят, что *в масштабах, меньших чем 10^{-35} м, пространство становится дискретным, или квантованным. Точно так же время становится дискретным, или квантованным, в масштабах, меньших чем 10^{-44} с.* Определяемые выражениями (7.4), (7.5) величины L и T являются, соответственно, длиной кванта пространства и длительностью кванта времени.

7.2. Размерность пространства и времени

В классическом естествознании, опирающемся на ньютоновскую механику, пространство считается трехмерным, а время одномерным, причем они не зависят друг от друга. Пространство рассматривается как мера протяженности и структуры материи, а время — как мера длительности событий материального мира. Трехмерность пространства получила строгое количественное обоснование в работах П. Эренфеста (1917), показавшего, в противном случае не могли бы существовать устойчивые орбиты планет и стационарные состояния электронов в атомах. В пространстве n измерений мы имели бы в качестве закона всемирного тяготения Ньютона для взаимодействующих масс и закона Кулона для взаимодействующих зарядов не «закон обратных квадратов», а закон, где сила F обратно расстоянию R в степени $n - 1$. Например, для 4-мерного пространства $F \sim R^{-3}$. Тогда планеты вокруг Солнца и электроны вокруг ядра двигались бы по спиральным траекториям и быстро бы упали на Солнце или атомное ядро.

Введенное Г. Минковским 4-мерное пространство-времени учитывает взаимообусловленность пространственных и временных координат тела при релятивистских скоростях движения. Оно используется в специальной теории относительности. В общей теории относительности оно позволяет связать тензоры 4-го ранга энергии-импульса и кривизны пространства-времени (уравнения Эйнштейна). Однако при таком описании не изменяется общее число пространственных и временных координат, равное 4.

Нарушение привычных свойств пространства в микромире в масштабах, меньших фундаментальной длины, приводит к мысли, что в столь малых масштабах может измениться и количество независимых координат, необходимых для описания движения частицы. Впервые наглядную интерпретацию такой возможности предложил в 1926 г. шведский физик Оскар Клейн. Представьте себе небрежно брошенный шланг для полива огорода. Издалека он кажется извилистой линией, т.е. одномерным объектом. Но вблизи может оказаться, что некоторые его точки на самом деле являются петлями или окружностями. Про-

странство внутри этих окружностей уже двумерное. По аналогии можно рассуждать, что какие-то точки трехмерного пространства вблизи оказываются 4-мерными сферами. Чтобы обнаружить четвертое пространственное измерение экспериментально, нужно проникнуть в область пространства размером $\sim 10^{-35}$ м. Современные ускорители заряженных частиц имеют разрешающую способность лишь около $\sim 10^{-18}$ м.

Проблема состоит в том, что, вследствие волновых свойств частиц, чем в меньшей области пространства мы хотим их локализовать, тем большей энергией они должны обладать. Из *соотношения неопределенностей* Гейзенберга следует, что для попадания в область $\sim 10^{-35}$ м частица массой меньше фундаментальной массы (7.3), т. е. любая известная элементарная частица, должна двигаться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме, что невозможно. Частица же фундаментальной массы M для этого должна иметь *фундаментальную энергию*

$$E = Mc^2 = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \sim 10^9 \text{ Дж} \sim 10^{19} \text{ ГэВ}. \quad (7.6)$$

Такой энергии соответствует *фундаментальная температура*

$$\theta = \frac{E}{k} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \sim 10^{32} \text{ К}, \quad (7.7)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана. Такие температуры и такие энергии частиц имели место на начальном этапе существования нашей Вселенной, в первые мгновения после Большого взрыва. Теперь они недостижимы. Обидно, но мы никогда не сможем проникнуть в четвертое пространственное измерение.

А что же время? Пространство искривляется (сворачивается) вблизи больших масс вещества, сконцентрированных в малом объеме (см. семинар 6). При этом время замедляется. Если плотность вещества достигает критического значения

$$D \sim \frac{M}{R_0^3} = \frac{c^6}{G^3 M^2},$$

то пространство сворачивается в *фотонную сферу*. При значении M , равном фундаментальной массе, радиус этой сферы будет равен фун-

даментальной длине L , критическая плотность станет равной *фундаментальной плотности вещества*

$$D = \frac{c^5}{\hbar G^2} \sim 10^{97} \text{ кг/м}^3. \quad (7.8)$$

Внутри фотонной сферы вещество распадается на излучение, распространяющееся со скоростью света (подробнее об этом мы поговорим на семинаре 10). Релятивистское замедление времени для квантов излучения бесконечно велико, т. е. для них все внешние процессы останавливаются. По мере «таяния вещества» гравитационный радиус, определяющий *горизонт событий*, уменьшается. Когда масса вещества уменьшится до фундаментальной массы, гравитационный радиус уменьшится до фундаментальной длины. Внутри этой области вещества уже нет, только излучение, пространство 4-мерное, а время отсутствует. Образно говоря, время превращается в дополнительное пространственное измерение.

Справедливости ради, следует отметить, что теория объединения силовых взаимодействий оперирует многомерными пространствами, в которых число измерений превышает 4, но они включают наряду с обычными измерениями пространства и времени ряд других физических параметров.

7.2. Киральность как проблема размерности пространства

Под *киральностью* (иногда говорят *хиральностью* от греч. *cheir* — рука) понимают свойство объекта быть несовместимым с собой при отражении в плоском зеркале. Проблема лево-правой асимметрии зависит от размерности пространства, в котором рассматривается объект. Например, латинская буква R и кириллическая буква $Я$ на плоскости (ее размерность $d = 2$) не совмещаются друг с другом при любых преобразованиях симметрии, т. е. поворотах и трансляциях. Но стоит перевести в трехмерное пространство ($d = 3$), как эти буквы становятся тождественными: если посмотреть с обратной стороны листа на R , получим $Я$. Аналогично левая и правая хирургические перчатки в трехмерном пространстве не совместимы друг с другом, но если одну из них вывернуть наизнанку, то получится другая. Выворот наизнанку осуществляется через дополнительное, четвертое измерение. Таким образом, если четность (совместимость левой и правой форм

объекта) отсутствует в пространстве размерности d , то в пространстве размерности $d + 1$ она восстанавливается. Следовательно, *проблема киральности* — это проблема размерности пространства, в котором рассматривается объект.

В контексте квантованности пространства-времени это означает, что при гравитационном *коллapse* (от лат. *collapsus* — упавший) происходит распад вещества на излучение в объеме фотонной сферы, сужающейся до кванта пространства радиуса фундаментальной длины. При этом излучение выходит через четвертое измерение, оказываясь вновь в трехмерном пространстве, но «вывернутом наизнанку». Из связанных между собой квантов излучения вновь возникают частицы вещества. Но собственные моменты импульса этих частиц — *спины* — теперь становятся противоположными по направлению спинам частиц, которые существовали до коллапса. Из нашего мира мы попадаем в *антимир*, где атомные ядра складываются из антипротонов и антинейтронов, а вокруг них вращаются позитроны.

8

Кварки

...не стоит и думать, будто мы можем
дойти до конца в описании элемен-
тарных частиц.

М. Гелл-Манн

8.1. Элементарные частицы

Все элементарные частицы делятся на два класса: *адроны* (от греч. *hadros* — массивный, крупный) и *лептоны* (от греч. *leptos* — легкий). Первые делятся на *барионы* (массивные) и *мезоны* (средние).

Барионы. К барионам относят нуклоны и гипероны. Нуклонами (от лат. *nucleus* — ядро) называют частицы, из которых состоят атомные ядра: *протоны* и *нейтроны*.

Большие значения магнитных моментов нуклонов говорят о неодинаковом распределении в них зарядов и массы: заряд в большей степени «размазан», чем масса, которая сосредоточена преимущественно в центре. Более того, наличие магнитного момента у нейтрона говорит о том, что он нейтрален только в среднем и имеет сложную структуру заряда. Измерения распределения заряда по объемам нуклонов были сделаны американским физиком Р. Хофстадтером.

В эксперименте ученого нуклоны обстреливались пучком высокоэнергичных, до 2 ГэВ, электронов. Благодаря этому точность, с которой можно было зондировать внутренности частиц, составляла около 10^{-15} м (1 ферми).

Центральная область и протона, и нейтрона радиусом 0,2 ферми несет примерно 10 – 12 % положительного заряда (рис. 8.1). Во внутреннем кольце протона средним радиусом около 0,8 ферми сосредоточено около 60 % заряда. Наконец, внешний слой, радиус которого ра-

вен 1,4 ферми, несет 28 % положительного заряда. Антипротон имеет аналогичную структуру, с той лишь разницей, что он в целом и его отдельные слои несут отрицательный заряд.

Нейтрон имеет положительно заряженную центральную и наружную части и отрицательно заряженную внутреннюю область. Анти-нейтрон в целом нейтрален, распределение зарядов аналогично нейтрону, но имеет противоположные знаки: там, где у нейтрона плюс у антинейтрона минус, и наоборот.

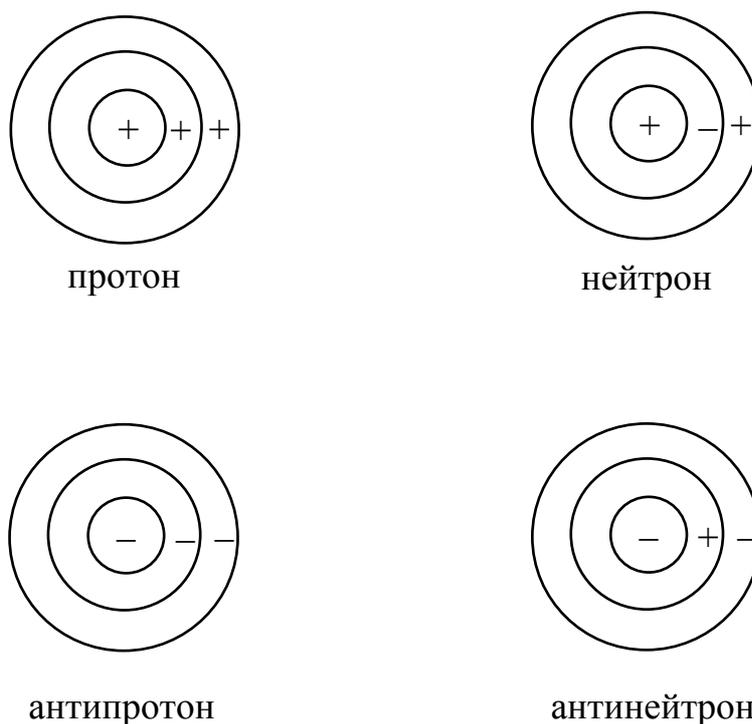


Рис. 8.1. Распределение зарядов внутри нуклонов и их античастиц

Гипероны — более тяжелые частицы, чем нуклоны и отличаются от последних тем, что они странные частицы. Странность в физике имеет точное определение и оценивается количественно некоторым числом, но об этом поговорим позже.

Известно всего 7 гиперонов (табл. 8.1), все они экспериментально наблюдались. Существование антигиперонов было подтверждено сначала теоретически, а затем доказано экспериментально. Гипероны отличаются от своих античастиц проекцией изотопического спина и странностью (см. ниже).

Таблица 8.1

Таблица гиперонов

Частица	I	I_z	S	Частица	I	I_z	S
Λ^0	0	0	-1	Ξ^-, Ξ^0	1/2	-1/2, 1/2	-2
$\tilde{\Lambda}^0$	0	0	1	$\tilde{\Xi}^-, \tilde{\Xi}^0$	1/2	1/2, -1/2	2
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1, 0, -1	-1	Ω^-	0	0	-3
$\tilde{\Sigma}^+, \tilde{\Sigma}^0, \tilde{\Sigma}^-$	1	-1, 0, 1	1	$\tilde{\Omega}^-$	0	0	3

Гипероны — нестабильные частицы. Способы их распада и относительная вероятность распада по различным каналам приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Способы распада гиперонов

Частица	Тип распада	Вероятность распада, %	Частица	Тип распада	Вероятность распада, %	
Λ^0	$p + \pi^-$	64	Σ^0	$\Lambda^0 + \gamma$	100	
	$n + \pi^0$	36		Σ^-	$n + \pi^-$	100
Σ^+	$p + e^- + \tilde{\nu}$	~ 0,2	Ω^-	Ξ^-	$\Lambda^0 + \pi^-$	100
	$p + \pi^0$	50		Ξ^0	$\Lambda^0 + \pi^0$	100
	$n + \pi^+$	50		$\Xi^0 + \pi^-$	100	
	$p + \gamma$	~ 0,5				

Из табл. 8.2 видно, что Σ^0 -гиперон превращается в Λ^0 -гиперон и фотон — электромагнитную волну, распад носит электромагнитный характер. Остальные гипероны распадаются в результате слабых взаимодействий.

До сих пор не дан ответ на вопрос, какую роль играют гипероны в строении вещества. Ряд ученых считает, что гипероны являются возбужденными состояниями нуклонов, т. е. они появляются, когда есть большой избыток энергии. В обычном, окружающем нас веществе в них нет необходимости.

Ядерные силы между нуклонами возникают в результате обмена виртуальными мезонами, в одних случаях заряженных, в других — нейтральных. Между протонами кроме них действуют еще электростатические силы отталкивания. Электрические силы на два порядка слабее ядерных, и потому лишь незначительно искажают их действие. Поэтому можно не учитывать незначительные различия между прото-

ном и нейтроном. Еще в начале 30-х годов прошлого столетия В. Гейзенберг предложил считать их различными состояниями одной частицы. Для их отличия было введено квантовое число — *изотопический спин*, или изоспин, который для нуклонов равен $1/2$. Протон и нейтрон образуют изотопический дублет с двумя значениями $+1/2$ для протона, а $-1/2$ — для нейтрона, которые называются *зетовыми проекциями изоспина*.

Электрический заряд нуклона, выраженный в единицах заряда протона, можно представить в виде

$$Q = 1/2 + I_z.$$

Если подставить в это выражение значение для проекции изоспина для протона $I_z = +1/2$, то его заряд равен 1, для нейтрона $I_z = -1/2$, и заряд равен 0.

Понятие изотопический спин возникло при изучении сильных взаимодействий, и, следовательно, применимо только к сильновзаимодействующим частицам, применительно к лептонам он не имеет никакого смысла.

Из известных нам частиц Σ -гипероны и антигипероны образуют изотопические триплеты, Ξ -гипероны и их античастицы образуют дублеты, Ω^- -гиперон и его античастица образуют синглеты (см. табл. 8.1)

Каждый из изотопических мультиплетов имеет зарядовый центр, который можно найти, сложив все заряды и разделив на число частиц. Так, например, для нуклонного дублета зарядовый центр равен $1/2$, для антинуклонного его значение равно $-1/2$, зарядовый центр Ξ -гиперона равен $-1/2$ и смещен относительно нуклонного центра на -1 . Это смещение, после того как его увеличат в два раза, будет называться *странностью*, или *странным квантовым числом*. Таким образом, странность Ξ -гиперонов равна -2 . Зарядовый центр Σ -гиперонов равен 0, т. е. смещен относительно нуклонного дублета на $-1/2$, следовательно, для них странность принимает значение -1 . Смещение зарядового центра странных частиц определяется по отношению зарядового центра родственной, но не странной группы частиц. В данном случае это нуклоны, в случае мезонов это были бы частицы пи-мезонного триплета.

Странное число ввели М. Гелл-Манн и К. Нишижима для характеристики частиц, которые вели себя соответствующим образом. Странные частицы всегда рождаются либо парами, либо большими группами и имеют аномально большое время жизни (в 10^{13} раз больше

ожидаемого). Только введение странного числа и закона его сохранения в ядерных реакциях с участием странных частиц помогло понять эту загадку.

Мезоны. Мезоны — это нестабильные элементарные частицы, нейтральные или обладающие элементарным зарядом. Мезоны имеют массы, промежуточные между массами электрона и нуклонов. Существование мезонов как гипотетических частиц — переносчиков сильного взаимодействия — было предсказано в 1935 г. Х. Юкавой. Из соотношения неопределенности и радиуса действия ядерных сил следует, что масса этих частиц $\sim 200 m_e$. Спустя год американские физики Андерсон и Ниддермайер открыли в космических лучах нестабильные частицы с массой, близкой к теоретическому значению ($\sim 207 m_e$), названные впоследствии *μ -мезонами*, или *мюонами*. Мюоны образуются при столкновении частиц высокой энергии с ядрами атомов. Однако более тщательное исследование свойств мюонов показало, что они относятся к лептонам.

Спустя 10 лет после открытия Андерсона и Ниддермайера в работах Лепринс-Ринге, Леръете, Алиханьяна, Алиханова и их сотрудников были получены первые указания на существование π - и K -мезонов (соответственно пионов и каонов) — более тяжелых частиц, чем мюоны, которые и являются носителями сильного взаимодействия. Пионы и каоны различаются по своим свойствам. K -мезоны относятся к странным частицам, т. е. их поведение в реакциях рождения и поглощения описывается квантовым числом s (странность). Для них $s = \pm 1$, а для пионов $s = 0$.

В 1961 г. было обнаружено, что в реакции $\pi + n \rightarrow n + 2\pi$ довольно часто пара пионов вылетает как бы слипшейся в виде новой частицы — ρ -мезона, масса которого равна ~ 760 МэВ. Такая система существует конечное время и обладает всеми свойствами частицы, т. е. спином, изотопическим спином, массой, четностью и т. д. Существуют реакции, в которых в одну систему «слипаются» сразу три пиона. При этом образуется новая частица, названная ω^0 -мезоном, его масса составляет ~ 790 МэВ, время жизни 10^{-23} с, после чего он распадается на три пиона. В реакции $\pi^+ + d \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ был обнаружен еще один 3-пионный резонанс с массой 550 МэВ, который был назван η^0 -мезоном.

На сегодняшний день все мезоны получены в лабораторных условиях при помощи мощных ускорителей.

Лептоны. *Лептонами* называются все виды нейтрино, электрон, отрицательный μ -мезон (мюон), τ -лептон, и их античастицы. Из них электрон был открыт раньше остальных частиц — еще в 1897 году английским физиком Дж. Томсоном при исследовании законов движения частиц катодных лучей в электрических и магнитных полях. Существование его античастицы — позитрона — было предсказано в 1928 году другим английским физиком П. Дираком, а в 1932 году американец К. Андерсон обнаружил позитрон в космических лучах. Электрон от своей античастицы отличается только зарядом. После открытия позитрона физики пришли к выводу, что все элементарные частицы имеют античастицы. Так потом и оказалось. Известны только три исключения: фотон, π^0 - и η -мезоны одновременно являются и частицами и античастицами.

Позитрон и электрон, встречаясь друг с другом, аннигилируют. При этом, в зависимости от ориентации спинов, образуются два или три гамма-кванта. Непосредственно перед аннигиляцией электрон и позитрон на короткое время образуют позитроний — некое подобие атома, в котором частицы вращаются вокруг общего центра масс. Если спины частиц антипараллельны, то при аннигиляции образуются два гамма-кванта с антипараллельными спинами; если спины исходных частиц параллельны, то возникают три гамма-кванта, их суммарный спин равен единице, как и у исходных частиц.

В 1933 г. швейцарский физик Вольфганг Паули для объяснения явления радиоактивности постулировал существование нейтральной частицы с массой покоя, близкой к нулю. Гипотеза Паули впоследствии подтвердилась, а открытая им частица была названа *нейтрино* (такое название ей дал итальянский физик Энрико Ферми, что в переводе с итальянского означает маленький нейтрон или нейтрончик). В дальнейшем появилась необходимость и в антинейтрино. Оказалось, что нейтрино отличается от своей античастицы спином: направление движения антинейтрино совпадает с направлением спина, у нейтрино спин направлен в сторону, противоположную направлению движения.

Позже выяснили, что существует три типа нейтрино: электронное нейтрино, участвующее в бета-распадах вместе с электроном; мюонное нейтрино, возникающее при распадах, в которых появляется мюон, и τ -лептонное нейтрино, возникающее в распадах с участием τ -лептона. Соответственно они имеют и разного типа антинейтрино. Нейтрино и антинейтрино одного типа могут изредка аннигилировать.

Все лептоны являются фермионами: спин каждого из них равен $1/2$. Лептоны не участвуют в сильных взаимодействиях ни между собой, ни с другими частицами. Заряженные лептоны вступают в элек-

электромагнитные взаимодействия, и все они участвуют в слабых взаимодействиях.

Все реакции, при которых появляются или исчезают лептоны, подчиняются закону сохранения лептонов. Это означает, что если в какой-либо ядерной реакции появляется некоторое число лептонов, то одновременно рождается такое же количество антилептонов. Исчезают они тоже одновременно и в одинаковом количестве. Так, например, при распаде нейтрона рождается один электрон, а вместе с ним и одно антинейтрино. При распаде мюона один лептон исчезает — это собственно сам мюон, в то же время появляется другой лептон — электрон. Но мюон отличается от электрона большой массой, поэтому для выполнения закона сохранения энергии и количества движения в этой реакции возникает еще пара лептонов — нейтрино и антинейтрино. Появление этих двух лептонов следует из закона сохранения лептонов.

Полный список элементарных частиц. Если не считать резонансов, то общее количество элементарных частиц, как тех, что обнаружены экспериментально, так и тех, в существовании которых нет никаких сомнений, ровно 35. Сюда же входят и античастицы. Все они выполняют определенные функции. Из одних строится вещество и антивещество Вселенной, другие играют роль переносчиков взаимодействий, третьи участвуют в процессах превращения одних частиц в другие.

В табл. 8.3 перечислены все 35 частиц, о которых говорилось. Массы частиц указаны в массах электрона. Заряды элементарных частиц не превышают по модулю заряд электрона, и только резонансные барионы имеют заряд, равный двум зарядам электрона.

Резонансы. В начале 60-х годов XX в. был открыт еще один класс элементарных частиц. Их называли *резонансами*, или *резонансными частицами*. Эти частицы отличаются крайне малым временем жизни — порядка 10^{-22} с. Первый нуклонный резонанс был открыт Э. Ферми в 1952 году в реакциях рассеяния π -мезонов на нуклонах при энергии мезонов около 200 МэВ, он был назван Δ -изобарой. Существуют мезонные и барионные резонансы.

Несмотря на малое время жизни, исключаящее прямую регистрацию резонансов, физикам все же удается определить ряд их важных параметров, таких как массу, заряд, время жизни, спин и т. д.

Таблица 8.3

Таблица элементарных частиц

Класс частиц	Символ частиц	Символ античастиц	Масса, э. м.	Среднее время жизни, с
Фотон	γ	γ	0	стабилен
Лептоны	ν_e	$\tilde{\nu}_e$	0	стабилен
	ν_μ	$\tilde{\nu}_\mu$	0	»
	ν_τ	$\tilde{\nu}_\tau$	0	»
	e^-	e^+	1	»
	μ^-	μ^+	206,8	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	τ^-	τ^+	3672,0	$2,9 \cdot 10^{-13}$
Мезоны	π^0	π^0	264,1	$0,89 \cdot 10^{-16}$
	π^+	π^-	273,1	$2,61 \cdot 10^{-8}$
	η	η	1073,6	$10^{-18} - 10^{-19}$
	K^+	K^-	966,4	$1,235 \cdot 10^{-8}$
	K^0	\tilde{K}^0	974,2	$0,87 \cdot 10^{-10}$
Нуклоны	p	\tilde{p}	1836,0	стабилен
	n	\tilde{n}	1838,6	$1,01 \cdot 10^{-3}$
Гипероны	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183,1	$2,51 \cdot 10^{-10}$
	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^+$	2327,7	$0,81 \cdot 10^{10}$
	Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2333,8	$< 1,0 \cdot 10^{-14}$
	Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2343,3	$1,65 \cdot 10^{-10}$
	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572,7	$3,0 \cdot 10^{-10}$
	Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2586,5	$1,74 \cdot 10^{-10}$
	Ω^-	$\tilde{\Omega}^-$	3276,9	$1,5 \cdot 10^{-10}$

Большинство резонансов — такие же частицы, как и известные элементарные частицы. Однако еще остались резонансы, про которые нельзя с полной уверенностью сказать, что это частицы, а не какие-либо ассоциации слабо связанных частиц.

Как правило, сильно взаимодействующие частицы имеют свои резонансы, отличающиеся от них большими значениями массы и квантовых чисел. Последнее говорит о том, что резонансы — это возбужденные состояния соответствующих элементарных частиц.

Итак, общее число стабильных, долгоживущих и резонансных частиц значительно превышает 200. В связи с этим важной задачей является их систематизация. Об этом и пойдет речь дальше.

8.2. Кварки

В 1964 г. М. Гелл-Манн и Д. Цвейг независимо друг от друга предложили кварковую модель строения *адронов*. Ее появление было очевидным. Вспомните, о чем говорилось выше — нейтрон и протон, в отличие от электрона, имеют сложную структуру. Поэтому предположить, что адроны состоят из новых структурных субединиц, кажется вполне естественным. Новые элементарные частицы были названы *кварками*. Этот термин был придуман Гелл-Манном под влиянием первой строчки песни из романа известного ирландского поэта и писателя Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану». Песня начинается со слов «Three quarks...», что в переводе может означать либо «три карканья», либо «три кваканья».

Для того чтобы объяснить свойства и строения адронов, кваркам пришлось присвоить необычные свойства: дробный электрический и барионный заряды. Барионы состоят из трех кварков, а мезоны — из кварка и антикварка. Все адроны, обнаруженные до 1974 г., можно было описать кварками трех типов: *u*, *d*, *s*. Трехкварковая модель оказалась замкнутой, т. е. каждой комбинации кварков соответствовала определенная наблюдаемая частица.

В таком виде модель просуществовала до 1974 г., пока две группы физиков не объявили об обнаружении новой частицы — J/ψ -мезона. Ее масса оказалась $\sim 3,1$ ГэВ, а время жизни в 1000 раз больше, чем у других известных частиц подобной массы. Для объяснения столь небывалого долгожительства необходимо было предположить о существовании нового, *c* - кварка, названного очарованным (от англ. *charm* – очарование). Предположили, что новая частица состоит из *c* - кварка и *c* - антикварка, т. е. это частица со скрытым очарованием. Подобно тому, что *s* - кварк связан с квантовым числом и *s*-странность, *c* - кварк связан с новым квантовым числом — *очарованием*. Очарованный кварк порождает новое семейство адронов, которые должны иметь в своем составе *c* - кварк или *c* - антикварк.

В 1977 г. учеными были обнаружены нейтральные мезоны с массами ~ 10 ГэВ. Их называли Υ - мезонами (читается ипсилон-мезон). Так же как и J/ψ - мезоны они наблюдались при образовании мюонных пар в протон-ядерных столкновениях и на электронно-позитронных коллайдерах. Подобно J/ψ - мезонам, Υ - мезоны — долгоживущие частицы. Для объяснения свойств этой частицы понадобилось ввести в кварковую модель пятый, *b* - кварк (от англ. *beauty* —

красота). Υ - мезон состоит из одного b - кварка и \bar{b} - антикварка, т. е. содержит скрытую красоту.

Наконец, последний и самый тяжелый t - кварк (от англ. *true* — истинность) был открыт в 1995 году. Сейчас есть все основания, что их не должно быть больше. Квантовые числа всех шести кварков приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Таблица кварков

Характеристика	Тип кварка					
	d	u	s	c	b	t
Электрический заряд, Q	-1/3	2/3	-1/3	2/3	-1/3	2/3
Барионное число, B	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Спин, J	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Четность, P	1	1	1	1	1	1
Изоспин, I	1/2	1/2	0	0	0	0
Проекция изоспина, I_3	-1/2	1/2	0	0	0	0
Странность, s	0	0	-1	0	0	0
Очарование, c	0	0	0	1	0	0
Красота, b	0	0	0	0	-1	0
Истина, t	0	0	0	0	0	1
Масса в составе адрона, ГэВ	0,33	0,33	0,51	1,8	5	180
Масса «свободного» кварка, ГэВ	0,007	0,005	0,15	1,3	4,1-4,4	174

Каждый тип кварка имеет так называемый *цветовой заряд*, который принимает три значения — зеленый, синий, красный. Конечно, ничего общего с расцветкой они не имеют, это всего лишь условные обозначения специфического заряда. Можно было бы и электрические заряды различать не как положительный и отрицательный, а, например, черный и белый. Существование у кварков цветового заряда предположили еще в 1965 г. независимо две группы ученых: Н. Боголюбов, Б. Струминский, А. Тавхелидзе и М. Хан и Й. Намбу. Впоследствии эта гипотеза подтвердилась в большом количестве экспериментов.

Существует цветовая симметрия сильных взаимодействий, т.е. сильные взаимодействия между кварками одинаковы для всех трех цветов. Поскольку адроны состоят из кварков, то их структура в ос-

новном определяется электромагнитными и сильными взаимодействиями кварков.

Основные положения кварковой модели¹:

1. Все адроны состоят из кварков; кварки в адронах связаны между собой глюонами.

2. Кварки — бесструктурные частицы, являются фермионами (фермионы — частицы, спин которых равен $1/2$).

3. Свойства кварков описываются следующими квантовыми числами: электрический заряд Q , спин $1/2$, четность P , барионное число B , изотопический спин I , проекция изотопического спина на выбранное направление I_3 , странность s , красота b , истинность t , очарование c (внутренние квантовые числа s, b, t, c , характеризующие тип кварка, называются «ароматами» кварка).

4. Барионы (фермионы с барионным числом $B = 1$) состоят из трех кварков, антибарионы ($B = -1$) состоят из трех антикварков. Мезоны (барионное число $B = 0$) состоят из пары кварк–антикварк.

5. Кварки обладают цветовым зарядом, который принимает три значения — красный, синий, зеленый; барионы и мезоны — бесцветны; «бесцветность» — это совокупность всех трех зарядов — красного, синего и зеленого.

6. Кварки участвуют в электромагнитных взаимодействиях (рис. 8.2) с излучением или поглощением фотона, при этом ни цвет, ни аромат кварков не меняется.

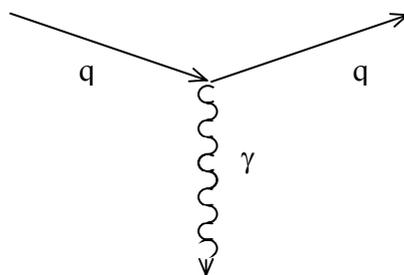


Рис. 8.2. Электромагнитное взаимодействие кварков

7. Кварки участвуют в слабых взаимодействиях, излучая или поглощая при этом W^{\pm} или Z^0 -бозоны, в этом случае может меняться тип (аромат) кварка, но цвет остается без изменения.

¹ Ииханов Б. С., Кэбин Э. И. Физика ядра и частиц, XX век. [электронный ресурс]: Ядерная физика в Интернете. / Проект кафедры общей и ядерной физики физического факультета МГУ. — М.: МГУ, 2003. — Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru>, свободный. — Загл. с экрана.

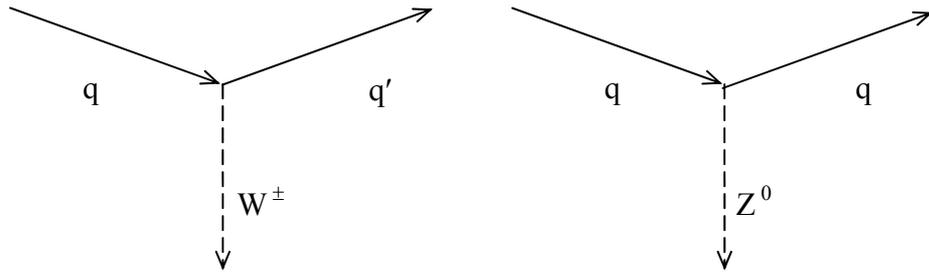


Рис. 8.3. Слабые взаимодействия кварков

8. Кварки участвуют в сильных взаимодействиях (рис. 8.4); при этом излучается или поглощается глюон g ; в этом случае цвет кварка меняется, а тип (аромат) остается неизменным.

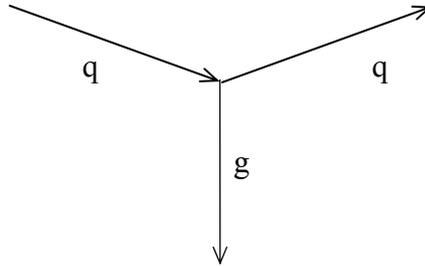


Рис. 8.4. Сильные взаимодействия кварков

9. Все адроны обладают внутренней четностью, которую можно получить, если воспользоваться следующими правилами:

Правило 1. Независимо от типа кварк имеет четность, равную $+1$, а его антикварк имеет четность, равную -1 .

Правило 2. Внутренняя четность адрона равна произведению четностей кварков, входящих в его состав, умноженному на $(-1)^{\sum L}$, где L — суммарный орбитальный момент кварков.

Кварковая модель позволяет описать строение и свойства адронов, получить их квантовые числа. Применяя эту модель, можно рассчитать спектры масс мезонов. Семейства мезонов, состоящих из тяжелых кварков, например, $c\bar{c}$ и $b\bar{b}$, имеют спектры, аналогичные водородоподобным атомам. Изучение подобных систем позволяет получить важную информацию о сильных взаимодействиях. Для описания их спектров удалось найти простой потенциал

$$V(r) = -\frac{4\alpha}{3r} + \frac{r}{\beta^2} + \delta,$$

где α , β , δ — константы. Отсюда видно, что на малых расстояниях ($r \ll 10^{-15}$ м) потенциал имеет вид $V(r) \sim 1/r$, т. е. аналогичен кулоновскому, а на больших расстояниях, порядка радиуса адрона ($\sim 10^{-15}$ м), потенциал растет пропорционально r , поэтому кварки не наблюдаются в свободном состоянии.

С точки зрения физики это можно объяснить следующим образом. Частицы, которые связывают кварки в адроны, называются *глюонами* (от англ. *glue* — клей). Глюоны — это кванты сильного взаимодействия. Они имеют спин, равный 1 (т. е. являются бозонами), обладают цветом и антицветом (по аналогии с квантовой электродинамикой теория взаимодействия цветных объектов называется *квантовой хромодинамикой*). Всего существует 8 типов глюонов. Взаимодействие между кварками при помощи обмена глюонами является сильным. Поскольку глюоны несут цветовой заряд, то сами должны испускать и поглощать глюоны. Поэтому с увеличением расстояния взаимодействие между кварками и глюонами возрастает, частицы оказываются «запертыми» внутри бесцветных адронов и не могут появиться в свободном состоянии. Такое положение называют «конфайнмент», что в переводе с английского означает «пленение, тюремное заключение». Если кварк получает энергию в результате столкновения с электроном, то он не вылетает из адрона, а тратит ее на образование пар кварк-антикварк, т. е. на образование новых адронов.

Основной причиной, по которой кварки не наблюдаются в свободном состоянии, является их большие массы. Поэтому даже на самых мощных современных ускорителях невозможно получить достаточного количества энергии, необходимого для разделения кварков. Существуют гипотезы, согласно которым энергия взаимодействия между кварками не ослабевает с расстоянием, а наоборот, возрастает, и тогда для отделения их друг от друга потребуется бесконечно большая энергия.

9

Большой взрыв

Очень примечательно, что есть возможность сказать, на что была похожа Вселенная в конце первой секунды или первой минуты или первого года...

С. Вайнберг

9.1. Эволюционирующая Вселенная

Стационарная Вселенная. Стремление понять окружающий нас мир было всегда. Наблюдая за звездами, в частности за Солнцем, ученые и мыслители древности видели неизменность небесных светил. Еще у Аристотеля в его сочинении «О небе» сказано: «В продолжение всего прошедшего времени, согласно летописям, завещаемым потомкам от поколения к поколению, мы не находим следа изменений ни во всем удаленном небе в целом, ни в одной из подходящих частей неба».

В более поздние времена, астрономы, вооруженные телескопами, смогли обнаружить лишь изменение блеска отдельных переменных звезд. Космическое пространство, в целом, оставалось неизменным. Поэтому идея стационарной Вселенной была сама собой разумеющейся. Это сейчас известно, что неизменность звездных скоплений, галактик и других астрономических тел и систем только кажущаяся — человек наблюдает их слишком малое время, но еще в начале прошлого столетия мысль об эволюции Вселенной была настолько нелепой, что даже крупные ученые не допускали ее. Так, например, А. Эйнштейн после создания общей теории относительности стал выяснять, имеет ли система уравнений ОТО стационарные решения. Когда же выяснилось, что таких решений нет, он попытался изменить теорию. Такая недоверчивость к собственным уравнениям была связана с отсутстви-

ем наблюдательных данных о движении галактик, которые под действием сил тяготения должны были сближаться, и закон тяготения указывал бы на нестационарность Вселенной.

Идея неизменности мира настолько захватила Эйнштейна, что он ввел силы отталкивания, не зависящие от вещества и уравновешивающие силы гравитационного притяжения. Ускорение, сообщаемое силой отталкивания, зависит только от расстояния между взаимодействующими телами и не зависит от их масс. Согласно Эйнштейну, это прямо пропорциональная зависимость. Коэффициент этой пропорциональности называется *космологической постоянной*.

Такое нововведение показалось искусственным и вызвало бурные споры между физиками-теоретиками. Действительно, чтобы уравновесить силы тяготения и отталкивания, космологическая постоянная должна быть мала. Приведем два примера. При свободном падении тела на поверхность Земли ускорение, сообщаемое силами отталкивания, в 10^{33} раз меньше ускорения свободного падения. Сила притяжения Солнца сообщает Земле ускорение $0,5 \text{ см/с}^2$, а ускорение силы отталкивания между ними в 10^{22} раз меньше. Таким образом, если отталкивание и существует, то оно никак не влияет на движение космических тел и может быть обнаружено только при исследовании движений далеких галактик.

Открытие эволюции Вселенной. Прошло несколько лет после работы А. Эйнштейна. В конце июня 1922 года в редакцию немецкого «Физического журнала» поступила статья замечательного советского физика А. А. Фридмана, в которой доказывалась нестационарность Вселенной. Эйнштейн посчитал эту работу ошибочной, и еще в середине сентября того же года журнал напечатал его краткую заметку. В ней ученый пишет об ошибке, допущенной ученым, при исправлении которой динамические решения становятся стационарными.

Фридман, узнав о мнении Эйнштейна из письма своего коллеги Ю. Круткова, направляет ему послание, в котором более подробно излагает суть своих исследований. Письмо было получено Эйнштейном, однако он либо не прочел его, либо не обратил на него внимания, будучи слишком уверенным в своей правоте.

В мае следующего, 1923, года все тот же Ю. Крутков встретился с А. Эйнштейном в Лейдене и в нескольких беседах доказал справедливость решений Фридмана. Сразу после этого Эйнштейн направил заметку в «Физический журнал», где признает свою ошибку, а работу Фридмана считает правильной.

Какие же решения получил А. А. Фридман, что они сделали переполох в научном мире? Всего их три, реализация того или иного

случая зависит от отношения средней плотности вещества во Вселенной к так называемой критической плотности, которая равна 10 атомов водорода в среднем на один кубический метр.

Итак, если средняя плотность вещества меньше критической, то Вселенная будет неограниченно расширяться (рис. 9.1, *а*). Такую модель называют *открытой*. Если вспомнить язык, на котором описывается

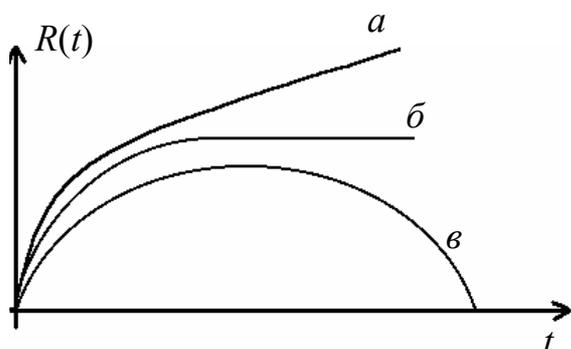


Рис. 9.1. Зависимость масштабного фактора от времени: *а* — открытая Вселенная, *б* — плоская, *в* — замкнутая

пространство-время (семинар 6), то геометрия пространства подобна геометрии на седлообразной поверхности, имеющей отрицательную кривизну. Пространство простирается во все стороны, не замыкаясь, и имеет бесконечный объем.

Если средняя плотность материи во Вселенной и критическая плотность равны, то расширение Вселенной в будущем прекратится. В таком состоянии

она просуществует бесконечно долгое время (рис. 9.1, *б*). Геометрия пространства будет евклидовой, т. е. плоской. Оно простирается в разные стороны до бесконечности и объем его бесконечен.

Наконец, если средняя плотность вещества больше критической, то в будущем расширение Вселенной сменится сжатием (рис. 9.1, *в*). Пространство будет сферическим и бесконечным, но объем его конечен. Такая модель Вселенной называется *замкнутой*.

Из-за проблем, связанных с определением средней плотности материи, до сих пор не известно точно, по какому сценарию будет эволюционировать наш мир. В настоящее же время мы находимся на стадии расширения.

Подтверждением расширения Вселенной стало открытие американским астрономом Э. Хабблом своего знаменитого закона, который гласит, что далекие галактики удаляются от нас со скоростью, пропорциональной расстоянию до них.

Его установление произошло в два этапа. Сначала другим американским астрономом В. Слайфером было установлено, что большинство галактик удаляется со скоростью около двух тысяч километров в секунду. Лишь несколько галактик приближались к нам. Однако, как выяснилось позже, это Солнце движется к ним со скоростью около 250 километров в секунду.

Удаляется или приближается к нам галактика определяется по смещению линий излучений в их спектрах. Если галактика приближа-

ется, то линии сдвигаются в фиолетовую сторону, если удаляется — в красную. Это явление носит название *эффекта Доплера*.

В 1923 году Э. Хаббл открыл первую цефеиду в туманности Андромеды М31. Через год он открыл уже более десяти цефеид. По их светимости он определил расстояние до них и до галактик, в которых они находятся. При сравнении расстояний R и скоростей v галактик Хаббл обнаружил закономерность между ними:

$$v = HR, \quad (9.1)$$

где H — постоянная Хаббла. В значении постоянной существует неопределенность, связанная с неточностью вычисленных расстояний до галактик. Сам астроном получил оценку $H = 530$ км/(Мпк·с) (Мпк — миллион парсек = $3,086 \cdot 10^{21}$ м). В простейшей космологической модели Фридмана значение H^{-1} равно времени существования Вселенной, т. е. получаем около 2 млрд лет, а возраст Земли оценивается в 4 млрд лет. К настоящему времени, после многократных уточнений расстояний до галактик, значение H упало почти в 10 раз, и с уверенностью можно сказать, что истинное значение постоянной Хаббла вряд ли выходит из интервала 50 — 100 км/(Мпк·с). Для такого значения постоянной Хаббла время существования Вселенной равно 10^{10} лет, что хорошо согласуется с оценками, полученными по данным радиоактивного распада изотопов урана и теории эволюции звезд.

Таким образом, можно было бы говорить об окончательной победе теории эволюционирующей Вселенной. Однако приверженцы стационарной теории не сдавались. Разрабатывались такие модели Вселенной, которые согласовались с наблюдательными данными, но в которых мир был статичен. При этом красное смещение в спектре излучения далеких галактик объяснялись так называемым «старением» кванта излучения.

9.2. Теория расширяющейся Вселенной

Теория горячей Вселенной. Автором теории горячей Вселенной был ученик А.А. Фридмана, американский физик-теоретик русского происхождения Георгий Гамов. Гамову с сотрудниками также принадлежит первая последовательная теория образования химических элементов на ранних стадиях расширения Вселенной.

Согласно этой теории, наша Вселенная начала развиваться из сингулярности в результате взрыва (поэтому ее чаще называют теори-

ей Большого взрыва). Сингулярность — математическое понятие, которое в данном случае означает бесконечно малый объем с большой плотностью.

Теория Большого взрыва, опирающаяся на ОТО, описывает эволюцию Вселенной, начиная с планковских масштабов: $t = 10^{-44}$ с, $l = 10^{-35}$ м.

В первые мгновения после Большого взрыва (при $t < 0,01$ с) температура была очень высокой — более 10^{12} К, излучение преобладало над веществом. Последнее состоит из нейтронов и протонов в равных пропорциях, а также высокоэнергичных электронов, позитронов, нейтрино и антинейтрино. Взаимодействия с этими частицами заставляют протоны и нейтроны превращаться друг в друга. При охлаждении, в первые 10 с, число протонов увеличилось за счет реакции $n + e^+ \rightarrow p + \nu$. Равенство концентраций нарушается, потому что масса протона меньше массы нейтрона и образование протона энергетически более выгодно. Если бы температура уменьшалась медленнее, чем на самом деле, то эти реакции продолжались бы на несколько секунд дольше, и число нейтронов было бы ничтожным.

После 10 с температура уменьшается до миллиарда градусов, и начинается образование дейтерия, трития, изотопов гелия He^3 и He^4 и, в малых количествах, ядер бериллия и лития. Раньше сложные атомные ядра не могли существовать, так как они тут же были бы разбиты окружающими энергичными частицами. В то же время синтез элементов ограничивается только легкими элементами. Элементы тяжелее гелия образуются в звездах в нашу эпоху. Синтез ядер железа и более тяжелых веществ происходит во взрывных процессах, например, во вспышках сверхновых.

Но вернемся к описанию дальнейших событий. Через 300 с от начала расширения температура падает ниже миллиарда градусов, и все ядерные превращения заканчиваются. Вселенная заполнена горячей и полностью ионизованной плазмой, непрозрачной для излучения.

Последующие 300 тысяч лет ничем не примечательны — фейерверк, посвященный рождению нашей Вселенной, закончился, и наступил длительный период спокойствия. К этому времени вещество в массовом соотношении состоит из водорода — 0,9 и гелия — 0,09, остальное приходится на более тяжелые элементы. Это и есть химический состав Вселенной к началу формирования звезд и галактик.

По истечении периода затишья температура падает до 4000 градусов. Ионизованная плазма постепенно превращается в нейтральный газ, который совершенно прозрачен для излучения. Из-за продолжающегося расширения вещество становится все более разреженным и все более холодным. Наступает звездная эра — эра формирования

галактик, звезд, планет.

Процесс образования структур происходит благодаря гравитационной неустойчивости. В однородном веществе случайным образом появлялись маленькие начальные уплотнения, которые могли как распадаться, так и разрастаться, стягивая вещество своим тяготением. Эти сгустки вещества вырастали в огромные комки и давали начало галактикам.

Астрономические наблюдения за крупномасштабным распределением галактик показывают, что Вселенная неоднородна. Галактики образуют скопления, окруженные пустотами — войдами. Однако видимое распределение космических объектов далеко от действительности. Дело в том, что вещество во Вселенной существует в форме звезд, газовых облаков и темного вещества, которое невидимо. Природа темного вещества пока не ясна, но оно может скручиваться под действием гравитации, образуя галактики и скопления. Последнее существенно искажает наши представления о распределении вещества.

Теория Большого взрыва достаточно хорошо описывала эволюцию Вселенной: ее результаты согласовались с наблюдаемыми данными. Но был один существенный недостаток — кривизна пространства не соответствовала действительности. Другими словами, расчеты в рамках теории Большого взрыва давали современные размеры Вселенной чуть больше размеров апельсина. Для устранения этого недостатка американские физики-теоретики А. Гут и П. Сейнхардт ввели так называемую инфляционную стадию раздувания. Эта стадия длится недолго: от 10^{-30} с до 1 с после взрыва. Только в эти доли секунды имеется отличие моделей. В раздувающейся Вселенной сначала была фаза инфляции, когда масштабный фактор Вселенной увеличился по экспоненциальному закону — в 10^{50} раз больше, чем предполагалось в модели Большого взрыва.

Итак, теория горячей Вселенной дала необходимые соотношения водорода и гелия в современной Вселенной из ядерных реакций, происходивших на ранней горячей стадии эволюции Вселенной. Однако окончательным доказательством справедливости теории должно было послужить обнаружение следов, оставшихся с тех давних времен. Таким следом является фоновое излучение, предсказанное Гамовым еще в 1953 г. Как говорилось выше, в первое время после взрыва во Вселенной доминировало излучение, которое в наше время должно быть изотропным и остыть до температуры, близкой к абсолютному нулю, по расчетам до 10 К.

Сам Гамов не надеялся обнаружить это фоновое или, как его еще называют, реликтовое излучение в потоке радиоизлучения галактик и межзвездного газа. Но весной 1964 года американские радиоинженеры

Арно Пензиас и Роберт Вильсон, настраивая рупорную антенну радиотелескопа на излучение звездного вещества нашей галактики, не смогли избавиться от помех на длине волны 7,35 см. Было несколько удивительно, что куда бы антенна ни была направлена, она принимала излучение одинаковой интенсивности. Спустя год выяснилось, что это было фоновое излучение. Правда, оно имело температуру 2,7 К и по своей плотности значительно превосходило излучение звезд (более чем в 30 раз), а концентрация фотонов была больше, чем концентрация обычного вещества.

Наблюдаемое значение температуры реликтового излучения отличалось от предсказанного, главным образом из-за того, что в 50-е годы возраст Вселенной считали равным 2 млрд лет (так как для H использовалось завышенное значение). Если учитывать возраст Вселенной в 13 млрд лет, то значение температуры будет находиться в интервале $4,5 \div 7$ К, а если учесть в расчетах еще плотность релятивистских частиц, то интервал температур сузится до $1,7 \div 5$ К. Конечно, не стоит забывать и о неопределенном значении плотности вещества в современную эпоху.

Предсказание, обнаружение и интерпретация реликтового излучения позволило окончательно утвердиться теории Большого взрыва как доминирующей в описании эволюции Вселенной.

Будущее Вселенной. Построение моделей дальнейшего развития Вселенной принципиально отличается от исследования прошлого. Прошлые события оставили следы, которые мы можем наблюдать и с помощью которых судить о правильности наших теорий. Модель будущего — это всегда экстраполяция, проверить наши суждения можно будет лишь через множество лет. Но, тем не менее, накопленные знания в области космологии и физики позволяют достаточно уверенно предсказать дальнейшие события.

Будущее Вселенной в первую очередь зависит от того, будет ли она вечно расширяться, или расширение остановится на какой-то стадии, или расширение сменится сжатием. Рассмотрим сначала первый случай, когда она неограниченно расширяется. Это означает, что плотность вещества меньше критической.

Наша звездная эра продлится еще порядка 10^{14} лет. Это в 10 тысяч раз больше, чем время, прошедшее с момента Большого взрыва. По завершении этого периода все звезды во Вселенной погаснут. Например, наше Солнце погаснет через несколько миллиардов лет, превратившись в белый карлик. Звезды с большей массой проживут и того меньше, став в конце либо нейтронной звездой, либо черной дырой. Звезды с массой меньше солнечной проживут подольше, но и они пре-

превратятся в потухших карликов.

Конечно, в наше время постоянно возникают новые звезды, но настанет время, когда запасы ядерной энергии закончатся и этот процесс завершится, а новые звезды превратятся в холодные тела.

Что касается галактик, то они, в конечном счете, превратятся в гигантские черные дыры. Этот процесс заключается в следующем. Как показывают астрономические наблюдения, в центрах звездных систем, по всей видимости, находятся черные дыры. Центральная часть такой системы будет постепенно сжиматься к центру тяготения, превращаясь в малое скопление. Звезды, пролетая вблизи черной дыры, будут разрушаться приливными силами. Кроме того, возможны столкновения звезд друг с другом. В результате чего они превратятся в межгалактическую пыль, основная часть которой «осядет» на центральной черной дыре, увеличивая ее массу.

Процесс разрушения галактик завершится примерно через 10^{19} лет.

Дальнейшая судьба Вселенной будет определяться квантовыми процессами, точнее распадом протонов. Дело в том, что протон хотя и долго живущая, но все же нестабильная частица. Расчеты показывают, что раз в 10^{32} лет он распадается на позитрон, нейтрино, одну или несколько электронно-позитронных пар и фотон. Процессы распада будут поддерживать температуру погасших звезд и умерших планет на уровне немного отличном от абсолютного нуля. Так, например, за 10^{17} лет белые карлики остынут до температуры 5 К и сохранят это значение температуры до полного распада вещества внутри их. Нейтронные звезды остынут до 100 К за более долгий срок — 10^{19} лет, после чего температура будет поддерживаться до полного распада вещества.

Итак, через 10^{32} лет от звезд и планет останутся только фотоны и нейтрино (электронно-позитронные пары, образующиеся при распаде протонов, аннигилируют, образуя фотоны).

Что касается межгалактического вещества, рассеянного в виде пыли, то оно также распадется спустя 10^{32} лет. Однако это вещество очень сильно разрежено. Это приводит к тому, что электронно-позитронные пары, образующиеся при распаде протона, аннигилировать не будут, т. к. вероятность встречи частиц ничтожна.

В результате перечисленных процессов во Вселенной останутся фотоны, нейтрино, разреженная электронно-позитронная межгалактическая плазма и черные дыры. Основная масса сосредоточится в фотонах и нейтрино.

Из-за продолжающегося расширения плотности излучения и плазмы стремительно уменьшатся, и ко времени 10^{33} лет плотность материи будет определяться веществом черных дыр и нейтрино. Сле-

дующими в очереди на разрушение окажутся черные дыры. Процесс этот крайне медленный (более подробно см. семинар 10) — черная дыра с массой, равной 10 солнечным, испарится примерно за 10^{69} лет, а с массой в миллиард раз больше — за 10^{96} лет. Постепенно все черные дыры превратятся в излучение. Оно будет какое-то время преобладать во Вселенной. Но поскольку с расширением плотность излучения уменьшается быстрее плотности электронно-позитронной плазмы, то последняя в итоге станет доминирующей. Это произойдет через 10^{100} лет. К этому времени останутся только электроны и позитроны, плотность которых будет равна одной частице на объем, в 10^{185} раз больший, чем объем Вселенной, видимой в настоящее время.

Теперь рассмотрим случай, когда расширение сменится сжатием, который, по всей видимости, более вероятен. Дело в том, что масса покоя нейтрино хоть и мала (примерно 0,00005 массы электрона), но их настолько много во Вселенной, что их суммарная масса в результате окажется огромной. Тогда тяготение нейтрино заставит Вселенную сжаться. Это может наступить раньше, чем погаснут звезды. В результате вещество снова станет сверхплотным и горячим, что приведет к бурным физическим процессам, аналогичным процессам, которые происходили в начале эволюции Вселенной. Дальше повторяются уже знакомые нам процессы.

9.3. Альтернативные модели Вселенной

Несмотря на то, что модель горячей Вселенной, или Большого взрыва, в общих чертах объясняет довольно многие наблюдаемые данные, некоторые ученые подвергают сомнениям ее основные положения. Выдвигались и другие гипотезы происхождения Вселенной. Об одной из них мы уже писали — это стационарная модель. Кроме нее наиболее примечательными были гипотеза холодной Вселенной и модель шведского физика Ханнеса Альвена, которая обходится без взрывного начала.

Сперва рассмотрим модель холодной Вселенной. Она родилась еще в 30-е годы XX века, когда ядерная физика находилась в зачаточном состоянии, и не было теории, которая позволила бы рассчитать ядерные реакции.

Суть теории состоит в следующем. Первичное вещество Вселенной состояло из холодных нейтронов, которые являются нестабильными частицами. Время распада нейтрона равно примерно 15 минутам. В результате распада образуются протон, электрон и антинейтрино. В ходе расширения Вселенной протоны, образовавшиеся при рас-

паде нейтрона, соединялись с оставшимися нейтронами, давая ядра атомов дейтерия. Затем дейтерий соединялся с дейтерием и так далее, до образования альфа-частицы — ядра атома гелия. Более сложные ядра практически не могли образовываться. Со временем все вещество превратилось бы в гелий. Однако, как показывают наблюдения, молодые звезды и межзвездная пыль состоят в основном из водорода, а гелий составляет около 30 %.

Второе рождение модель холодной Вселенной получила в работах советского физика-теоретика Я. Б. Зельдовича в 1962 г. Дело в том, что уже существовавшая в то время теория горячей Вселенной давала слишком большие плотность и температуру излучения, противоречившие данным радиоастрономии. Тогда Зельдович выдвинул гипотезу, согласно которой первоначальное вещество Вселенной состояло из холодного протон-электронного газа с примесью нейтрино, причем на каждый протон приходилось по одному электрону и одному нейтрино. Эту гипотезу Зельдович разрабатывал и отстаивал вплоть до обнаружения реликтового излучения, существование которого теория холодной Вселенной не предсказывала.

Шведский ученый Х. Альвен привлек внимание к модели, которая обходится без взрывного начала. Она постулирует, что не гравитация, а электромагнитные силы, порождаемые плазмой, определяют структуру вещества во Вселенной. Согласно этой теории, межзвездное пространство заполнено длинными «нитями» и другими структурами, состоящими из плазмы. Звезды и галактики образованы теми же силами, которые вынуждают плазму образовывать эти фигуры. Энергия, выделяющаяся при аннигиляции частиц с античастицами, идет на расширение Вселенной. Однако оно происходит медленнее, чем предсказывает закон Хаббла. Расчеты показывают, что нитевидные плазменные структуры могут быть причиной существования реликтового излучения, которое служит главным доказательством справедливости модели Большого Взрыва. Кроме того, электромагнитные силы вместе с гравитацией могут участвовать в превращении плазменных облаков в галактики. При этом получаются все формы галактик без дополнительных предположений о существовании темного вещества, без которого необходимы другие модели эволюции Вселенной.

Что касается отличия скорости расширения от наблюдаемой, то с 30-х годов XX века известна теория П. Дирака о «старении» квантов: квант излучения далеких галактик пока добирается до нас краснеет из-за рассеяния на частицах межзвездной плазмы. В доказательство этого американский астроном Хилтон Арп утверждает, что наблюдал множество объектов, которые не подчиняются закону Хаббла.

10

Черные дыры

И звезды умирают во Вселенной...
Звезда уходит словно в глубь себя,
В последнем крике
выплеснув все чувства...
Уходит внутрь, во тьму, в ничто,
оставив бездну времени-пространства,
воронку мрака среди звездной пыли.
Голодный зев уже иных миров...
Что Дантов ад в сравненье с этим адом!
Безмолвной бездной, заключенной в сферу,
где время перепуталось с пространством,
и все пути ведут к уничтоженью.
И только черный ветер во Вселенной.
Застывший ветер,
смерч из звездной пыли
стоит на страже на краю воронки...

М. Катыс

10.1. Что это такое?

Предсказание. История предсказания существования черных дыр начинается с понимания того, что свет может притягиваться массивными телами. Это предполагал еще И. Ньютон. Но первым ученым, который заговорил о возможности существования невидимых звезд был знаменитый французский математик и астроном П. Лаплас. В своей книге «Изложение систем мира», вышедшей в 1795 г., он писал: «Светящая звезда с плотностью, равной плотности Земли и диаметром в 250 раз больше диаметра Солнца, не дает ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие небесные тела во Вселенной оказываются по этой причине невидимыми».

Однако предсказанные Лапласом звезды нельзя считать черными дырами в полной мере. На это есть две причины. Во-первых, лапласовская звезда просто не излучает свет, а черная дыра вообще не может «общаться» с внешним миром. Действительно, ведь Лаплас не мог знать специальной теории относительности, согласно которой ни одно материальное тело не может иметь скорость большую, чем скорость света в вакууме. Поэтому, раз из черной дыры не может «выбраться» даже свет, то, значит, из нее вообще ничего не может выйти. Во-вторых, в своих рассуждениях ученый опирался на теорию тяготения Ньютона, которая неверна для столь огромного гравитационного поля, каким должна обладать черная дыра. Здесь необходимо применять общую теорию относительности.

Покажем, к каким ошибкам ведет применение классической теории гравитации вместо ОТО.

По теории Ньютона сила притяжения, действующая на тело массой m на поверхности сферической планеты радиусом R и массой M равна

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \quad (10.1)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ — гравитационная постоянная. По ОТО сила тяготения будет немного больше, чем вычисленная по (10.1). Будем теперь уменьшать радиус планеты, сохраняя при этом ее массу. По классической теории, при сжатии вдвое сила увеличится вчетверо, по ОТО, сила будет возрастать быстрее. Ньютоновская теория дает бесконечную силу при $R \rightarrow 0$, по Эйнштейну, сила стремится к бесконечности, когда радиус планеты стремится к гравитационному радиусу, который определяется массой тела: чем меньше масса, тем меньше гравитационный радиус. Для Земли он равен 1 сантиметру, а для Солнца — 3 километрам.

В декабре 1915 г. немецкий астроном К. Шварцшильд получил точные решения уравнений Эйнштейна для гравитационного поля сферически симметричного тела. Из решения следовало, что свет не может покинуть тело, если его радиус не превышает соответствующий гравитационный радиус, для которого ученым было получено следующее выражение:

$$R_0 = \frac{GM}{c^2},$$

где M — масса тела.

Сферу с радиусом, равным гравитационному, называют сферой Шварцшильда.

Таким образом, ОТО предсказывает, что как только радиус космического тела становится равным его гравитационному радиусу, то свет не сможет преодолеть силовое поле тела, и оно становится невидимым для внешнего наблюдателя. И здесь справедливо возникает вопрос, а какими такими удивительными свойствами должно обладать тело, чтобы сжаться до таких размеров? Оказывается, на него действуют две силы. Под действием силы тяготения внешние слои звезды или планеты стремятся к центру. Сжатию препятствует другая сила: в звездах это внутреннее давление газа, в планетах — сила упругости. В обычных космических объектах эти силы уравновешены. Давление газа в звездах, как известно, зависит от температуры. Со временем термоядерное топливо выгорает, и температура, а следовательно и давление, уменьшаются. Сила тяготения превосходит по величине силу, препятствующую ей, и звезда сжимается.

При приближении размеров объекта к сфере Шварцшильда силы тяготения бесконечно нарастают, что приводит к катастрофическому его сжатию, называемому *гравитационным коллапсом*.

Эволюция звезд большой массы. Многочисленные наблюдения за молодыми скоплениями звезд, где продолжается рождение новых звезд, показывают, что они содержат огромное количество газопылевых комплексов. Поэтому вероятно, что звезды образуются путем гравитационной конденсации. Облако пыли и газа под действием гравитации сжимается. Вначале этого процесса облако прозрачно для инфракрасного излучения, его температура не меняется, и сжатие происходит ускоренно. Затем, в некоторый момент, изотермическое сжатие сменяется адиабатическим, облако вспыхивает и становится непрозрачным, его температура увеличивается. Так появляется протозвезда.

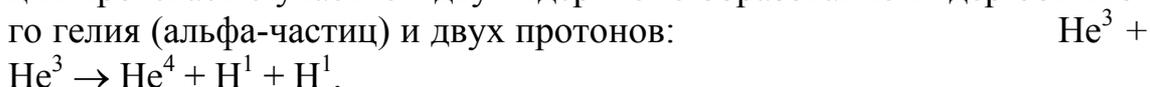
Освобожденная гравитационная энергия не может переноситься излучением (так как протозвезда непрозрачна). Внутри облака появляются вихревые движения, которые выносят тепло из внутренних более нагретых слоев во внешние и более холодные слои (конвективный перенос энергии). В результате дальнейшего сжатия температура протозвезды увеличивается и происходит полная ионизация газа, который уже прозрачен для излучения. Конвекция сменяется лучистым переносом. Чем больше масса первичного облака, тем раньше происходит смена механизмов переноса энергии.

Сжатие происходит до тех пор, пока температура протозвезды не достигнет значения порядка 10 млн К, достаточного для начала термоядерных реакций. Протозвезда становится звездой.

Термоядерные реакции начинаются с выгорания водорода в гелий — это так называемый протон-протонный цикл, состоящий из трех реакций. При взаимодействии двух протонов образуется ядро тяжелого водорода — дейтерия, позитрон и нейтрино:



Затем, при соединении дейтерия с протоном образуется ядро изотопа гелия: $D^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma$. Третья, последняя реакция протекает с участием двух ядер He^3 с образованием ядер обычного гелия (альфа-частиц) и двух протонов:



В массивных звездах водород горит быстрее, чем в легких. Так, например, у звезд с массой, равной 15 солнечным массам, водород выгорает «всего» за 10 млн лет. Для звезд не очень большой массы время выгорания может достигать 10 – 20 млрд лет.

С выгоранием водорода в звезде увеличивается содержание гелия, которое накапливается в ядре. Ядро окружает тонкий слой горящего водорода. Звезда начинает разбухать, и температура внешних слоев уменьшается. Вещество становится непрозрачным для излучения и лучистый тип переноса энергии сменяется конвективным.

С увеличением количества гелия в ядре оно начинает сжиматься, за счет чего температура его увеличивается. При достижении ее порядка 20 млн К начинается тройной альфа-процесс, в результате которого образуется углерод. При этом радиус звезды увеличивается (так как расширяются внешние слои), и она превращается в желтый или красный сверхгигант. По мере выгорания гелия в ядре звезды увеличивается количество углерода, азота и кислорода. Дальнейшие термоядерные реакции, в которых образуется все более тяжелые элементы вплоть до ядер железа, могут протекать только в достаточно массивных звездах. В звездах с массой, близкой к солнечной, в конце их эволюции будут протекать реакции с участием гелия, а ядро станет углеродно-азотистым. В таких звездах сжатие ядра останавливается квантовыми силами, возникающими между достаточно тесно упакованными электронами звездной плазмы. Так звезда становится *белым карликом*, а со временем, когда полностью остынет, — *черным карликом*.

В массивной звезде железное ядро окружено оболочкой, в которой по мере приближения к периферии увеличивается количество легких элементов: углерода, кислорода, гелия, а во внешних слоях и ионизированного водорода. Катастрофическое сжатие приводит к появлению сильной ударной волны. Повышение температуры перед фронтом волны приводит к сгоранию легких элементов, и звезда вспыхивает

ет как сверхновая. За счет поглощения излучения ее оболочка выбрасывается в межзвездное пространство.

Если масса звезды больше $1,2$, но меньше 2 масс Солнца, то катастрофическое сжатие останавливается квантовыми силами, обусловленными давлением нейтронного газа. Сгорание легких элементов оболочки приводит к взрыву настолько сильному, что часть вещества разбрасывается в окружающее пространство. Такая звезда называется *нейтронной*. Звезды с массой более 2 масс Солнца сжимаются так быстро, что не успевают сбросить оболочку. Давление вырожденных нейтронов не сможет предотвратить дальнейшее сжатие ядра, начнется гравитационный коллапс, который неизбежно приводит к образованию черной дыры.

10.2. Строение и свойства черной дыры

Общая теория относительности предсказывает, что в мощном гравитационном поле время замедляется. При приближении к черной дыре все процессы протекают медленнее, а на расстоянии гравитационного радиуса как бы замирают для внешнего наблюдателя. Этот наблюдатель, наблюдая, например, за ракетой, приближающейся к черной дыре, увидит, как она будет постепенно тормозиться и приблизится к сфере Шварцшильда за бесконечно долгое время. Для космонавта, находящегося в ракете, наоборот, падение произойдет за ничтожно малое время (для массы Солнца падение будет длиться всего сотысячную секунды).

Тот факт, что черные дыры невидимы, связан с совместным действием эффектов Доплера и замедления времени. Действительно, для далекого наблюдателя колебания атомов, излучающих свет, происходят замедленно, и длина волны излучения смещается в длинноволновую область (в сторону красного цвета). С другой стороны, при сжатии звезды излучающая поверхность удаляется от наблюдателя, это также приводит к покраснению света. Таким образом, с приближением размеров звезды к сфере Шварцшильда свет от черной дыры доходит до нас все более покрасневшим и все с меньшей интенсивностью, пока, наконец, вовсе не потухнет. При этом для наблюдателя ее «гашение» происходит практически мгновенно.

Выше мы уже говорили, что сильное гравитационное поле влияет на свет: меняется его частота и траектория. Существует критическая окружность с радиусом, равным полутора гравитационным. Если луч света приближается к черной дыре на расстояние больше, чем критический радиус, то траектория его искривляется и возрастает частота,

причем чем ближе к черной дыре, тем сильнее проявляются эти эффекты. Если луч вплотную подходит к критической окружности, то он неограниченно навивается на нее, здесь движение луча неустойчиво: при малейшем возмущении он может либо улететь в космическое пространство, либо может быть захвачен звездой. И, наконец, если луч приближается на расстояние меньшее, чем гравитационный радиус, то он неизбежно будет гравитационно захвачен черной дырой.

Теперь рассмотрим движение тела в гравитационном поле черной дыры. Вдали от нее, где справедлива механика Ньютона, траекторией тела будет либо парабола, либо гипербола.

При большем сближении законы классической механики становятся непригодными. Это уже область общей теории относительности. И здесь появляется масса новых интересных эффектов. Давайте рассмотрим часть из них.

Пусть тело движется вблизи черной дыры, но не приближается к критическому радиусу, равному двум гравитационным. Скорость его движения меньше, чем вторая космическая скорость (напомним, вторая космическая скорость — это скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно покинуло планету). Тогда траектория тела лежит в одной плоскости, и ее вид представляет собой медленно поворачивающийся в пространстве эллипс. Аналогичный поворот орбиты имеет Меркурий.

Вблизи черной дыры, если тело подходит на расстояние, близкое к двум гравитационным радиусам, то оно обернется вокруг черной дыры несколько раз и снова улетит в космос. Тело, проходящее на расстоянии меньше, чем критический радиус неизбежно будет захвачено черной дырой. Наконец, если расстояние равно двум гравитационным радиусам, то тело долгое время будет вращаться вокруг черной дыры. В течение этого времени, излучая гравитационные волны, оно будет тратить свою энергию, радиус орбиты уменьшится и произойдет гравитационный захват. Заметим, что эти эффекты предсказываются в рамках ОТО, в классической механике гравитационный захват имеет место только при лобовом столкновении, в любом другом случае траекторией является либо парабола, либо гипербола.

Сделаем небольшое отступление, чтобы рассказать об *гравитационных волнах*. Для лучшего понимания этого явления проведем аналогию с хорошо известными электромагнитными волнами. Источник света излучает волну, которая представляет собой быстроменяющееся и распространяющееся в пространстве электромагнитное поле. Аналогично и гравитационная волна является меняющимся гравитационным полем, которое «оторвалось» от своего источника и перемещается в пространстве со скоростью света.

Для обнаружения электромагнитного поля достаточно взять один заряженный шарик; падающая волна приведет его в колебательное движение. Для того чтобы обнаружить гравитационную волну, необходимо взять два шарика. Тогда в поле падающей на них волны они будут то сближаться, то удаляться. Если ограничиться одним шариком, то мы ничего не увидим. Действительно, в гравитационном поле волны он будет находиться в состоянии невесомости и не чувствует сил тяготения. Два шарика, находясь в разных фазах волны, двигаются по-разному, и по их относительному движению можно обнаружить гравитационную волну.

Вернемся к черным дырам. Американский физик-теоретик Д. Уилер однажды сказал, что они не имеют «волос». Поводом к этому послужила безликость черных дыр — они все имеют сферическую форму, отличаются только размерами, но если массы равны, то и этого отличия нет. Кроме того, после гравитационного коллапса исчезают все физические поля, которые были присущи «живой» звезде. Остаются только гравитационное поле и электрическое, если такое имелось. Естественно задать вопрос, куда же все это девается? Оказывается, что все поля и все отличия от сферичности излучаются в виде гравитационных волн во время катастрофического сжатия звезды.

В завершение данного раздела расскажем еще об одном интересном открытии, сделанном английским физиком-теоретиком С. Хоукингом.

Казалось бы, поскольку черные дыры притягивают к себе окружающее вещество, а с их поверхности ничто не может оторваться, то они должны разрастаться и существовать вечно. Однако С. Хоукинг в 1974 г. показал, что это не так. Оказывается, вблизи черных дыр существует квантовый процесс, в результате которого рождаются частицы, что приводит к уменьшению массы и размера черной дыры. В вакууме рождается так называемая виртуальная пара частица-античастица (более подробно об этом см. семинар 11). В гравитационном поле черной дыры может сложиться такая ситуация, что одна частица окажется под горизонтом событий, другая — над ним. Как же такое может случиться? Ведь для того, чтобы частица оказалась над горизонтом событий она должна иметь скорость, превышающую скорость света.

Дело в том, что в квантовой механике известен *туннельный эффект*, когда частица может пройти сквозь потенциальный барьер, даже если ее энергия меньше энергии барьера. Так и здесь, частица просачивается сквозь барьер, попадает в область над горизонтом и улетает в космическое пространство, унося с собой часть энергии черной дыры, а значит, и часть ее массы. Правда, этот процесс крайне ничтожен. Согласно расчетам Хоукинга, излучение частиц эквивалентно из-

лучению, нагретому до небольшой температуры телу. Например, излучение черной дыры с массой в одну солнечную соответствует температуре, равной одной десятиллионной градуса. С увеличением массы соответствующая температура излучения уменьшается, и, наоборот, с уменьшением массы в процессе испарения температура нарастает, а, следовательно, интенсивность испарения увеличивается. Когда температура излучения достигнет 10^{17} К, испарение превращается в взрыв. Остатки массы излучаются за десятые доли секунды. Черная дыра исчезает. Однако этот процесс длится довольно долго. Так, черная дыра с массой, равной одной солнечной, исчезнет в течение 10^{66} лет.

10.3. Поиски черных дыр

До начала 60-х годов прошлого столетия никто из астрономов серьезно не воспринимал и не пытался искать ни нейтронные звезды, ни черные дыры. Однако открытие в 1967 году пульсаров — нейтронных звезд — изменило ситуацию. Теперь началась настоящая охота за черными дырами. Но оказалось, что обнаружить их не так-то просто.

Казалось бы, в мощном гравитационном поле черной дыры проходящий мимо луч света должен отклоняться, но для того чтобы заметить это, необходимо, чтобы взаимное расположение источника, черной дыры и наблюдателя было подобрано специальным образом. Нечего надеяться на случайную реализацию такой ситуации.

В 1964 г. советские физики О. Гусейнов и Я. Зельдович предложили искать черные дыры в системах двойных звезд, которые должны вращаться вокруг общего центра масс. Поскольку черные дыры не светятся, то видимая звезда будет вращаться вокруг «ничего». Однако здесь может случиться такая ситуация, что излучение одной компоненты затмевает свет другой и только поэтому последняя не видна. Чтобы обойти эту проблему, было предложено искать потухшие звезды в спектрально-двойных системах, где масса невидимого компонента больше массы видимого. Тогда заведомо известно, что невидимая звезда — потухшая; в противном случае она светила бы ярче. Кроме того, масса «мертвой» звезды должна быть больше двух солнечных масс, иначе она могла оказаться белым или черным карликом, или нейтронной звездой.

Следуя этим указаниям, астрономы предприняли попытки найти черные дыры. Однако во всех обнаруженных с такими свойствами двойных звездах невидимость одного из компонент удалось объяснить, не прибегая к черным дырам.

Необходимо было найти такое явление, которое было присуще только черным дырам, чтобы исследуемый объект нельзя было интерпретировать по-другому. Такое явление было найдено: если черная дыра находится в газопылевой туманности, то газ будет падать на ее поверхность. Межзвездный газ представляет собой плазму. Движение заряженных частиц в процессе падения является, по сути, током, который создает магнитное поле. Энергия магнитного поля переходит в тепло. Нагретый газ начинает светиться. Это излучение мог бы обнаружить наблюдатель, но здесь опять проблема: в космическом пространстве плотность газа крайне мала, а значит, светимость газа, падающего на черную дыру также мала. И здесь снова на выручку пришли спектрально-двойные системы. Оказывается, если «напарницей» черной дыры в такой системе является звезда-гигант, то газ из нормальной звезды под действием сильного гравитационного поля перетекает к черной дыре. Из-за наличия орбитального движения газ закручивается и образует вокруг нее диск. Вследствие трения частицы нагреваются до температуры 10^7 К и испускают рентгеновские лучи.

Таким образом, черные дыры следует искать по рентгеновскому излучению среди двойных звезд, не являющихся пульсарами. Сейчас кандидатами в черные дыры являются Лебедь X-1, Скорпион X-1, Стрелец А и др. Почему только кандидатами? Потому, что астрономы проявляют осмотрительность, и пока не будет найдено дополнительно независимое доказательство, подтверждающее, что это действительно черные дыры, они так и останутся кандидатами.

11

От архаических космогонических мифов к теориям всего сущего

Издавна человек стремился познать и понять окружающий его физический мир. На протяжении долгой истории этого познания он всегда верил, что окончательное решение будет законченным и лаконичным в своих исходных принципах.

А. Салам

11.1. Виды силовых взаимодействий

Гравитационное взаимодействие — сила, движущая мирами, доминирует при взаимодействии массивных тел, когда уравновешены электрические и другие свойства частиц, составляющих тела. В частности, она господствует в космических масштабах, например, в движении планет Солнечной системы. В микромире гравитацией можно пренебречь по сравнению с остальными видами взаимодействий.

Если расстояние между двумя массивными телами много больше их размеров, то сила гравитационного притяжения между ними определяется по формуле

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}, \quad (11.1)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ — гравитационная постоянная, m_1 и m_2 — массы тел, R — расстояние между телами. Закон всемирного тяготения (11.1) был открыт великим английским физиком Исааком Ньютоном (1643—1727) в 1682 г. Следует заметить, что во времена Ньютона закон всемирного тяготения был подтвержден только астрономиче-

скими наблюдениями за движением планет Солнечной системы и их спутников. Экспериментальное доказательство справедливости этого закона для земных тел впервые было проведено другим английским физиком Генри Кавендишем (1731 — 1810) в 1798 г. Он же впервые численно определил гравитационную постоянную G .

Сам И. Ньютон ограничился только констатацией факта существования гравитационных сил и их количественным описанием. От какой-либо интерпретации их физической природы он отказался, аргументируя это тем, что кроме фантастических объяснений ничего нельзя было сказать в его время. После него было сделано много попыток дать наглядное объяснение гравитационных сил. Эти попытки в настоящее время не имеют ни научного, ни даже исторического интереса. Современная теория тяготения базируется на общей теории относительности А. Эйнштейна. Но в ней идет речь о новом способе описания гравитации — взаимодействие здесь осуществляется полями. Механизм их действия не представляется наглядно, поля лишь наделяются способностью к объективному существованию и передаче взаимодействий посредством особых частиц — гравитонов. Гравитон движется со скоростью света и имеет нулевую массу покоя, поэтому гравитационное взаимодействие дальнедействующее.

Электромагнитное взаимодействие лежит в основе большинства процессов окружающего нас мира, благодаря ему материя связана в вещество. Оно проявляется при взаимодействии заряженных частиц. В случае двух точечных зарядов q_1 и q_2 сила их взаимодействия F определяется выражением

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (11.2)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — диэлектрическая постоянная. Закон (11.2) был экспериментально установлен французским физиком Ш. О. Кулоном (1736—1806) в 1785 г. и носит его имя. Однако, справедливости ради, отметим, что впервые этот закон был открыт англичанином Г. Кавендишем в 1772 году, т. е. на 13 лет раньше. Но поскольку он не опубликовал своей работы, то потерял приоритет на открытие. Его рукопись, содержащая результаты опытов по проверке выражения (8.2), была найдена в архивах только в 60-х годах XIX в.

Для электромагнитного взаимодействия справедлив принцип суперпозиции: в системе, состоящей из n точечных зарядов, сила, действующая на любой заряд со стороны остальных, равна сумме сил, дей-

ствующих на него со стороны каждого из зарядов при отсутствии других. Математически это утверждение можно записать следующим образом:

$$F = \sum_{i=2}^n F_{1i}, \quad (11.3)$$

где F_{1i} — сила взаимодействия зарядов q_1 и q_i . Следует отметить, что принцип суперпозиции выполняется лишь для не слишком сильных электрических полей. В сильных полях начинают сказываться нелинейные эффекты, и формула (11.3) перестает выполняться.

По современным представлениям электромагнитное взаимодействие обусловлено обменом между заряженными телами особыми частицами — фотонами. Фотон представляет собой квант колебания электромагнитного поля, распространяющийся со скоростью света, и имеет нулевую массу покоя. С последним связан тот факт, что электромагнитные взаимодействия являются дальнедействующими.

Слабые взаимодействия. Слабым образом взаимодействуют все частицы, кроме фотонов и гипотетических гравитонов. Слабое взаимодействие проявляется при β – распаде, который был обнаружен

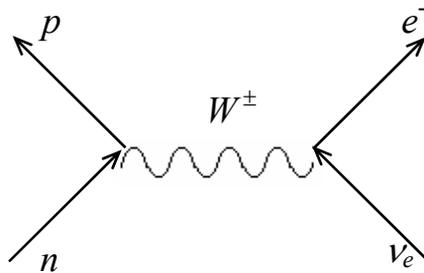


Рис 11.1. Фейнмановская диаграмма, изображающая распад нейтрона

А.А. Беккерелем еще в 1896 г., однако осознание факта наличия нового вида взаимодействия пришло гораздо позже, лишь в начале 30-х годов XX в. Э. Ферми построил первую теорию слабых взаимодействий.

В 1967 — 1968 гг. А. Саламом и С. Вайнбергом была предложена модель, в которой слабое взаимодействие осуществляется посредством обмена между частицами заряженных W^\pm или нейтральных Z^0 векторных бозонов. В

80-х годах они были открыты экспериментально.

Векторные бозоны — массивные частицы, масса покоя которых в энергетических единицах приблизительно равна 100 ГэВ ($E = mc^2$), поэтому слабое взаимодействие обладает малым радиусом действия. Действительно, для того чтобы частицы взаимодействовали слабым образом, они должны иметь энергию, необходимую для испускания бозона и равную 100 ГэВ. Откуда взяться этой энергии? Оказывается, согласно представлениям квантовой механики, у частицы на короткое

время может возникнуть энергия как бы «ниоткуда». Этот факт следует из соотношения неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}, \quad (11.4)$$

где ΔE — неопределенность энергии частицы, Δt — неопределенность времени ее существования в состоянии с энергией E , \hbar — постоянная Планка.

Эта энергия должна быть такой, что за время Δt ее нельзя измерить, иначе нарушается закон сохранения энергии. Из соотношения (11.4) следует:

$$\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{mc^2}. \quad (11.5)$$

Из (11.5) получаем $\Delta t \approx 10^{-26}$ с. За это время бозон, двигаясь со скоростью света, пройдет не больше $3 \cdot 10^{-14}$ м. Это значение и определяет радиус слабого взаимодействия.

Сильные взаимодействия ответственны за связь нуклонов в ядре. Протоны, будучи заряжены положительно, должны были бы разлететься под действием кулоновских сил, и ядра не могли бы существовать. Благодаря сильному взаимодействию, внутри звезд выделяется большая часть энергии при образовании ядер гелия из водорода.

На существование сильного взаимодействие навело открытие в 1932 г. Д.Д. Иваненко и независимо от него В. Гейзенбергом протон-нейтронного строения ядра. В 1935 г. молодой японский ученый Хидэки Юкава сделал предположение о том, что переносчиком ядерных сил является некоторая промежуточная частица с отличной от нуля массой покоя. В 1964 г. Г. Цвейг и М. Гелл-Манн независимо друг от друга высказали гипотезу о кварковой структуре адронов (сильно взаимодействующих частиц). Кварки могут быть трех цветов (см. семинар 9): красный, синий, желтый. Согласно современным представлениям, кварки, из которых состоят нуклоны, взаимодействуют посредством обмена глюонами. Сами глюоны также переносят цветовой заряд и имеют нулевую массу покоя, но, несмотря на это, сильное взаимодействие является близкодействующим ($\sim 10^{-15}$ м).

Из перечисленных выше взаимодействий ядерное — самое сильное, электромагнитное слабее него в 10^2 раз, слабое — в 10^{14} раз, и на-

конец, гравитационное — самое слабое взаимодействие — в 10^{39} раз слабее сильного.

11.2. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействий

Электромагнитное взаимодействие характеризуется безразмерной величиной

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137},$$

называемой постоянной тонкой структуры.

Существенной разницей между электромагнитным и слабым взаимодействиями является то, что последнее происходит лишь на малых расстояниях. Это, как уже известно, связано с большой массой частицы-переносчика — векторного бозона. Если взаимодействующим частицам сообщить энергию 100 ГэВ, увеличив, например, температуру, то бозоны рождались бы так же эффективно, как и фотоны. В этом случае обмен бозонами происходил бы столь же интенсивно, как и обмен фотонами.

Итак, если температура превышает до 10^{15} К ($E > 100$ ГэВ), то W^\pm , Z^0 и фотоны имеют нулевую массу покоя и рождаются с одинаковой интенсивностью, а различия между электромагнитным и слабым взаимодействиями исчезают — существует единое *электрослабое взаимодействие*.

Переносчиками объединенного взаимодействия являются частицы или поля Хиггса. Если бы их не было, то симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействиями сохранилась бы и при низких температурах.

Теперь проследим, что же происходит с понижением температуры? При $T > 10^{15}$ К поля Хиггса существуют в виде массивных частиц. Зависимость потенциальной энергии хиггсова поля E от величины поля ϕ имеет симметричный вид (рис.

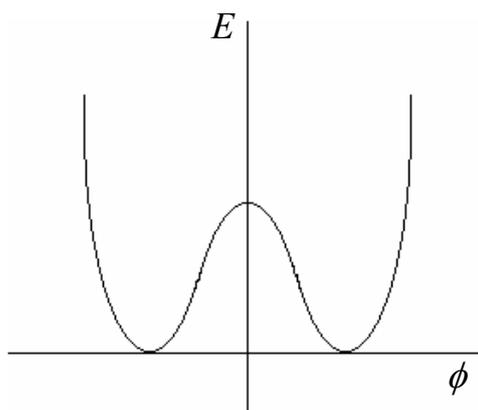


Рис 11.2. Зависимость потенциальной энергии хиггсова поля от величины поля

хиггсова поля E от величины поля ϕ имеет симметричный вид (рис.

11.2). С уменьшением температуры поля претерпевают фазовый переход и конденсируются. При этом поле занимает низшее энергетическое состояние, которое несимметрично — оно имеет две непохожие составляющие. Одной из них соответствует массивные частицы: W^+ , W^- , Z^0 бозоны; другой — частица нулевой массы, фотон.

11.3. Объединение электрослабого и сильного взаимодействия

Перед тем как перейти непосредственно к модели объединения взаимодействий, рассмотрим такое понятие, как *физический вакуум*. Прежде всего, следует отличать технический или физико-технический вакуум от чисто физического. В технике под вакуумом понимается газ, разреженный до такой степени, что длина свободного пробега молекул больше размеров сосуда, в который помещен газ. Самый совершенный вакуум находится в межзвездном пространстве, где на 1 см^3 приходится около одной частицы. Казалось бы, если убрать все частицы, все поля, то ничего не останется. Однако из соотношения неопределенностей Гейзенберга следует, что на короткий интервал времени может «ниоткуда» появиться энергия, равная (11.4). Эта энергия обуславливает рождение пары электрон-позитрон.

Механизм рождения электрона и позитрона заключается в следующем. Энергию электрона будем полагать положительной, а позитрона — отрицательной. Представим некоторый объем, заполненный только позитронами. Если в этот объем попадает электрон, он занимает свободный отрицательный энергетический уровень (рис.11.3). Такой процесс называется *аннигиляцией*.

При этом выделяется энергия, равная удвоенной первоначальной энергии электрона: с прежнего уровня до нуля, а затем до отрицательного уровня позитрона. Если все отрицательные уровни заняты, т.е. нет свободных позитронов, то вновь прибывший электрон нельзя посадить ни на один из отрицательных уровней, этому мешает принцип Паули: в одном энергетическом состоянии может находиться только один электрон. Таким образом, элек-

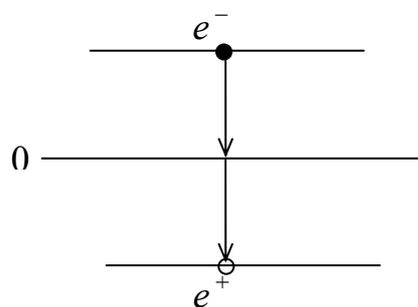


Рис 11.3. Аннигиляция электрона и позитрона

троны, которые мы видим, летают в пространстве, не находя пустого отрицательного уровня.

Для того чтобы поднять электрон на положительный уровень, т. е. чтобы образовалась электрон-позитронная пара, необходимо затратить энергию, равную 1 МэВ. Если энергия поступает извне, то, говорят, образуется «реальная» пара. В нашем случае энергия появляется в результате квантовых флуктуаций, и частицы рождаются виртуально. Разлететься и остаться они не могут, а существуют в течение короткого времени, такого, чтобы их нельзя было обнаружить, иначе нарушаются законы сохранения энергии и импульса. Однако говорить, что рождение виртуальных частиц — процесс нереальный, было бы неправильным, о чем говорят множество экспериментальных данных.

Рассмотрим следующий пример для электромагнитных сил. Поместим пробную заряженную частицу, например, позитрон в вакуум. Из-за квантовых флуктуаций будут рождаться электрон-позитронные пары. Вокруг нашего пробного заряда появится экран из электронов. Этот процесс называется *поляризацией вакуума*. Если теперь другой заряд (реальный) подносить к позитрону, то с уменьшением расстояния экранировка будет ослабевать, а взаимодействие пробных зарядов увеличиваться.

Теперь рассмотрим поведение кварка, помещенного в вакуум. Рождение виртуальных пар кварков и антикварков приведет к экранированию первичного кварка. В этом случае переносчиками взаимодействия являются глюоны, которые несут цветной заряд и поэтому сами порождают новые виртуальные глюоны. Такой процесс ведет уже к «размазыванию» заряда, а не к экранированию. Передвигая другую пробную частицу, несущую цветной заряд, к облаку размазанного цветного заряда, мы увидим следующее: по мере приближения к центру облака цветовой заряд уменьшается, интенсивность взаимодействия ослабевает, и, наконец, на достаточно малых расстояниях от центра частицы практически не взаимодействуют, т. е. ведут себя как свободные.

Итак, мы имеем следующую картину. С уменьшением расстояния между частицами электромагнитное взаимодействие между ними увеличивается, а сильное уменьшается. Следовательно, можно найти такое расстояние, на котором оба взаимодействия становятся одинаково эффективными и теряют свою индивидуальность. Согласно теоретическим расчетам это происходит при $r = 10^{-30}$ м. Используя формулу

$$E = \frac{2 \cdot 10^{-14}}{r},$$

найдем оценку для энергии $E \sim 10^{14}$ ГэВ. Таким образом, при энергиях $E > 10^{14}$ ГэВ все три взаимодействия — электромагнитное, слабое и сильное — становятся неотличимыми, и существует единое *универсальное взаимодействие*.

Переносчиками универсального взаимодействия являются массивные X - и Y - бозоны. При $E > 10^{14}$ ГэВ эти частицы не имеют массы покоя. Здесь существует еще один набор хиггсовых частиц и полей, отличный от случая, рассмотренного выше. С уменьшением температуры срабатывает уже знакомый нам механизм. При $E \approx 10^{14}$ ГэВ образуется конденсат хиггсовых частиц, X - и Y - бозоны приобретают массу, что приводит к расщеплению взаимодействий на сильное и электрослабое.

При энергиях около 10^{19} ГэВ ($T = 10^{32}$ К) к ним, вероятно, присоединяется и гравитационное взаимодействие.

Проверить теорию *Великого объединения* взаимодействий не представляется возможным, поскольку ни на одном, даже самом мощном, ускорителе нельзя «разогнать» частицы до энергий, близких к 10^{14} ГэВ. О 10^{19} ГэВ говорить вообще не приходится, так как примерно такой энергией обладает вся Вселенная. Но на ранних стадиях эволюции Вселенной, при $t < 10^{-43}$ с, температура была настолько высокой, что все фундаментальные силы природы — гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые — были объединены и представляли собой единую «суперсилу». По мере расширения Вселенной температура стала уменьшаться, и взаимодействия стали отделяться. Сначала, при $T = 10^{32}$ К, отделилось гравитационное, затем, при $T \approx 10^{27}$ К, — сильное взаимодействие, а при $T < 10^{15}$ К отделилось и слабое взаимодействие от электромагнитного.

12

Симметрия в природе

Симметрия — в широком или узком смысле в зависимости от того, как вы определите значение этого понятия, — является той идеей, посредством которой человек на протяжении веков пытался постичь и создать порядок, красоту и совершенство.

Г. Вейль

12.1. Симметрия и ее описание

Бесформенное первородное состояние Вселенной древние греки обозначали понятием *хаос* (*Chaos*). Упорядоченную, прибранную или украшенную Вселенную они называли *космосом* (*Kosmos* от греч. *kosmetike* — искусство украшать).

Это упорядочение количественно может быть выражено в *пропорциях* (от лат. *pro* — на и *portia* — часть, доля), т.е. в числовых соотношениях, показывающих, какую долю составляет та или иная часть объекта от целого или каково соотношение между различными частями целого. Если эти части образуют какие-либо эстетически приятные соотношения, то говорят о *симметрии* (от греч. *symmetria* — соразмерность) тела.

В современном понимании **симметрия** — это **инвариантность** (неизменность) **структуры объекта относительно каких-либо преобразований** (поворотов, отражений, переносов и т.п.).

Различают следующие *элементы симметрии*:

1. *Плоскости симметрии* (P ; m) — это такие плоскости, которые делят фигуру на две зеркально равные части. Здесь и ниже первый символ в скобках представляет обозначение элемента симметрии по Шенфлису (немецкий математик и кристаллограф,

1853 — 1928), а второй — по международной символике (от англ. *mirror* — зеркало).

2. *Поворотные оси n -го порядка* ($L_n; n, n = 1, 2, \dots$) — оси, при вращении вокруг которых фигура совмещается сама с собой (самосовмещается) n раз за один полный оборот.
3. *Инверсионные оси n -го порядка* ($L_{in}; \bar{n} \bar{n} = \bar{1}, \bar{2}, \dots$) — оси, при вращении вокруг которых фигура самосовмещается при повороте на угол $2\pi / (2n)$ с последующим отражением в плоскости, перпендикулярной данной оси.
4. *Центр симметрии* ($C; \bar{1}$) — особая точка внутри фигуры, характеризующаяся тем, что любая проведенная через эту точку прямая по обе стороны от нее и на равных расстояниях встречает одинаковые точки фигуры. Отметим, что центр симметрии является инверсионной осью первого порядка (в этом легко убедиться соответствующим геометрическим построением).
5. *Трансляция* ($T; t$) — перенос фигуры параллельно самой себе на некоторое расстояние в заданном направлении.
6. *Плоскости скользящего отражения* ($P_i; t_i$) — совокупность плоскости симметрии и трансляции, действующих совместно.
7. *Винтовые оси* ($L_i; n_i, n = 1, 2, \dots$) — совокупность поворотной оси и параллельной ей трансляции, действующих совместно. Винтовые оси могут быть правыми и левыми, в зависимости от направления закручивания фигуры при трансляции.

Первые четыре элемента симметрии определяют *точечную симметрию* фигур. При таких операциях в покое остается хотя бы одна точка фигуры. Остальные элементы относятся к *пространственной симметрии*.

На рис. 12.1, в качестве примера, приведены элементы точечной симметрии куба: 9 плоскостей симметрии, 3 поворотные оси 4-го порядка, 4 поворотные оси 3-го порядка, 6 поворотных осей 2-го порядка и центр симметрии. **Набор всех элементов симметрии тела (для куба это $3L_4 4L_3 6L_2 9P C$) образует его группу симметрии.**

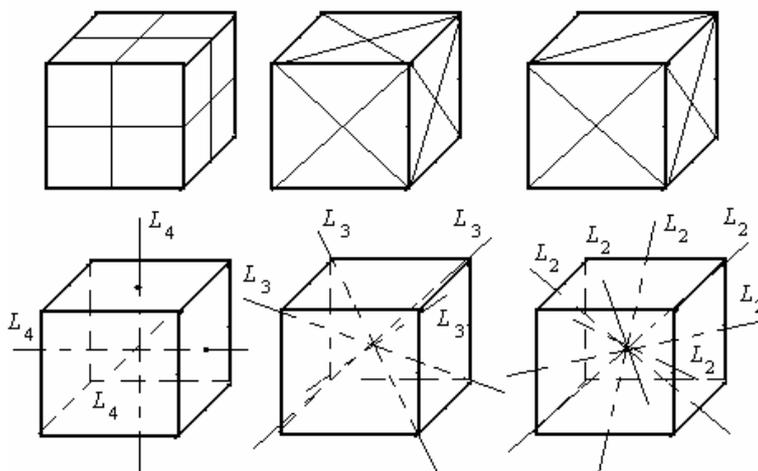


Рис. 12.1. Плоскости симметрии (вверху) и поворотные оси (внизу) куба. Кроме того, куб имеет центр симметрии — центр куба

Рис. 12.2 позволяет представить объект, обладающий инверсионной осью, например, некоторую молекулу, атомы которой лежат в вершинах двух параллельных равносторонних треугольников, но атомы верхнего слоя повернуты на угол 60° относительно атомов нижнего слоя вокруг оси, проходящей через центры обоих треугольников.

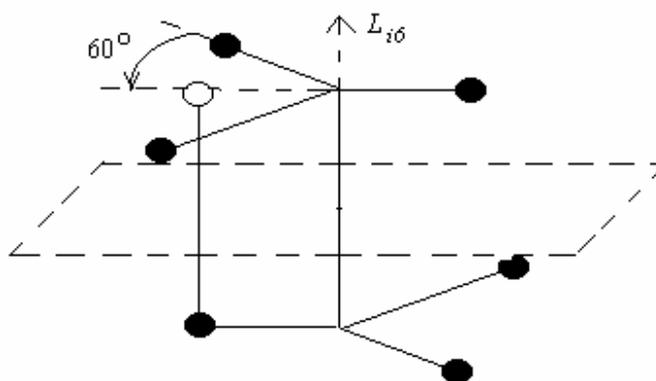


Рис. 12.2. Представление об инверсионной оси 6-го порядка

Большим количеством всевозможных элементов симметрии обладают кристаллы, благодаря периодичности расположения в них атомов. Как показал (путем перебора различных вариантов) русский

военный инженер и кристаллограф, академик А. В. Гадолин * (1867), существуют 32 точечные группы симметрии кристаллов (32 класса симметрии). Выдающийся русский кристаллограф Е. С. Федоров открыл 230 пространственных групп симметрии кристаллов (1890). Независимо от него этот же результат был получен А. Шенфлисом (1891) на основе математической теории групп.

12.2. Предельные группы симметрии

Французский физик П. Кюри (1859—1906) показал, что среди групп симметрии, описывающих физические свойства тел, имеется 7 групп, содержащих поворотные оси бесконечного порядка. Эти так называемые *предельные группы симметрии* легко запомнить по геометрическим фигурам (рис. 12.3), имеющим соответствующие элементы симметрии.

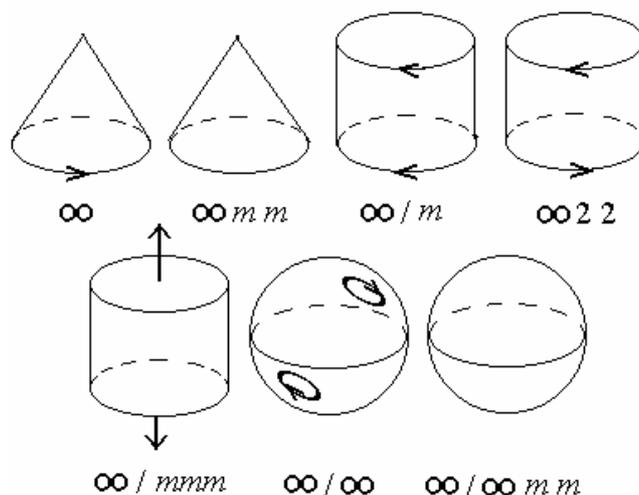


Рис. 12.3. Геометрические образы предельных групп симметрии. Здесь ∞ — поворотная ось бесконечного порядка, m — плоскость симметрии, 2 — поворотная ось второго порядка. Запись ∞mm , например, обозначает наличие поворотной оси бесконечного порядка и бесконечного числа проходящих через нее плоскостей симметрии

* Недавно обнаружилось, что еще в 1826 г. 32 вида конечной симметрии кристаллов вывел проф. М. Л Франкенштейн из университета г. Бреславль (ныне г. Вроцлав, Польша).

В соответствии с этим симметрия однородного электрического поля характеризуется группой симметрии конуса ∞/m , однородного магнитного поля — группой симметрии вращающегося цилиндра ∞/m , деформации одноосного растяжения (сжатия) — группой симметрии растянутого (сжатого) цилиндра ∞/mmm , теплового расширения — группой симметрии неподвижного шара $\infty/\infty mm$.

Представления о предельных группах симметрии понадобятся нам в дальнейшем, в частности, при обсуждении вопроса о симметрии самоорганизующихся диссипативных структур.

12.3. Принципы симметрии

В кристаллофизике известны два фундаментальных симметричных постулата, называемых обычно *принципами Кюри* и *Неймана*, которые в обобщенной форме могут быть применены к любым системам, описываемым какой-либо группой симметрии.

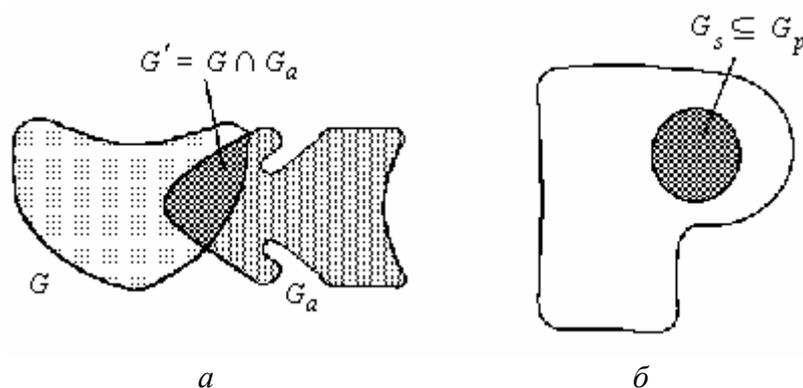


Рис. 12.4. Геометрическая интерпретация принципов Кюри (а) и Неймана (б). Знак \cap обозначает пересечение множеств, а знак \subset — включение одного множества (G_s) в другое (G_p). В частном случае включение может распространяться на

все множество, тогда следует использовать знак равенства

По принципу Кюри (П. Кюри, 1894) группа симметрии G' возмущенной системы равна пересечению группы симметрии G исходной системы и группы симметрии G_a воздействия:

$$G' = G \cap G_a. \quad (12.1)$$

Иными словами, в результате воздействия в системе сохраняются лишь элементы симметрии, общие с элементами симметрии воздействия. Принципу Кюри можно придать наглядную геометрическую интерпретацию, рассматривая группы симметрии как некоторые множества (рис. 12.4, а).

В соответствии с принципом Неймана (Ф. Нейман, 1885) группа симметрии G_p физического свойства должна включать в себя группу симметрии G_s системы (структуры), обладающей этим свойством:

$$G_s \subseteq G_p. \quad (12.2)$$

Этот принцип также можно проиллюстрировать геометрически (рис. 12.4, б).

Принцип Кюри, в частности, объясняет, почему в открытых системах возможно понижение энтропии и упорядочение структуры. Действительно, внешнее воздействие, согласно (12.1), понижает симметрию системы, оставляя в ней лишь элементы симметрии, общие с симметрией воздействия.

12.4. Симметрия в природе

В микромире симметрия частиц определяется формой атомных или молекулярных орбиталей (соответственно АО или МО). Орбиталью называется геометрическое место точек, в которых может находиться валентный электрон атома, или пространственное распределение электронной плотности вероятности, описываемой одноэлектронной волновой функцией такого электрона. На рис. 12.5 показаны характерные АО для атома водорода.

Видно, что s – орбиталь обладает симметрией шара $\infty/\infty \text{ } m\bar{m}$. Переход атома в возбужденное $2p$ – состояние сопровождается в соответствии с принципом Кюри понижением его симметрии: p – орбитали свойственна симметрия конуса $\infty \text{ } m\bar{m}$. Направление оси конуса зависит от ориентации внешнего поля. Дальнейшее возбуждение атома еще больше понижает симметрию. По принципу Неймана симметрия d – орбиталей описывается группой $2m\bar{m}$, являющейся подгруппой группы $\infty \text{ } m\bar{m}$.

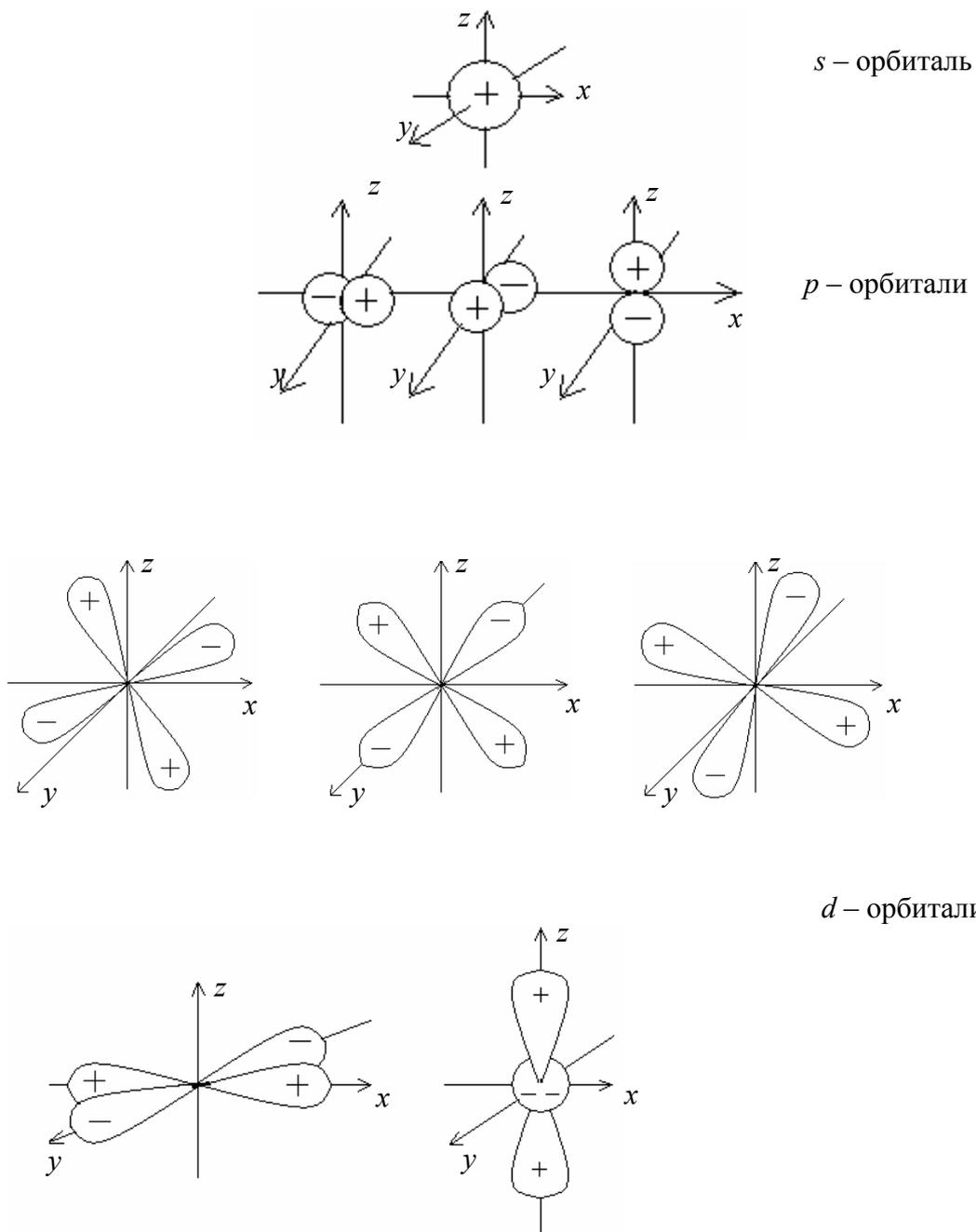


Рис. 12.5. АО для атома водорода. Знаки «плюс» и «минус» указывают знаки волновой функции

Молекулярные орбитали являются линейной комбинацией атомных орбиталей. На рис. 12.6 изображена МО молекулы этилена.

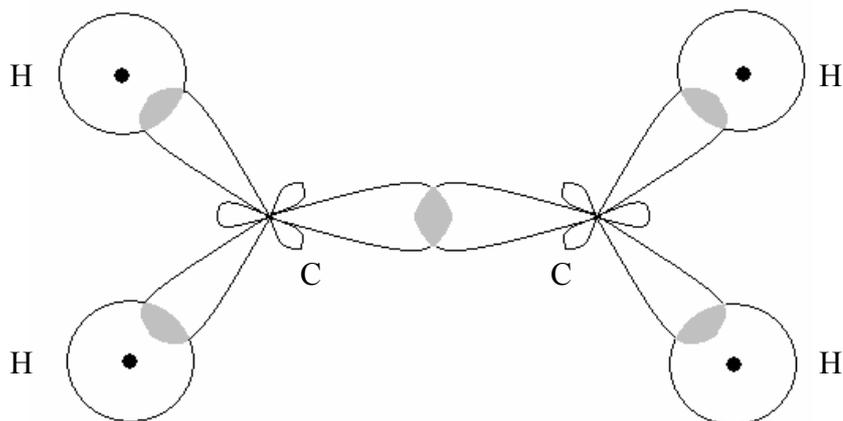


Рис. 12.6. МО этилена (C_2H_4). Области перекрытия АО атомов водорода и углерода соответствуют четырем σ – связям, обладающим осевой симметрией, и одной π – связи, имеющей плоскость симметрии

Молекула C_2H_4 имеет поворотную ось 2-го порядка, две проходящие через нее плоскости симметрии, плоскость симметрии, перпендикулярную этой оси, и центр симметрии.

В макром мире, представленном в виде живой и неживой природы, симметрия встречается очень широко. Богатым набором всевозможных элементов симметрии обладают кристаллы. На рис. 12.7 представлены некоторые формы кристалла NaCl, выращенные из водного раствора при различных условиях. Все они получаются путем комбинации простых форм кубического кристалла NaCl, каковыми являются сам куб (гексаэдр) и изоморфный ему по симметрии октаэдр.

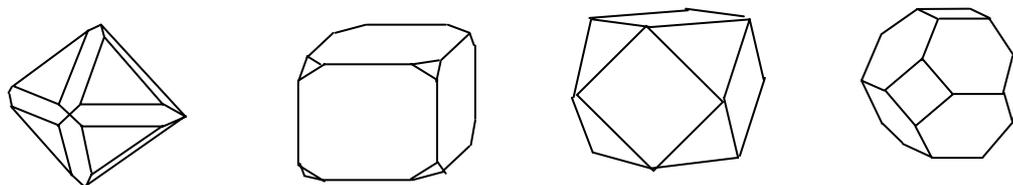


Рис. 12.7. Различные формы кристалла NaCl содержат комбинации элементов симметрии куба (октаэдра)

Симметрия живых организмов изменялась в ходе эволюции жизни на Земле. Вирусы, бактерии, многие одноклеточные организмы имеют симметрию, близкую к симметрии шара. Например, белковая

оболочка многих вирусов имеет форму икосаэдра. Форму правильных многогранников, группы симметрии которых являются подгруппами группы симметрии шара, имеют радиолярии. Это простейшие организмы подкласса саркодовых (жгутиковых). Их размеры колеблются от 40 мкм до 1 мм, иногда чуть больше. Радиолярии входят в состав морского планктона. Их скелеты, опускаясь на дно, образуют большую часть морского ила.

Примитивные формы многоклеточных беспозвоночных либо ведут сидячий (придонный) образ жизни, либо активно плавают во всех горизонтальных направлениях. Соответственно этому их симметрия описывается подгруппами симметрии конуса. В первом случае присутствует лишь одна (вертикальная) поворотная ось ∞ -го порядка и бесчисленное множество проходящих вдоль нее плоскостей симметрии. Таково, например, строение архециат, имеющих вид «древних кубков (бокалов)», именно так в переводе с греческого переводится название этих старейших обитателей морей. Во втором случае имеет место радиально-лучевая симметрия. Она встречается у медуз, морских звезд и морских ежей.

Часть поздних многоклеточных перешла к ползанию или плаванию в одном направлении — это черви, рыбы и далее земноводные, птицы, млекопитающие. У этих животных развилась *билатеральная* (двусторонняя) симметрия. Передняя часть тела у них отличается от задней, спинная от брюшной, но левая и правая половины симметричны.

Что касается растений, то у них, как и у оседлых придонных животных, симметрия в целом коническая. Ось конуса совпадает с направлением гравитационного поля Земли. У некоторых животных, например, моллюсков и растений возникла винтовая симметрия. Это обусловлено вращением животного вокруг своей оси, поворотом растения вслед за движением Солнца или в противоположную сторону, а также динамикой ионов, содержащихся в клетках организма, в магнитном поле Земли.

Как видим, общий принцип изменения симметрии в ходе эволюции таков: она, в целом, понижается, хотя бывают и случаи регресса. Некоторые билатеральные формы, вернувшись к сидячему образу жизни (например, иглокожие), вторично приобрели радиально-лучевую симметрию. Считается, что вирусы образовались также путем дегенерации, а именно по схеме: бактерии → риккетсии (семейство бактерий, использующие готовые питательные вещества из клеток организма-хозяина) → хламидобактерии (бактерии, состоящие из цепочек клеток, заключенных в чехол) → вирусы. Иногда вирусы выде-

ляют в особое царство живой природы — Vira. На рис. 12.8 показано уменьшение симметрии в ходе эволюции.

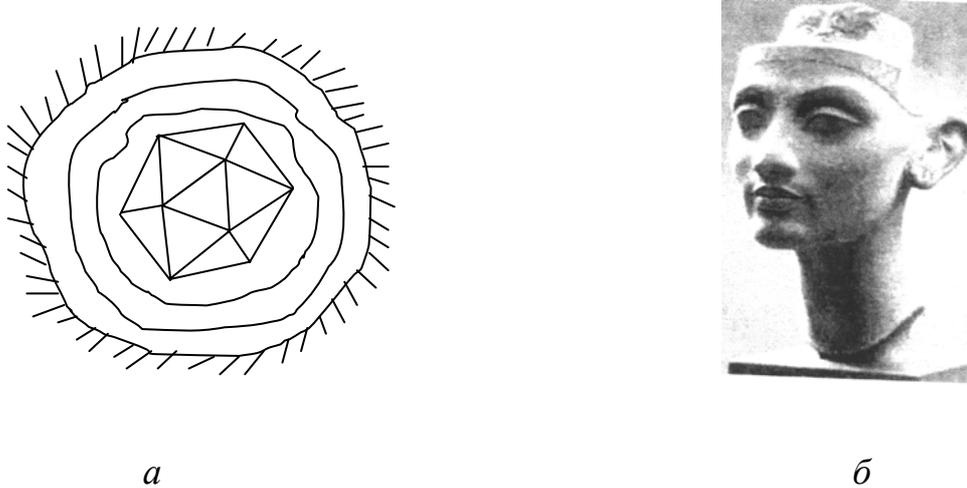


Рис. 12.8. Уменьшение симметрии в ходе прогрессивной эволюции от простейших форм живых организмов к высшим: герпесвирус имеет симметрию икосаэдра (а), человек, как и все высшие животные, имеет лишь плоскость симметрии (на рисунке скульптурный портрет одной из красивейших женщин, когда-либо живших на Земле — древнеегипетской царицы Нефертити. Скульптор Тутмес, XIV в. до н.э.) (б)

В мегамире симметрия объектов преимущественно сферическая, эллипсоидальная или спиральная. Наша Вселенная в целом сферическая, так как расширяется во все стороны одинаково. Галактики бывают эллиптические, спиральные или неправильной формы. В частности наша Галактика представляет собой двурукавную плоскую спираль, в центре которой находится утолщенное ядро.

Входящие в галактики звезды в основном являются шарообразными сгустками высокотемпературной плазмы. Они вращаются, поэтому их симметрия ниже, чем у неподвижного шара, и характеризуется только одной поворотной осью ∞ -го порядка и перпендикулярной к ней плоскостью симметрии, проходящей через центр шара. Это группа ∞/m . Наличие магнитного поля у звезд еще более понижает их симметрию, так как северный и южный магнитные полюса различаются между собой. В итоге симметрия звезд описывается предельной группой ∞ .

Та же ситуация имеет место и в случае планет, обращающихся вокруг некоторых из звезд. Следует принять во внимание, что гравитационные поля планет не столь велики, как у звезд, поэтому возникающие при их вращении центробежные силы приводят к сплющиванию планет с полюсов и утолщению в экваториальной области. Однако наибольшие искажения в форму планет вносят неравномерности рельефа их поверхности, вызывающие смещение центра тяжести.

13

Где нарушаются законы сохранения?

— А что было бы, — снова спросил Задиг, — если бы вовсе не было зла, и в мире царило бы только добро?
— Тогда, — отвечал Иезрад, — этот мир был бы другим миром и связь событий определял бы другой премудрый порядок.

Вольтер

13.1. Природа законов сохранения

Немецкая математик Эмми Нетер в 1918 г. доказала теорему, оказавшую гораздо большее влияние на развитие физики, чем математики. Согласно этой теореме, *если система сохраняет свои свойства при каком-либо преобразовании координат, то в ней действует закон сохранения некоторой физической величины, связанной с данным преобразованием.*

Понятно, что система *инвариантна* (от лат. *invariants* — неизменяющийся) относительно преобразований координат лишь в том случае, если она эволюционирует в пространстве и времени, обладающими определенной симметрией. В классическом естествознании пространство считается макроскопически *евклидовым, трехмерным, однородным, изотропным и континуальным*. Это означает, что пространство само по себе не искривлено (евклидовость), его свойства не зависят от расстояния до точки наблюдения (однородность) и направления (изотропность), оно непрерывно (континуальность). Положение в нем материальной точки можно указать, задав три координаты. Стрела времени также не искривлена, не содержит участков сжатия и растяжения, разрывов и удовлетворяет принципу причинности: все события являются однозначными следствиями своих причин.

С помощью теоремы Нетер можно доказать, что *закон сохранения импульса* связан с однородностью пространства, *закон сохранения момента импульса* — с его изотропностью, *закон сохранения полной энергии* — с однородностью времени. Однородность пространства обуславливает инвариантность системы относительно пространственных трансляций, его изотропность — инвариантность относительно пространственных поворотов, а однородность времени — инвариантность относительно временных сдвигов.

Есть еще одна величина, которая может сохраняться при определенных преобразованиях координат, — *четность*. Говорят, что процесс происходит с *сохранением четности*, если его зеркальное изображение физически реализуемо с той же вероятностью, что и сам процесс. Например, процесс падения мяча на землю с некоторой высоты в зеркале выглядит точно так же. Как бы мы не располагали зеркало, мяч в нем всегда будет падать на землю, а не иначе.

Мы настолько привыкли к сохранению четности в нашем обычном мире, что даже не считаем это каким-то особым физическим законом. Но, вот, в 1956 г. американские физики-теоретики китайского происхождения Ц. Ли и Ч. Янг высказали предположение, что четность нарушается в слабых взаимодействиях, и это блестяще подтвердилось в экспериментах, проведенных их соотечественницей Ц. Ву. Опыты по β -распаду ^{60}Co показали, что испускаемые при этом процессе электроны всегда вылетают в направлении, противоположном спине ядра. Зеркальное изображение процесса, при котором направление вращения ядра (и его спин) меняется на противоположное, а направление вылета электронов остается прежним, физически не реализуется. Следовательно, четность нарушается.

Так от чего же зависит, какие физические величины и когда сохраняются?

13.2. Размерность пространства-времени и количество сохраняющихся величин

Ранее мы уже говорили, что трехмерность пространства и одномерность времени — это свойства нашего макромира (см. семинар 7). В микромире, в масштабах, меньших *фундаментальной длины* $L \sim 10^{-35}$ м, пространство становится 4-мерным, а время исчезает. Возможны условия, когда количество пространственных и временных измерений еще больше. Пусть, в общем случае, размерность пространства-времени n определяется выражением

$$n = n_s + n_t,$$

где n_s — число независимых пространственных, а n_t — временных координат. Тогда мы получаем n_s возможностей для обращения пространственных координат, n_s возможностей для пространственных трансляций, $C_{n_s}^2$ возможностей для пространственных поворотов, n_t возможностей для временных трансляций и $C_{n_t}^2$ возможностей для временных поворотов. Общее количество связанных с этими преобразованиями координат сохраняющихся физических величин выразится формулой

$$N = 2n_s + C_{n_s}^2 + n_t + C_{n_t}^2.$$

Здесь выражения

$$C_{n_s}^2 = \frac{n_s!}{2!(n_s - 2)!}, \quad C_{n_t}^2 = \frac{n_t!}{2!(n_t - 2)!}$$

определяют известные из комбинаторики числа сочетаний n_s или n_t элементов (осей координат) по два элемента (плоскости вращения, образованные каждой парой осей).

В макромире $n_s = 3$, $n_t = 1$, и мы получаем $N = 10$. Это сохранение в изолированной системе трех компонент вектора четности, трех компонент вектора импульса, трех компонент вектора момента импульса и одной скалярной величины — полной энергии системы.

А как же остальные законы сохранения: заряда, странности, изотопического спина и другие? Все дело в том, что все эти величины можно свести к комбинациям пространственных и временных характеристик частиц, если воспользоваться естественной или абсолютной пространственно-временной системой единиц измерения. В мире нет ничего, кроме пространства, времени и движения. Движение и взаимодействие обусловлены эволюцией возмущений пространства, т. е. физических или силовых полей. Распространение этих возмущений мы описываем квантами соответствующих полей. Частицы вещества представляют собой связанные состояния этих квантов.

13.3. Иные миры — иные законы

Прежде всего отметим, что законы сохранения действуют лишь в изолированных системах тел. Если система открыта по отношению к внешним воздействиям, если в ней может измениться число частиц, то и говорить не о чем. Но и в изолированных системах законы сохранения действуют лишь тогда, когда выполняются условия, для которых они получены. В п. 13.1 было показано, что для выполнения известных законов сохранения эти условия связаны с макроскопическими свойствами пространства и времени: трехмерностью, однородностью и изотропностью пространства, однородностью времени.

В мегамире вследствие искривления пространства вблизи звезд пространство теряет однородность и изотропность. Действительно, свойства пространства вблизи какой-либо звезды и вдали от нее будут различны. Эти свойства будут зависеть и от направления: по направлению к центру звезды свойства будут одни, а в перпендикулярном направлении — другие. Кроме того, вблизи массивных тел время замедляет ход. Следовательно, *в мегамире, в непосредственной близости от звезд, тем более, черных дыр, законы сохранения импульса, момента импульса и энергии не выполняются.*

Эти же законы будут нарушаться и в микромире, вблизи элементарных частиц, на расстояниях, меньших их собственных размеров. Дело в том, что кривизну пространства и однородность времени изменяют не только гравитационные, но и другие физические поля: электромагнитные, сильные и слабые. Для слабых взаимодействий, как было показано выше, кроме того, нарушается четность.

Трехмерность пространства, одномерность времени и континуальность того и другого в микромире сохраняется до масштабов, соизмеримых с фундаментальной длиной $L \sim 10^{-35}$ м. В меньших масштабах пространство становится 4-мерным. В материалах семинара 7 было показано, что в пространстве четырех измерений восстанавливается нарушенное в трехмерном пространстве тождество левых и правых *энантиоморфных* (зеркально-симметричных) разновидностей объектов. Это означает восстановление четности.

С другой стороны, в квантах пространства нет ничего, кроме излучения, и речь может идти только о тождестве левополяризованных и правополяризованных квантов этого излучения. За пределами этой области их количество различно. Переход из нашего трехмерного мира через четвертое измерение в «зазеркальный» трехмерный антимир приводит к замене знака спина указанных квантов на противоположный.

14

Энтропия и информация

Мы измеряем «беспорядок» в чем-то по числу способов, какими может быть представлено его содержимое, лишь бы внешне все выглядело без изменения. Логарифм числа способов — это энтропия.

Р. Фейман

Информация есть информация, а не материя и не энергия.

Н. Винер

14.1. Энтропия как мера близости системы к хаотическому состоянию

Пусть имеется некоторая система, состоящая из $N = 1$ частицы, могущей находиться в $W = 2$ доступных ей ячейках пространства, например, в ящике с перегородкой, в которой имеется отверстие (рис. 14.1, *a*). Очевидно, если число частиц в таком ящике увеличить до $N = 2$, то число возможных состояний системы $W = 4$ (рис. 14.1, *б*). При $N = 3$ $W = 8$ (рис. 14.1, *в*).

Статистическим весом W системы называется величина, равная числу доступных состояний всех частиц, входящих в эту систему или, иначе, числу микросостояний системы.

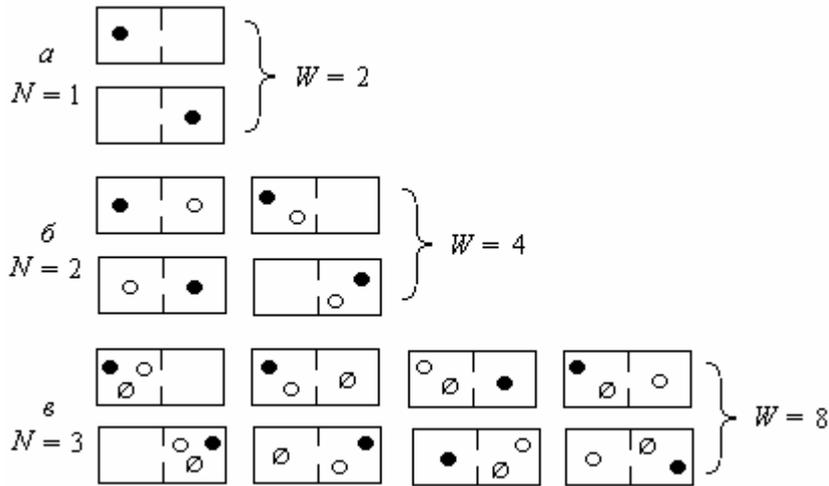


Рис. 14.1. К понятиям статистический вес и энтропия системы: количество частиц $N = 1$ (а); $N = 2$ (б); $N = 3$ (в)

Из рис. 14.1 видно, что *статистический вес системы равен произведению статистических весов всех подсистем, на которые можно разбить эту систему:*

$$W = \prod_{i=1}^N W_i. \quad (14.1)$$

Например, если в случае рис. 14.1, в положить $N = N_1 + N_2 = 1 + 2$, то $W = W_1 \cdot W_2 = 2 \cdot 4 = 8$. Если $N = N_1 + N_2 + N_3 = 1 + 1 + 1$, то так же $W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$. В системе с двумя пространственными ячейками $W = 2^N$. В системе, состоящей из n ячеек, N частиц имеют статистический вес $W = n^N$.

Вместо статистического веса часто бывает удобно пользоваться другой физической величиной — *энтропией* системы.

Под энтропией S системы понимают логарифмическую меру ее статистического веса:

$$S = k \ln W. \quad (14.2)$$

Выражение (14.2) удобнее, чем (14.1), в том отношении, что *энтропия системы равна сумме энтропий всех своих подсистем:*

$$S = \sum_{i=1}^N S_i, \quad (14.3)$$

так как логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей.

Такой подход к понятию «энтропия» был предложен в 1872 г. австрийским физиком Л. Больцманом, поэтому выражение (14.2) называется формулой Больцмана для энтропии. Здесь $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана. Исторически же это понятие впервые было введено немецким физиком Р. Клаузиусом в 1865 г. для термодинамических процессов.

Одним из фундаментальных принципов природы является *принцип возрастания энтропии*: **в изолированной системе энтропия не изменяется при обратимых процессах и возрастает при необратимых процессах.** Обратимыми процессами называются такие процессы, при которых систему можно вернуть в исходное состояние через те же самые промежуточные состояния. Реальные процессы, как правило, *необратимы*, так как, вследствие трения, излучения, теплопередачи и т. п. сопровождаются *диссипацией* энергии (от лат. *dissipatio* — рассеяние). Действительно, в изолированной системе, при наличии диссипативных процессов, происходит хаотическое перераспределение частиц по всем возможным состояниям, т. е. система становится менее упорядоченной, поэтому ее статистический вес и энтропия возрастают, стремясь к максимально возможному значению, которое достигается в равновесном состоянии системы.

Очевидно также, что *при температуре, равной абсолютному нулю*, когда всякое движение в системе прекращается, и, стало быть, она характеризуется единственным доступным ей состоянием ($W = 1$), *энтропия системы обращается в нуль*:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0. \quad (14.4)$$

Выражение (14.4) называется *законом Нернста* (в честь немецкого физика и химика В. Нернста), или *третьим началом термодинамики*.

Из приведенных рассуждений ясно, что *физический смысл энтропии состоит в том, что она есть мера разупорядочения системы или мера ее близости к хаосу*.

Понятно, что в *открытых системах*, взаимодействующих с другими системами или отдельными телами, *энтропия может и понижаться*. Тогда в системе имеет место упорядочение. Абсолютного хаоса (по древнегреческой мифологии *Chaos* — *беспредельное, бесформенное первородное состояние мира*) в ограниченной части Вселенной не существует, так как, согласно (14.1), (14.2), для $S \rightarrow \infty$ требуется, чтобы число частиц в системе $N \rightarrow \infty$.

14.2. Информация как мера упорядоченности системы

Под информацией (от лат. *informatio* — разъяснение, изложение) понимают любые сведения, передаваемые с помощью каких-либо сигналов или знаков от одного объекта к другому объекту. При этом в качестве объектов могут выступать люди, любые живые организмы или даже отдельные клетки, а также технические устройства. Как отмечал академик В.М. Глушков: «Информация существует, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой какую-то информацию». Таким образом, *любое отклонение от хаоса в сторону структурирования и упорядочения системы повышает информацию о ней*. Поскольку энтропия системы при этом уменьшается, то австрийский физик Э. Шредингер (1887—1961) предложил считать информацию величиной, равной энтропии со знаком «минус». Французский физик и специалист по теории информации Л. Бриллюэн (1889—1969) назвал информацию *I негэнтропией*. Таким образом,

$$\Delta I \sim -\Delta S. \quad (14.5)$$

Всякое сообщение, закодированное какими-либо символами, содержит в себе неопределенность, пропорциональную числу возможных сочетаний из этого набора символов по их позициям, т.е. может быть охарактеризована некоторым *статистическим весом сообщения*. Тогда, при условии равновероятности встречаемости символов, энтропия сообщения может быть представлена в виде

$$S = \kappa \log_2 p, \quad p = 1/W, \quad (14.6)$$

где κ — коэффициент пропорциональности, который в теории информации полагается равным единице ($\kappa = 1$), а p — вероятность появления символов. С учетом (14.5) последнее выражение можно переписать в виде

$$I = -\log_2 p. \quad (14.7)$$

Формула (14.7) была получена одним из основателей теории информации американским инженером и математиком К. Шенноном. Логарифм с основанием 2 в (14.6), (14.7) взят из тех соображений, что технически удобнее использовать двоичные коды, в которых, например, используются символы 1 и 0. Тогда информация сообщения, связанного с выборкой одного из двух возможных вариантов (например, при подбрасывании монеты, когда $p = 1/2$) $I = -\log_2(1/2) = 1$ бит (одна единица информации).

Переходя в (14.7) к натуральным логарифмам, получаем

$$I = -\frac{1}{\ln 2} \ln p. \quad (14.8)$$

В смысловом (*семантическом*) аспекте *энтропия характеризует степень деградации энергии в системе, связанную с ее рассеянием*: энергия высокого качества, за счет которой может производиться работа (например, потенциальная энергия поднятого груза или направленного потока фотонов в солнечном свете), превращается в энергию более низкого качества — тепловую энергию хаотического теплового движения частиц. Тогда *информация характеризует уровень качества энергии в системе*. Из (14.2), (14.5), (14.8) следует, что 1 биту соответствует изменение энтропии, численно равное $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Таким образом, *для заметного вклада в уменьшение энтропии системы требуется огромное количество информации, выраженной в битах*.

Как уже говорилось, в технических устройствах используются двоичные системы счисления. Известно, что количество оборудования, необходимого для изображения одного числа в системе счисления с основанием n , имеет минимум при $n = e \approx 2,718$, поэтому 3-символьный код был бы более экономным. Вместе с тем при одинаковой точности представления информации количество двухпозиционных элементов, необходимых для использования системы счисления с основанием $n > 2$, в общем случае превышает количество тех же элементов при использовании двоичной системы счисления, за исключением $n = 2^k$ ($k=1,2,3,\dots$). С другой стороны, при $n = 2$ скорость вычислений (точнее, число сложений в единицу времени) минимальна. Поэтому обычно в *машинных кодах* используются 16-разрядные слова ($k = 4$): 8 двоичных разрядов (бит) составляют 1 байт.

В наиболее простых, *телеграфных кодах*, предназначенных для передачи лишь словесных сообщений, используется предложенный французским изобретателем Ж. Бодо 5-разрядный алфавит на основе двух символов. Число возможных выборок объема $n = 5$ из совокупности $N = 2$ символов составляет $N^n = 2^5 = 32$. В русском языке это обеспечивает передачу всех букв алфавита, кроме ё. Однако любой сбой на входе канала связи или в процессе передачи сообщения приводит к ошибкам на выходе. Поэтому, с целью помехоустойчивости кодирования, помимо смысловой оценки сообщений в ответственных случаях используется дублирование передаваемой информации.

Природа поступила мудрее. В *генетическом коде* используются 3-буквенные слова ($n = 3$) — *кодоны* на основе 4-символьного алфа-

вита ($N = 4$), образованного следующими нуклеотидами: A — аденин, G — гуанин, U — урацил, C — цитозин. Каждый кодон кодирует одну аминокислоту, входящую в состав белка. Число выборов в этом случае составляет $N^n = 4^3 = 64$, а число возможных сочетаний с повторением

$$C_{N+n-1}^n = C_{4+3-1}^3 = \frac{6!}{3!3!} = 20.$$

Именно 20 важнейших аминокислот, из более чем 150 природных, входят в состав клеток всех организмов, живущих на Земле. Явная избыточность генетического кода обеспечивает его высокую помехоустойчивость к мутациям. Участок ДНК, содержащий в виде последовательности нуклеотидов информацию об одном белке, — *ген* — может быть представлен разным набором кодонов, образуя *аллели* — разновидности одного и того же гена. Наличие в популяциях нескольких аллелей каждого гена приводит к полиморфизму и комбинативной изменчивости при половом размножении, т. е. служит исходным материалом для эволюции.

В заключение данного вопроса отметим, что формула (14.7) определяет лишь *количество* передаваемой информации, не позволяя оценить ее *ценность*. Два сообщения, содержащие одинаковое число бит информации, могут иметь совершенно разную значимость. Более того, эта значимость может (или не может) быть оценена лишь теми объектами, которые участвуют в обмене информацией.

14.3. Связь энтропии, информации и симметрии

Из изложенного выше следует, что энтропия является мерой беспорядка в системе, количественной характеристикой наличия в ней энергии низкого качества, приводящей к хаотическому перемешиванию ее частей. Информация, наоборот, как явствует из формулы (14.5), является мерой упорядоченности системы, характеризующей в ней долю энергии высокого качества. Некоторую информацию о соотношении частей тела и их взаимном расположении дает нам и понятие симметрия (см. семинар 12). Возникает вопрос: что общего между понятиями энтропия, информация и симметрия?

К сожалению, в обыденной жизни большинство людей считает, что наличие симметрии в системе предполагает в ней существование какого-либо порядка. Это, действительно, так. Но предполагать, что чем больше симметрии, тем больше порядка, неверно. Симметрия, как

и энтропия, является мерой беспорядка в системе, мерой ее близости к равновесному, максимально перемешанному состоянию.

В самом деле, самую высокую симметрию имеет шар (∞ / ∞ *mm*). У него бесконечное количество осей симметрии бесконечного порядка, проходящих через центр симметрии (центр шара), и бесконечное количество проходящих через эти оси плоскостей симметрии. Но именно такую форму принимает в отсутствие сил тяжести вода или другая жидкость. Силы поверхностного натяжения, уравнивая друг друга, стягивают жидкость в шар, чтобы окружить ее поверхностью минимальной для данного объема площади. В сферическом сосуде с газом при достаточно высокой температуре, когда кинетическая энергия молекул велика, они равномерно заполняют весь сосуд. Если же температура газа мала настолько, что кинетическая энергия молекул мала по сравнению с их потенциальной энергией, то концентрация молекул в нижней части сосуда будет больше, чем в верхней. Симметрия газа понизится и будет описываться предельной группой конуса (∞ *mm*). Но во втором случае относительно молекул газа мы располагаем кое-какой информацией: мы, например, знаем распределение молекул по высоте сосуда.

Следовательно, чем выше симметрия системы, тем меньше в ней порядка. При упорядочении системы ее симметрия всегда понижается. Мы это видели в материалах семинара 12, когда выяснили, что в ходе эволюции живых организмов их симметрия, как правило, понижается. В случае же регрессивного развития происходит редукция приобретенных новых элементов структуры, и форма организма вновь упрощается, его симметрия снова возрастает. Такое регрессивное развитие, ведущее к дегенерации, всегда имеет место, когда вид находится в изоляции или на него перестают действовать возмущающие факторы. Например, прекрасные розы различных сортов, полученных в ходе многолетней селекции, будучи оставлены без ухода, через несколько лет вырождаются в своего дикого предка — обыкновенный шиповник.

Многие считают симметрию синонимом красоты. Это верно лишь отчасти. Разве можно назвать красивым лицо, если волосы расчесаны на прямой пробор, слева и справа от носа, на щеках симметрично расположены одинаковые родинки? Есть такой тест. Возьмите негатив своего фотографического портрета и сделайте с него два отпечатка: обычный и с перевернутого негатива, на котором левая и правая стороны лица поменялись местами. Разрежьте оба отпечатка на левую и правую части и составьте из них две фотографии: одну только из левых половин лица, другую только из правых. Вы увидите, что обе фотографии на Вас чем-то похожи, но это совершенно не Вы. Кроме того, они обе какие-то безжизненные. Художники, визажисты, модни-

цы это хорошо знают и всегда вносят в фигуру легкий элемент асимметрии. Пользуются этим и архитекторы. Проектируя новый микрорайон, они стараются одинаковые и симметричные здания расположить асимметрично, а асимметричные элементы расположить симметричным образом. Красиво всегда то, в чем ощущается жизнь, а она — в движении.

Американский математик Дж. Д. Биркгоф в начале XX в. разработал «теорию эстетической ценности», согласно которой произведение искусства интересно и приятно только в том случае, когда оно не слишком предсказуемо, но и не таит в себе слишком много сюрпризов. Жизнь эволюционирует, балансируя между порядком и беспорядком. Поэтому жизненным, динамичным, красивым нам и кажется то, в чем порядок прокладывает себе путь, борясь с беспорядком.

15

Открытые системы: устойчивость и неустойчивость стационарных состояний

Устойчивость (неустойчивость) — не просто одно из свойств динамической системы. Это свойство существенно расширяет и изменяет аксиоматику динамических систем и позволяет взглянуть на мир с иной точки зрения.

Д.С. Чернавский

15.1. Едва-устойчивость стационарных состояний

В открытых системах равновесное состояние, в котором энтропия максимальна, невозможно. Внешнее воздействие не позволяет системе прийти к равновесию, но она может перейти в состояние с минимальным приростом энтропии. Такие состояния называются *стационарными*, т. е. не зависящими от времени. Они возникают в тех случаях, когда имеют место постоянные градиенты параметров, характеризующих состояние системы, например, температуры или концентрации частиц. Австрийский биолог Людвиг фон Бертланфи, многие годы проработавший в США и Канаде, назвал стационарное состояние системы *состоянием текущего равновесия*.

Возмущения параметров изолированной системы склонны ослабевать со временем (релаксировать) за счет того, что в системе возникают процессы, стремящие вернуть ее к равновесию. Этот факт постулируется в виде принципа Ле Шателье — Брауна: *если равновесие в изолированной системе нарушается за счет внешних сил, то в ней возникают процессы, которые стремятся ослабить результат воздействия*. Данный принцип был сформулирован в 1884 г. французским физико-химиком А. Ле Шателье и теоретически обоснован не-

мецким физиком К. Брауном в 1887 г. Примерами проявления этого принципа являются наличие инерции в механике и существование явления электромагнитной индукции в электромагнетизме. Он, по сути дела, отражает устойчивость равновесного состояния изолированной системы.

А что можно сказать об устойчивости стационарных состояний открытой системы? Выдающийся ученый современности, бельгийский физико-химик русского происхождения И. Пригожин (1917 — 2003) в 1947 г. доказал следующую теорему: *при фиксированных внешних параметрах скорость производства энтропии в стационарном состоянии системы минимальна*. Под *производством энтропии* понимается величина, равная ее приращению в единицу времени, т.е. скорость прироста энтропии. Стационарные состояния являются неравновесными состояниями. Пребывая в них, система продолжает стремиться к равновесию, повышая свою энтропию, но от прочих, нестационарных неравновесных состояний, они отличаются тем, что энтропия прирастает с минимально возможной скоростью.

В изолированной системе отклонение от равновесия приводит к колебаниям (в общем случае затухающим) динамических параметров системы. Отклонение от стационарного состояния в открытой системе также порождает колебания, но они не являются ни гармоническими (упорядоченными), ни хаотическими. Их спецификой является *фрактальность* — самоподобие больших и малых отклонений от стационарного состояния, или *масштабная инвариантность (скейлинг)*. Иначе говоря, стационарные состояния едва устойчивы: пребывая в них, система постоянно изменяется, но, вследствие наличия в ней памяти о прошлых состояниях, эти изменения самоподобны (фрактальны). Если же величина возмущения достигает некоторого порогового значения, то в системе возможен скачкообразный переход в другое стационарное состояние.

15.2. Бифуркации и катастрофы

В отличие от единственного равновесного состояния изолированной системы, в открытой системе может быть несколько стационарных состояний. Например, изолированный атом находится в основном (равновесном) состоянии, а при возбуждении может находиться в различных по энергии стационарных состояниях. Таким образом, равновесное состояние разветвляется на несколько стационарных состояний (в простейшем случае раздваивается). Для перехода системы из одного состояния в другое порой достаточно весьма мало-

го изменения некоторого управляющего параметра — *параметра порядка*.

Резкое изменение свойств системы при малом изменении величины параметра порядка называют *бифуркацией* (от лат. *bifurcus* — раздвоенный). Всякая бифуркация сопровождается скачком системы из одного стационарного состояния в другое. Ряд последовательных бифуркаций вызывает в системе утрату порядка и появление хаоса. Например, последовательный (каскадный) переход валентного электрона в атоме на все более высокие стационарные уровни энергии в конечном счете приводит к ионизации атома: электрон отрывается от него и движется далее свободно, занимая произвольное положение в пространстве.

Скачкообразный переход системы из одного стационарного состояния в другое при монотонном изменении одного или нескольких параметров порядка называется катастрофой. Математическая теория катастроф была разработана в 1972 г. французским математиком Рене Томом. Им описаны следующие типы катастроф: «складка», «сборка», «ласточкин хвост», «пирамида», «зонтик», «кошелек». Их различают по характерному виду поверхности стационарных состояний системы (рис. 15.1).

Катастрофа типа «складка» описывается лишь одним параметром порядка. В случае катастрофы типа «сборка» таких параметров два: *a* — *нормальный фактор* и *b* — *расщепляющий фактор*. Например, в модели волнений в обществе (рис. 15.2) *a* — это *напряженность социально-политической обстановки*, вызванная общим низким уровнем жизни, невыплатой зарплат, пенсий и т.п.; *b* — *разобщенность общества* по имущественному, национальному, религиозному и другим признакам. Поверхность стационарных состояний — это в данном случае уровень волнений *D*. Она образует сборку над областью бифуркации.

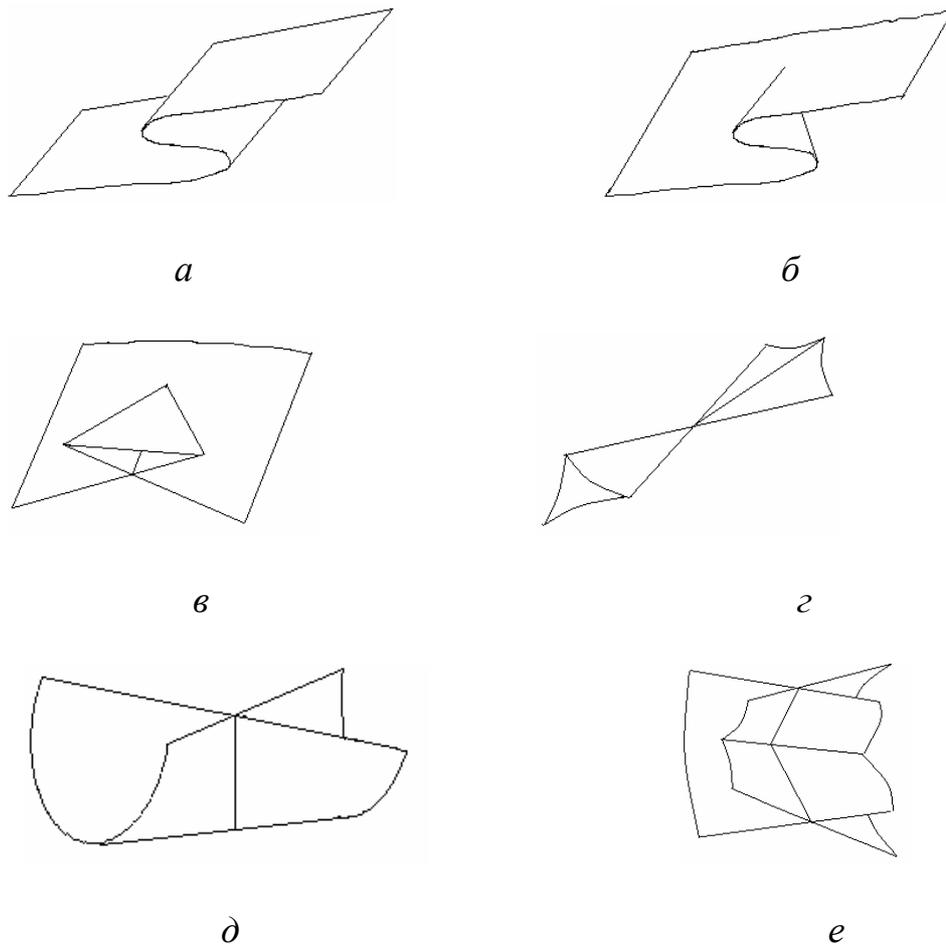


Рис. 15.1. Поверхности стационарных состояний для катастроф типа: «складка» (а), «сборка» (б), «ласточкин хвост» (в), «пирамида» (г), «зонтик» (д), «кошелек» (е)

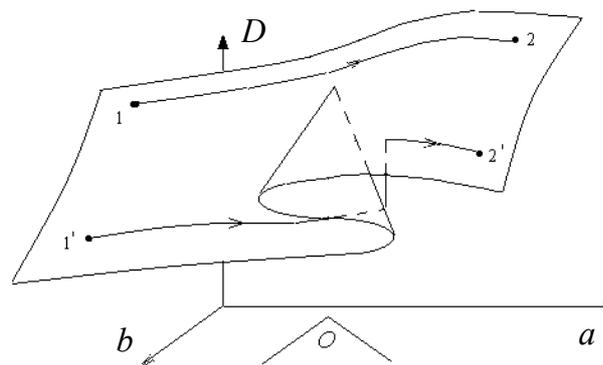


Рис. 15.2. Уровень волнений в обществе описывается катастрофой типа «сборка». Переход из состояния 1 в состояние 2 при малых значениях расщепляющего фактора (вне области бифуркации) происходит монотонно, а из состояния 1' в состояние 2' (при пересечении области бифуркации) — скачком

Из рисунка ясно, что рост напряженности в обществе при высокой разобщенности чреват резким скачком волнений и может привести к социальным потрясениям: смене политического режима, революции, гражданской войне и пр. Поэтому основной задачей руководства страной в условиях возрастающей напряженности является недопущение разобщенности общества путем его консолидации на каких-либо объединяющих идеях: национальной, религиозной, патриотической и т.п.

Другие катастрофы (рис. 15.1) описываются большим, чем два, количеством параметров порядка.

15.3. Самоорганизованная критичность и устойчивость стационарных состояний

В 1988 г. в журнале Американского физического общества *Physical Review* появилась статья Пера Бака, Чао Танга и Курта Визенфельда «Самоорганизованная критичность», оказавшая огромное влияние на понимание механизмов самоорганизации пространственно протяженных динамических систем. Бак и его сотрудники показали, что подобные системы различной физической природы эволюционируют в критические стационарные состояния, не имеющие постоянных характерных пространственных масштабов или характерных времен жизни. Поведение во времени таких самоорганизующихся критических состояний и их пространственная структура являются масштабно-инвариантными (фрактальными).

Авторы проиллюстрировали свою идею численным моделированием процесса осыпания песчинок в куче песка. Если крутизна склона в какой-либо точке на поверхности кучи становится слишком большой, находящаяся там песчинка осыпается, увлекая за собой другие песчинки. Наконец, когда все песчинки достигнут некоторого *минимального устойчивого состояния*, лавина прекратится. Добавление одной-единственной песчинки может спровоцировать новую лавину. Такие едва устойчивые состояния называются *критическими состояниями* системы. По сути дела это стационарные состояния пространственно разделенных систем.

Осыпающиеся и останавливающиеся лавины образуют в пространстве области со структурой типа *фрактальных кластеров* (от англ. *cluster* — гроздь). Их размеры распределены по степенному закону:

$$D(s) \sim s^{-\tau},$$

где $\tau \approx 1,0$ для двумерного массива 50×50 точек, и $\tau \approx 1,37$ для трехмерного массива $20 \times 20 \times 20$ точек.

Время жизни таких лавин также удовлетворяет степенному закону:

$$D(T) \sim T^{-\alpha},$$

где $\alpha \approx 0,43$ в двумерном случае и $\alpha \approx 0,92$ в трехмерном случае. На рис. 15.3 и 15.4 показаны результаты такого моделирования для двумерных и трехмерных массивов точек.

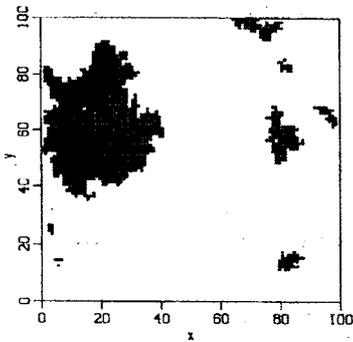


Рис. 15.3. Типичная структура фрактальных кластеров, образующихся при малых локальных возмущениях системы для массивов 100×100 точек. (Из статьи Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Physical Review A — 1988. — V. 38. — No 1. — P. 364 — 374)

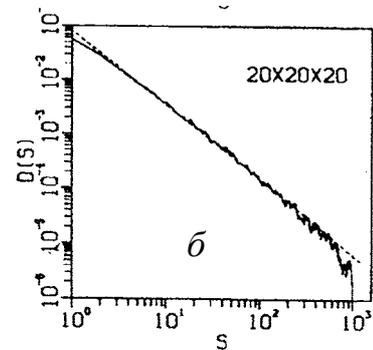
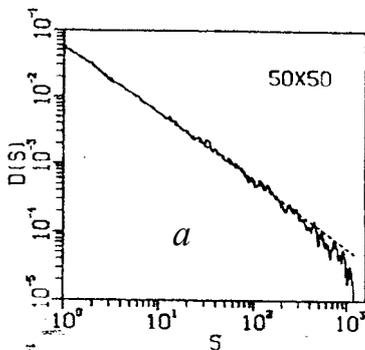


Рис 15.4. Распределение размеров кластеров для двухмерного (а) и трехмерного (б) массивов точек. Наклон пунктирной линии соответственно равен 1,0 и 1,37. (Из статьи, указанной в подрисуночной подписи к рис. 10.1)

Самоорганизованная критичность стала «типовой» моделью для множества масштабно-инвариантных явлений: магнитных и сегнетоэлектрических доменов, гидродинамических турбулентных потоков, землетрясений, экономических и социальных процессов.

Библиографический список

К семинару 1

1. *Волошинов А. В.* Пифагор: Союз истины, добра и красоты / *А. В. Волошинов.* — М.: Просвещение, 1993. — 224 с.
2. *Воробьев Н. Н.* Числа Фибоначчи / *Н. Н. Воробьев.* — М.: Наука, 1984. — 144 с.
3. *Шевелев И. Ш.* Золотое сечение: Три взгляда на природу гармонии / *И. Ш. Шевелев.* — М.: Стройиздат, 1990. — 342 с.

К семинару 2

1. Библия в иллюстрациях с библейскими текстами по синодальному переводу / Библейское общество Советского Союза. — М.: Изд-во «Свет на Востоке», 1992. — 256 с.
2. Библия. Книги Священного писания Ветхого и Нового Завета. — М.: Протестант, 1991. — 292 с.
3. *Браже Р. А.* Христианство и естествознание: путь борьбы и сближения / *Р. А. Браже* // Литература и культура в контексте христианства. Ч. 2. — Ульяновск, 1996. — С. 11 – 13.
4. *Браже Р. А.* Научный креационизм в свете синергетики / *Р. А. Браже* // Философский век. Альманах. № 7. Между физикой и метафизикой: Наука и философия. — СПб. 1998. — С. 197 – 200.
5. *Браже Р. А.* Религиозная и научная картина мира: сравнительный анализ / *Р. А. Браже* // Литература и культура в контексте христианства. — Ульяновск, 1999. — С. 109 – 110.
6. Буддизм. Словарь / *Абаева Л.Л., Андросов В.П., Бакаева Э.П. и др.;* Под общ. ред. *Н. Д. Жуковской* и др. — М.: Республика, 1992. — 287 с.
7. *Васильев Л. С.* История религий Востока / *Л. С. Васильев.* — М.: Высш. шк., 1993. — 432 с.
8. Всемирная галерея. Древний Восток / Под общ. ред. *А. А. Мясникова.* — СПб.: Терция, 1994. — 587 с.
9. *Грейвз Р.* Мифы Древней Греции / *Р. Грейвз.* — М.: Прогресс, 1992. — 167 с.

10. *Девятова С. В.* Религия и наука: шаг к примирению? / *С. В. Девятова.* — М.: МГУ, 1993. — 167 с.
11. *Климович Л. В.* Книга о Коране, его происхождении и мифологии. / *Л. В. Климович.* — М.: Политиздат, 1986. — 269 с.
12. *Ильин В. Н.* Шесть дней творения: Библия и наука о творении и происхождении мира / *В. Н. Ильин.* — 2-е изд. — Париж, 1991. — 231 с.
13. Коран / Пер. и коммент. И. Ю. Крачковского. — М.: Наука, 1990. — 727 с.
14. Коран / Пер. В Прохоровой. — М.: Аюрведа, 1993. — 623 с.
15. *Кочетов А. Н.* Буддизм / *А. Н. Кочетов.* — М.: Наука, 1983. — 177 с.
16. *Кун Н. А.* Боги Древней Греции. / *Н. А. Кун.* — М.: Панорама, 1992. — 62 с.
17. *Матье М. Э.* Древнеегипетские мифы / *М. Э. Матье.* — М. - Л.: АН СССР, 1956. — 173 с.
18. Мифологический словарь: Кн. для учителя / М. Н. Ботвинник, Б. М. Коган, М. Б. Рабинович и др. — М.: Просвещение, 1989. — 255 с.
19. Мифология / Под общ. ред. Н. И. Девятайкиной. — Саратов: СГУ, 1993. — 285 с.
20. Мифы народов мира. Энциклопедия / Гл. ред. С. А. Токарев. — М.: Сов. энциклопедия, 1991. Т. 1. — 671 с. Т. 2. — 719 с.
21. Мифы Древней Греции / Сост. И. С. Яворская. — Л.: Лениздат, 1990. — 365 с.
22. *Немировский А. И.* Мифы Древней Эллады / *А. И. Немировский.* — М.: Просвещение, 1992. — 318 с.
23. *Панова В. Ф.* Жизнь Мухаммеда / *В. Ф. Панова, Ю. Б. Вахтин.* — М.: Политиздат, 1991. — 493 с.
24. *Турсунов А.* Человек и мироздание: Взгляд науки и религии. / *А. Турсунов.* — М.: Сов. Россия, 1986. — 204 с.
25. *Штоль Г.* Мифы классической древности / *Г. Штоль.* — М.: Высш. шк., 1993. Т. 1. — 272 с. Т. 2. — 299 с.

К семинару 3

1. *Курантов А. П.* Уильям Оккам / *А. П. Курантов, Н. И. Стяжкин.* — М.: Мысль, 1978. — 191 с.

К семинару 4

1. *Данте Алигьери*. Божественная комедия : Пер. с итал. — М.: Рипол классик, 1998. — 960 с.
2. *Доброхотов А. Л.* Данте Алигьери / *А. Л. Доброхотов*. — М.: Мысль, 1990. — 208 с.

К семинару 5

1. *Белый Ю. А.* Иоганн Кеплер (1571 — 1630) / *Ю. А. Белый*. — М.: Наука, 1971. — 295 с.
2. Коперник. Галилей. Кеплер. Лаплас и Эйлер. Кетле; Биогр. повествования. — Челябинск: Урал, 1997. — 455 с.

К семинару 6

1. *Берке У.* Пространство-время, геометрия, космология / *У. Берке*. — М.: Мир, 1985. — 411 с.
2. *Владимиров Ю. С.* Пространство-время: явные и скрытые размерности / *Ю. С. Владимиров*. — М.: Наука, 1989. — 191 с.
3. *Дубровин Б. А.* Современная геометрия: методы и приложения / *Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко*. — М.: Наука, 1986. — 760 с.
4. *Дэвис П.* Пространство и время в современной картине Вселенной / *П. Дэвис*. — М.: Мир, 1979. — 288 с.
5. Энциклопедический словарь юного математика / Под ред. Б. В. Гнеденко, В. Д. Белоусова, О. М. Белоцерковского и др. — М.: Педагогика, 1985. — 352 с.

К семинару 7

1. *Барашенков В. С.* Проблемы субатомного пространства и времени / *В. С. Барашенков*. — М.: Атомиздат, 1979. — 199 с.
2. *Блохинцев Д. И.* Пространство и время в микромире / *Д. И. Блохинцев*. — М.: Наука, 1970. — 359 с.
3. *Мостепаненко А. М.* Пространство и время в макро-, мега- и макромире / *А. М. Мостепаненко*. — М.: Политиздат, 1974. — 240 с.

К семинару 8

1. *Баращенко В. С.* Кварки, протоны, Вселенная / *В. С. Баращенко* — М.: Знание, 1987. — 189 с.
2. *Богуш А. А.* Очерки по истории физики микромира / *А. А. Богуш*. — Минск: Навука і тэхніка, 1990. — 220 с.
3. *Дубовой Э. И.* По следам невидимок / *Э. И. Дубовой*. — М.: Знание, 1985. — 191 с.
4. *Зельдович Я. Б.* Драма идей в познании природы: частицы, поля, заряды / *Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов*. — М.: Наука, 1988. — 238 с.
5. *Исиханов Б. С., Кэбин Э. И.* Физика ядра и частиц, XX век. [электронный ресурс]: Ядерная физика в Интернете. / Проект кафедры общей и ядерной физики физического факультета МГУ. — М.: МГУ, 2003. — Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru>, свободный. — Загл. с экрана.
6. *Комар А. А.* Кварки — новые субъединицы материи / *А. А. Комар*. — М.: Знание, 1982. — 64 с.
7. *Сапожников М. Г.* Антимир — реальность? / *М. Г. Сапожников*. — М.: Знание, 1983. — 176 с.
8. *Сивухин Д. В.* Атомная и ядерная физика: Учеб. пособие для вузов. В 2 ч. Ч. 2. Ядерная физика / *Д. В. Сивухин*. — М.: Наука, 1989. — 416 с.
9. Современное естествознание. Энциклопедия в 10 т. Т. 4. Физика элементарных частиц. Астрофизика / Гл. ред. В. Н. Сойфер; ред. тома Б. И. Садовников. — М.: Магистр-пресс, 2000. — 280 с.
10. *Фейнберг Дж.* Из чего сделан мир? / *Дж. Фейнберг*. — М.: Мир, 1981. — 340 с.
11. Физика микромира: маленькая энциклопедия. / Гл. ред. Д. В. Ширков. — М.: Сов. энциклопедия, 1980. — 527 с.
12. *Щёлкин К. И.* Физика микромира / *К. И. Щёлкин*. — М.: Атомиздат, 1968. — 245 с.

К семинару 9

1. *Баращенко В. С.* Кварки, протоны, Вселенная / *В. С. Баращенко* — М.: Знание, 1987. — 189 с.

2. *Дубнищева Т. Я.* Концепции современного естествознания / *Т. Я. Дубнищева.* — М.: ИКЦ «Маркетинг», Новосибирск: ООО «Издательство ЮКЭА», 2001. — 832 с.
3. *Зельдович Я. Б.* Строение и эволюция Вселенной / *Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1975. — 735 с.
4. *Новиков И. Д.* Как взорвалась Вселенная / *И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1988. — 174 с.
5. *Новиков И. Д.* Черные дыры и Вселенная / *И. Д. Новиков.* — М.: Мол. гвардия, 1985. — 190 с.
6. *Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной / *И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1990. — 188 с.
7. *Паркер Б.* Мечта Эйнштейна. В поисках единой теории строения Вселенной / *Б. Паркер.* — СПб.: Амфора, 2001. — 334 с.
8. *Розенталь И. Л.* Вселенная и частицы / *И. Л. Розенталь.* — М.: Знание, 1990. — 62 с.
9. *Сибгатуллин Н. Р.* Колебания и волны в сильных гравитационных и электромагнитных полях / *Н. Р. Сибгатуллин.* — М.: Наука, 1984. — 352 с.
10. *Силк Дж.* Большой Взрыв: рождение и эволюция Вселенной / *Дж. Силк.* — М.: Мир, 1982. — 391 с.
11. *Хокинг С.* От Большого взрыва до черных дыр: краткая история времени / *С. Хокинг.* — М.: Мир, 1990. — 166 с.
12. *Хорган Дж.* Вселенские истины / *Дж. Хорган* // В мире науки. — 1990. — № 12. — С. 62 – 72.
13. *Шкловский И. С.* Вселенная. Жизнь. Разум / *И. С. Шкловский.* — М.: Наука, 1987. — 319 с.

К семинару 10

1. *Бааде В.* Эволюция звезд и галактик / *В. Бааде.* — М.: Мир, 1966. — 299 с.
2. *Зельдович Я. Б.* Теория тяготения и эволюция звезд / *Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1971. — 484 с.
3. *Нарликар Д.* От черных облаков к черным дырам / *Д. Нарликар.* — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 141 с.
4. *Николсон И.* Тяготение, черные дыры и Вселенная / *И. Николсон.* — М.: Мир, 1983. — 240 с.
5. *Новиков И. Д.* Черные дыры и Вселенная / *И. Д. Новиков.* — М.: Мол. гвардия, 1985. — 190 с.

6. *Новиков И. Д.* Энергетика черных дыр / *И. Д. Новиков.* — М.: Знание, 1986. — 62 с.
7. *Сибгатуллин Н. Р.* Колебания и волны в сильных гравитационных и электромагнитных полях / *Н. Р. Сибгатуллин.* — М.: Наука, 1984. — 352 с.
8. *Трофименко А. П.* Белые и черные дыры во Вселенной / *А. П. Трофименко.* — Минск: Университетское, 1991. — 172 с.
9. Физика космоса: маленькая энциклопедия / Гл. ред. Р.Ю. Сюняев. — М.: Сов. энциклопедия, 1986. — 783 с.
10. *Хокинг С.* От Большого взрыва до черных дыр: краткая история времени / *С. Хокинг.* — М.: Мир, 1990. — 166 с.
11. *Хокинг С.* Черные дыры и молодые Вселенные / *С. Хокинг.* — СПб.: Амфора, 2001. — 190 с.
12. *Шакура Н. И.* Нейтронные звезды и черные дыры в двойных звездных системах / *Н. И. Шакура.* — М.: Знание, 1976. — 64 с.
13. *Шкловский И. С.* Звезды: их рождение, жизнь и смерть / *И. С. Шкловский.* — М.: Наука, 1987. — 319 с.

К семинару 11

1. *Владимиров Ю. С.* Пространство-время: явные и скрытые размерности / *Ю. С. Владимиров.* — М.: Наука, 1989. — 191 с.
2. *Зельдович Я. Б.* Драма идей в познании природы: частицы, поля, заряды / *Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов.* — М.: Наука, 1988. — 238 с.
3. *Крупчинский П. А.* Слабое взаимодействие ядерных частиц / *П. А. Крупчинский.* — М.: Знание, 1975. — 64 с.
4. Наблюдение $W^\pm - Z^0$ – бозонов — эксперимент и установка / Актуал. пробл. физики. Нобелевские лекции. — М.: Знание, 1986. — 63 с.
5. *Новиков И. Д.* Как взорвалась Вселенная / *И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1988. — 174 с.
6. *Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной / *И. Д. Новиков.* — М.: Наука, 1990. — 188 с.

К семинару 12

1. *Вейль Г.* Симметрия / *Г. Вейль.* — М.: Наука, 1968. — 191 с.
2. *Компанец А. С.* Симметрия в микро- и макром мире / *А. С. Компанец.* — М.: Наука, 1978. — 207 с.

3. *Урманцев Ю. А.* Симметрия природы и природа симметрии / *Ю. А. Урманцев.* — М.: Мысль, 1974. — 229 с.
4. *Шафрановский И. И.* Симметрия в природе / *И. И. Шафрановский.* — Л.: Недра, 1985. — 168 с.

К семинару 13

1. *Гельфер Я. М.* Законы сохранения / *Я. М. Гельфер.* — М.: Наука, 1967. — 263 с.
2. *Дерябин В. М.* Законы сохранения в физике / *В. М. Дерябин.* — М.: Просвещение, 1982. — 128 с.

К семинару 14

1. *Алексеев Г. Н.* Энергия и энтропия / *Г. Н. Алексеев.* — М.: Знание, 1978. — 192 с.
2. *Салин Ю. С.* Стратификация: порядок и хаос / *Ю. С. Салин* // Природа. — 1993. — № 5. — С. 71 – 80.
3. *Силин А. А.* Энтропия, вероятность, информация / *А. А. Силин* // Вестник РАН. — 1994. — Т. 64. — № 6. — С. 490 – 496.
4. *Поплавский Р. П.* Термодинамика информационных процессов / *Р. П. Поплавский.* — М.: Наука, 1981. — 255 с.
5. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе / *П. Эткинс.* — М.: Мир, 1987. — 223 с.

К семинару 15

1. *Арнольд В. И.* Теория катастроф / *В. И. Арнольд.* — М.: Наука, 1990. — 126 с.
2. *Арнольд В. И.* Особенности, бифуркации, катастрофы / *В. И. Арнольд* // УФН. — 1988. — Т. 141. — С. 569.
3. *Николис Г.* Познание сложного. / *Г. Николис, И. Пригожин.* — М.: Мир, 1990. — 342 с.
4. *Пер Бак* Самоорганизованная критичность / *Бак Пер, Кан Чен* // В мире науки. — 1991. — № 3. — С. 16 – 25.

5. *Пригожин И.* Порядок из хаоса / *И. Пригожин, И. Стенгерс.* — М.: Мир, 1986. — 431 с.

Учебное издание
БРАЖЕ Рудольф Александрович,
МЕФТАХУТДИНОВ Руслан Максutowич

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Материалы к семинарским занятиям
Учебное пособие

Редактор Н.А. Евдокимова

Подписано в печать 30.11.2003 Формат 60×84/16. Печать трафаретная

Бумага писчая. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 8,10.

Тираж 400 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.