

В.П. Шелест

# ОСКОЛКИ



**В.П. Шелест**

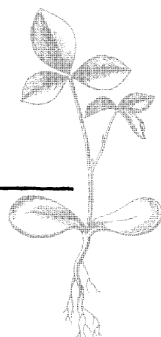
---

# **ОСКОЛКИ**

---

---

МОСКВА · ЭНЕРГОИЗДАТ · 1981



ББК 22.38  
Ш 42  
УДК 539.12(023.11)

Рецензент докт. физ.-мат. наук Г. М. Зиновьев

**Шелест В. П.**

Ш 42 Осколки. — М.: Энергоиздат, 1981. — 152 с., ил.  
25 к.

Книга связана с предыдущей научно-популярной книгой автора «Новый круг» (М., Атомиздат, 1979), где излагались некоторые идеи и основные результаты, полученные с помощью моделей элементарных частиц. В этой книге рассматривается комплекс фундаментальных вопросов, возникающих при исследовании процессов при очень высоких энергиях и связанных с рождением необычных объектов: частиц с большой массой и новыми квантовыми числами, кластеров (сгустков ядерной материи) и т. д. На популярном уровне излагаются некоторые парадоксы и проблемы, возникающие при исследовании физического вакуума, как принципиально неисчерпаемого физического объекта. Книга позволит составить общее представление о достижениях и проблемах теоретической (отчасти экспериментальной) физики очень высоких энергий на конец 70-х годов.

Для читателей, не занимающихся профессионально физикой, но интересующихся ее достижениями.

Ш  $\frac{20408-641}{051(01)-81}$  56—81(А)·1704070000

ББК 22.38  
530.4

**Виталий Петрович Шелест**

## **ОСКОЛКИ**

Редактор *А. И. Мельникова*

Рисунки *Алеши Шелеста* (11 лет)

Художественный редактор *А. Т. Кирьянов*

Обложка художника *Г. Ш. Басырова*

Технический редактор *Н. П. Собакина*

Корректор *Г. А. Полонская*

ИБ № 1113 (Атомиздат)

Сдано в набор 11.09.81

Подписано в печать 30.11.81

Т-29865

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

Бумага типографская № 2

Гарн. шрифта литературная

Печать высокая

Усл. печ. л. 7,98

Уч.-изд. л. 8,6

Тираж 40 000 экз.

Заказ 1276

Цена 25 к.

Энергоиздат, 113114 Москва М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 113114 Москва М-114, Шлюзовая наб., 10

© Энергоиздат, 1981

Самая неразумная вещь в мире — пытаться перескочить пропасть в два прыжка.

*Д. Ллойд Джордж*

Пропасть между нашими обычными представлениями о мире и теми глубокими знаниями о нем, которые получены сегодня учеными, — это поистине глубочайшая пропасть. Но давайте рискнем перескочить ее, несмотря на все сложности этой задачи — мне кажется, что на том берегу вы встретитесь с интересными вещами...

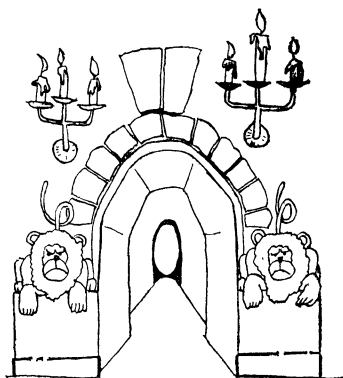
Только прыгать надо сразу! Если готовы — открывайте книгу.

## ПРЕДИСЛОВИЕ 1

**[аннотация]**

Несколько лет назад вышла в свет небольшая книга, названная автором «Новый круг». Слова эти, взятые из пророческого стихотворения американской поэтессы XIX века Эмили Дикинсон, должны были обозначить ту новую область явлений, которая открылась физикам, изучающим микромир и строение материи, в 70-х годах нашего века.

Крупные открытия, совершенные экспериментаторами на огромных ускорителях в Европе и Америке, глубокие обобщения, сделанные теоретиками, развернули перед нами картину удивительных и грандиозных процессов, парадоксальных и загадочных явлений.



Конечно, только небольшая часть этих достижений и только на весьма упрощенном языке могла быть описана в нашем небольшом очерке.

И вот мы продолжаем разговор об этих очень интересных вещах: доскажем кое-что из того, на что просто не хватило места в предыдущей книге, расскажем о новых открытиях, сделанных за прошедшие несколько лет. И задумаемся над некоторыми вопросами, интересовавшими человечество много веков, и на которые сегодня можно еще раз посмотреть с высоты наших новых знаний. Знаний впечатляющих и грандиозных — но насколько же еще неполных. . .

*Москва, июнь, 1981*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ 2**

### **(объяснительное)**

Хорошо, когда есть общепризнанная и достойно завершенная научная теория. Можно спокойно описывать ее замечательные достижения, останавливаться на приоритетных вопросах или на практических перспективах. . . Таких теорий в истории науки, между прочим, не так уж и много. Например, теория Коперника, или теория относительности, или классическая механика.

Но это мы сейчас так можем рассуждать, а, скажем, в течение пятнадцати веков до Коперника надежной и достойной теорией следовало бы считать теорию Птолемея. Сложна она была, конечно, но наблюдаемые факты объясняла очень удовлетворительно.

Очень хороша была также, с точки зрения ученых XVIII века, теория теплорода. Она не только была довольно последовательна и самосогласованна, но и допускала надежное количественное описание многих тепловых явлений.

Однако и эта теория, и птолемеявская космогония, и многие другие концепции науки прошлых веков рухнули под напором экспериментальных данных. И их место заняли другие теории, которые или совсем отбросили прежние подходы, как ненужный мусор, или включили их в свою структуру в виде частных случаев. Летом 1980 г. было сообщено, что в Принстонском университете группой Фэйрбенка сделан опыт, из которого

следует существование в свободном виде кварков — тех самых кирпичиков материи, из которых построен весь мир сильновзаимодействующих элементарных частиц (в этом убеждены сейчас практически все специалисты).

Результаты этого опыта были встречены с поразительным спокойствием. Никто не восторгался, никто не пытался всерьез опровергнуть этот опыт. А между тем еще лет десять—пятнадцать назад, в середине или конце 60-х годов, несомненно подобный эксперимент был бы в центре внимания всего сообщества физиков — еще бы объявляется об открытии свободных кварков!

Почему же в 1980 г. реакция оказалась совсем другой? Дело здесь не в том, что эксперимент в Принстоне плох или хорош сам по себе (скорее всего, он ошибочен).

Просто этот эксперимент оказался несвоевременным.

За годы с 1965 по 1980 в физике элементарных частиц сменилась основополагающая концепция, вокруг которой, как вокруг каркаса дома, наращивается материал экспериментальных и теоретических подробностей; как принято сейчас говорить, сменилась парадигма.

Согласно парадигме образца 1980 г., свободных кварков вообще не должно существовать. И вот — резко падает интерес к данным, полученным в другой парадигме. (В старой, вышедшей из моды, — еще хуже, чем в гипотетической будущей: боязнь «консерватизма» делает особыми консерваторами.) Смена парадигм — закон развития науки...

Да, движение науки не прямолинейно. Большую часть своего существования наука проводит не в благодушном достраивании и украшении почти возведенного храма, а в напряженных поисках нового плана здания или его части, попыток построить из разрозненных фактов новую концепцию, примирить противоречия...

И это состояние мучительных раздумий над грудой осколков знаний наиболее характерно для фундаментальной науки. Не логично ли поэтому, пытаясь рассказать об открытиях и поисках в физике элементарных частиц в последние годы, избрать форму не последовательного изложения, а отдельных рассказов, аналогий и вопросов?



Осколки — это мысли о современном развитии теории микромира, не претендующие на объединение в стройную картину, но и не связанные жесткой схемой. Пусть будет позволено автору говорить о разных аспектах движения научной мысли ненапряженно и раскованно. Может быть, свободные ассоциации окажутся более интересными для читателя, чем изложе-

ние, принятое для учебников. Хотелось бы, чтобы тот, кому эта книга попадет в руки, последовал бы за мыслью автора — и пошел бы дальше, дополняя своим опытом и своими ассоциациями те рассуждения, которые он здесь прочтет.

Но «Осколки» — это не только осколки нашей ищущей мысли, но и реальные осколки микромира — частицы, кластеры, кварки, партоны — главные герои нашего повествования... Их богатый мир заслуживает уважительного интереса. А не только уважение, но и эстетическое удовольствие должны мы испытывать, знакомясь с этим очень необычным, многозначительным и забавным миром. Это — красивый мир.

Он близок чем-то нашей повседневной жизни, несмотря на порой изумляющую разницу законов, которые управляют миром частиц и миром людей... Поэтому автору приходили в голову всевозможные истории об ученых, сенаторах, лесорубах, сумасшедших, мудрецах, которые казались ему уместными и, может быть, вносящими элемент развлечения в полезное дело просвещения.

Перейдем к разговору по существу. Мы не будем заниматься предысторией элементарных частиц. Кое-что из этой области было уже рассказано в «Новом круге», а вообще... не лучше ли сразу броситься в водоворот событий и фактов современной физики, совершить тот самый прыжок, о котором говорит эпиграф?

Не будем уподобляться московскому журналисту прошлого века, который, движимый состраданием, до-



стойным лучшего применения, заступился в газете «Современные известия» за... раков: «Неразумные хозяйки бросают раков в кипяток, что причиняет им страшное мучение. Кладите раков в холодную воду и нагревайте ее до кипения. Раки понемногу привыкают к теплу и во всяком случае, неприметно для них, окажутся в том же кипятке...».

Попробуем взяться за дело сразу, без медленного подогрева!

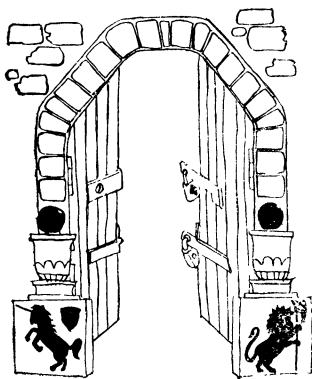
... Впрочем, подождите. Вот перед нами возникает фигура в треуголке и длинном сюртуке. И я не могу пройти мимо этого старого английского джентльмена — он требует моего и вашего внимания...

# Пролог

## О ГЕНРИ КЭВЕНДИШЕ И ЖИТЕЛЯХ ПЛАНЕТЫ ТРАЛЬФАМАДОР

Старый джентльмен иногда выходил из своего дома в пригороде Лондона и в одиночестве прогуливался по зеленым лужайкам. Хотя шел к концу уже XVIII век, он неизменно появлялся в одежде прошлого XVII столетия: в бледнофиолетовом костюме с высоким стоячим воротником, рубашке с кружевными манжетами и в парике, покрытом треугольной шляпой. Высокий и худой, он, избегая людей, ходил под высокими деревьями, окружавшими его дом. Иногда он по деревянным мосткам, пристроенным к огромному вязу, поднимался на площадку, устроенную в высокой развилке, и долго занимался там астрономическими и метеорологическими наблюдениями и опытами. Ибо это был один из самых замечательных людей науки не только того века, но и всего нового времени — сэр Генри Кэвендиш.

\*   \*   \*



Миллионер, живущий замкнутой жизнью, он иногда покидал свое убежище, чтобы прочитать лекцию в Королевском Обществе ... Его интересы охватывали химию, физику, механику, учение о теплоте, электричество и метеорологию. Свойства водорода были предметом его изучения; он впервые открыл структуру воды. И он взвесил нашу Землю, определив ее среднюю плотность.

Но очень много открытий Генри Кэвендиша, его размышлений о глубоких свойствах материи, его элегантных математических расчетов, остались в неразобраных архивах ученого. Кэвендиш не очень любил публиковать свои работы.

Современники-ученые ценили Кэвендиша очень высоко! Хэмфри Дэви, крупнейший исследователь электричества, Юнг — оптик, открывший интерференцию; ставили его в один ряд с самыми выдающимися исследователями природы. При этом они основывались только на тех работах, о которых им было известно — на опубликованных трудах.

Сэр Генри Кэвендиш умер в 1810 г. Химические работы опубликованы в 1839 г. Работы по электричеству в 1849 г. нашел Вильям Томсон (впоследствии лорд Кельвин), один из немногих людей в мире, чье имя стало термином (температура в градусах Кельвина) — и опубликовал их, частично, лишь в 1867 г.

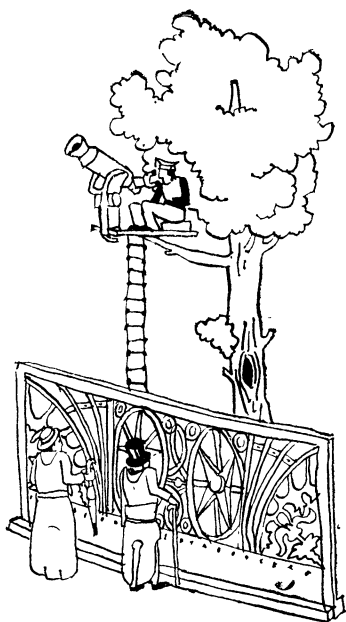
\* \*

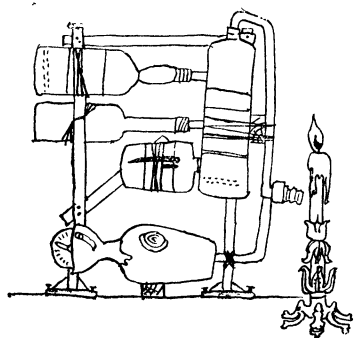
\*

Оставшиеся рукописи герцог Девонширский, потомок и наследник Кэвендиша, отдал великому английскому ученому Джеймсу Кларку Максвеллу.

Богатство, содержащееся в этих старых, пожелтевших от времени бумагах, потрясло даже рационального Максвелла. Он очень подробно изучил наследство Кэвендиша — даже повторял опыты, сделанные почти сто лет назад — и издал эти работы Генри Кэвендиша в 1879 г. сто лет назад...

И оказалось, что многие открытия Кэвендиша, содержащиеся в этих записях, были уже повторены другими учеными, и были теперь уже навсегда связаны с именами Кулона, Ома и многих других.





Да, закон Кулона, известный нам со школьной парты, был открыт именно Кэвендишем. На 13 лет раньше Кулона.

Закон Ома был выведен Кэвендишем экспериментально в 1781 г., за 46 лет до Ома ...

Странная судьба. Почему же так случилось с человеком, который посвятил себя только науке? Гово-

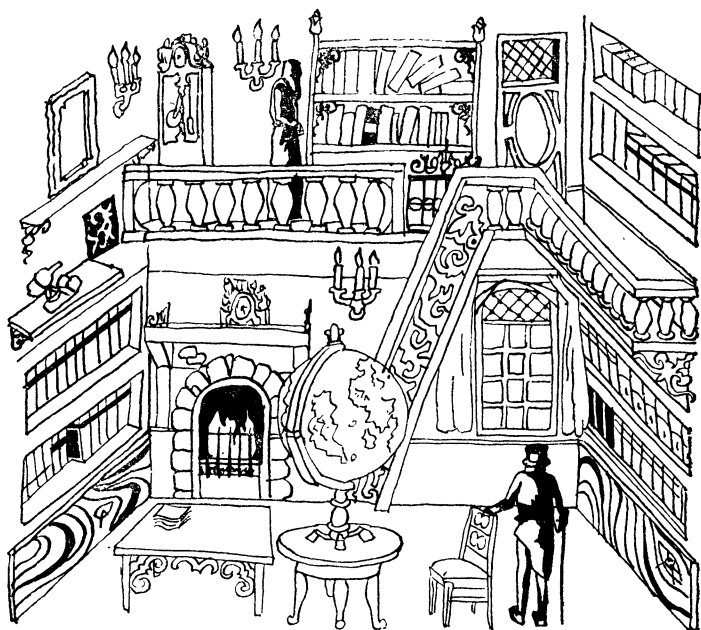
рили даже, что он совершенно лишен эстетического чувства, и его интерес к окружающей прекрасной природе Южной Англии ограничивался геологическими аспектами. Искусство, литература, внешняя красота мира мало волновали Кэвендиша. Даже в сделанных им самим приборах, заполнявших все комнаты его дома, не было элегантности, высоко ценимой в то время. В музеях мы иногда видим старинные микроскопы или весы с резьбой и чеканкой — вещи изящные, почти предметы искусства. Кэвендиш же в химических опытах использовал попавшиеся ему под руку кухонные банки и бутылки. У него была единственная цель — обеспечить эффективность исследования.

Результаты многих прекрасных опытов потом лежали десятилетиями в старых дубовых сундуках. Я думаю — это одна из самых больших психологических загадок в истории науки...

Давайте последуем за Генри Кэвендишем в его дом: вот он вернулся с прогулки.

Обычно Кэвендиш не разговаривал вообще со своим дворецким: он был так погружен в свои размышления, что не хотел отвлекаться на обмен словами, если можно было ограничиться запиской, оставленной на столе. Так он заказывал себе еду на завтра. Впрочем, здесь и записка была, пожалуй, излишней... К обеду сэру Генри неизменно подавали, летом и зимой, в течение многих лет, баранью ногу.

Однажды он ожидал к обеду трех-четырех коллег-ученых. Вот тогда-то, нарушая традицию, дворецкий и осмелился обратиться к Кэвендишу с вопросом: что подать к обеду? «Баранью ногу», — сказал Кэвендиш.



«Но, сэр, этого будет недостаточно для пятерых!» — «Гм... Ну, что же, тогда две бараньи ноги», — подумав, ответил сэр Генри... Это единственный оставшийся в записях биографов разговор Кэвендиша с его старым управляющим.

... Сегодня никто не должен был посетить Кэвендиша. По крайней мере, об этом не было известно в доме, и не делалось никаких приготовлений.

Но сэр Генри прошел в свою библиотеку быстрым шагом, как будто спеша на встречу со старыми добрыми друзьями. Этот зал был хорошо знаком многим английским естествоиспытателям. Кэвендиш держал свою библиотеку открытой для любого, кто занимался научными исследованиями. Когда сэр Генри сам брал книгу из библиотеки, он, как и все другие коллеги, аккуратно писал себе расписку на взятые тома...

Слуга внес тяжелый подсвечник с пятью горящими свечами и ушел. У кресла сэра Генри стало светлее, но в длинных углах зала сгустились тени и смутные фигуры стали проступать из сумеречного воздуха библиотеки.

В креслах старого лондонского дома спокойно сидели непривычно одетые люди. И спокойно смотрел на них Генри Кэвендиш, предвкушая увлекательную беседу, праздник ума...

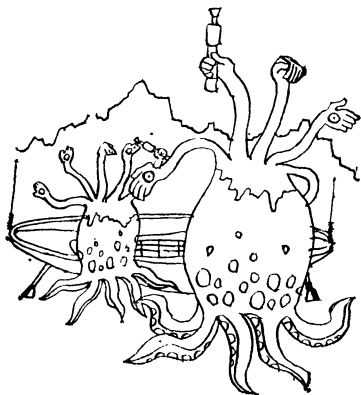
\* \*

\*

Американский писатель, наш современник, Курт Воннегут, рассказал удивительные вещи в книге «Бойня номер пять, или крестовый поход детей». Герой этого любопытного произведения, Билли Пилигрим, солдат второй мировой войны, переживший бомбардировку Дрездена, был в 1967 г. похищен летающим блюдцем.

«Блюдце это, сказал он, прилетело с планеты Тральфамадор... Существа с Тральфамадора... двух футов ростом, зеленые, присосок у них касается почвы, а чрезвычайно гибкие стержни обычно смотрят вверх. Каждый стержень кончается маленькой рукой с зеленым глазом на ладони.

Существа настроены вполне дружелюбно и умеют видеть все в четырех измерениях. Они жалеют землян, оттого что те могут видеть только в трех измерениях... Самое важное, что я узнал на Тральфамадоре, это то, что, когда человек умирает, нам это только кажется. Он все еще жив в прошлом, так что очень глупо плакать на его похоронах. Все моменты прошлого, настоящего и будущего всегда существовали и всегда будут существовать. Тральфамадорцы умеют видеть разные моменты совершенно так же, как мы можем видеть всю цепь Скалистых гор. Они видят, насколько все эти моменты постоянны, и могут рассматривать тот момент,



который их сейчас интересует. Только у нас, на Земле, существует иллюзия, что моменты идут один за другим, как бусы на нитке, и что, если мгновение прошло, оно прошло бесповоротно.

Когда тральфамадорец видит мертвое тело, он думает, что этот человек в данный момент просто в плохом виде, но он же вполне благополучен во многие другие моменты...».

Я не верю в планету Тральфамадор и в то, что можно двигаться во времени так же свободно, как и в пространстве. Но как этого порой хотелось бы!

Что же, если нам не дана природой свобода передвижения в реальном времени, то ведь вообразить себе мы можем это. Автор властен над своей книгой и ее героями. А если и подарить кому-нибудь тральфамадорские способности, то я не вижу, кто лучше подходит для этого, чем сэр Генри Кэвендиш, — человек, обогнавший многих своих современников и уже начавший двигаться во времени. Через десятилетия он беседовал с Кельвином и Максвеллом. Пусть же ему будет дано самому выбирать себе любого собеседника-ученого, из любого времени и любой страны. Мы же будем скромно присутствовать при их беседах...

Старик в хитоне, благообразный и вдумчивый, продолжил беседу, начатую, видимо, ранее.

**Аристотель:** И что же это было, о испытатель природы?

**Кэвендиш:** Это была вода, обычная вода! Из этих двух газов получилась вода. И я теперь знаю даже, сколько частей каждого из этих газов надо брать, чтобы получилась только вода, и ничего не осталось сверх того. Я могу показать мои приборы, и ты, Стагирит, сам убедишься в этом.

**Аристотель:** Постой... Я знаю, что в твоё время предпочитают делать опыты с вещами, которые ты чувствуешь и измеряешь... Но я привык сначала постигнуть суть вещей мыслью. Ибо она рассматривает идеальное, ты же имеешь дело с грязным и случайным образом. Будет ли твоё знание истинным?

**Кэвендиш:** Я много раз делал свои опыты. Три года назад, в 1782 г., я их начал, и лишь сейчас убедился, что прав.

Да ведь и другие, умудренные и искусные в наблюдениях природы, тоже пришли к этим убеждениям — и мой соотечественник Уатт, и француз Лавуазье... Почему же ты не хочешь поверить тому, что сама природа говорит нам?

Вода действительно состоит из двух газов, которые я могу описать тебе, ибо свойства их изучались мною. И смешавшись, они превращаются в жидкость, так хорошо знакомую и тебе, и мне...

**Аристотель:** Странно говоришь ты, мудрец из Британии. Известно всем, что вода — это вода, а воздух — воздух. Ведь то, что ты называешь газом, — это разнovidность воздуха... или пара?

**Кэвендиш:** Не совсем... но пусть так. Продолжай!

**Аристотель:** И так же, как и огонь и земля, вода и воздух — это элементы мироздания, неизменные и непревращающиеся. Из них все тела окружающего нас мира строятся, и на них распадаются. Но как они могут переходить друг в друга?

Рассуждения мои глубоко продуманы, и не могу я допустить, чтобы они были неверны...

(... Здесь поддерживают Кэвендиша сразу два голоса... Один из людей, вступивших в беседу, — средневековый ученый. Но это он впервые провозгласил приоритет опыта над схоластическим рассуждением: великий автор «Нового Органона» Фрэнсис Бэкон.)

**Бэкон:** Никаким образом не может быть, чтобы аксиомы, установленные рассуждением, были пригодны для открытия новых дел, ибо тонкости природы во много раз превосходят тонкость рассуждений.

А язвительный и остроумный энциклопедист (еще живой в этом году) добавляет.

**Дидро:** Понятия, не имеющие никакой опоры в природе, можно сравнить с теми лесами севера, где деревья без корней. Достаточно легкого порыва ветра, чтобы перевернуть целый такой лес; достаточно незначительного факта, чтобы перевернуть целый лес представлений...

Однако столь резкого поворота беседы не хочет уже допустить Кэвэндиш, гостеприимный хозяин. Поддерживать незатухающий огонь интеллектуального диспута ему намного проще, чем угощать гостей бараньей ногой.

**Кэвэндиш:** Думается мне, что все же не только опыты надо ставить, но следует и умозрительные конструкции возводить. Мне некоторые из них очень интересны... Наблюдая воду и разлагая ее, приходит в голову мысль, что деление материи на части, может быть, и вообще не имеет конца, но пусть лучше об этом скажет наш друг...

Чернобородый грек, улыбаясь, горячо вступил в беседу.

**Анаксагор:** Я думаю — мир состоит из бесконечного множества частиц — гомемериями я назвал их, семенами вещей. Это не простые шарик! Каждая из них, гомемерий, содержит в себе все элементы, из которых построены вещи. В ней имеется бесконечное число качеств и бесконечное число частей. Материя бесконечно делима, а каждая ее частица — бесконечно сложна! Я не могу доказать этого...

(В беседу древних мудрцов и ученых прошлых веков вступает человек вполне современного вида — не старый и не молодой, в меру энергичный и разбирающийся в достижениях современной физики... Таких людей, не сделавших особо выдающихся открытий, но необходимых для движения науки вперед — большинство среди современных ученых. Да и всегда их было, видимо, большинство.)

На международных конференциях по различным вопросам фундаментальных наук, где бы они не происходили — в Женеве, Алуште, Корал-Гэйблз, Токио или Дубне — люди, похожие на нашего нынешнего собеседника, наиболее привычны. Может быть его зовут Смит, или Иванов, или Мюллер... в полумраке не видна карточка, припиленная по обыкновению этих конференций к лацкану его пиджака. Назовем его просто: научный сотрудник.)

**Научный сотрудник:** Но и мы не можем пока привести доказательств! Мы живем на две с половиной тысячи лет позже тебя, мудрый Анаксагор! И в двадцатом веке эры, которая начнется через четыреста двадцать лет после твоей смерти, мы вооружены приборами и аппаратами, каких ты и представить себе не можешь! Сегодня перед наукой стоит тот же вопрос, что и в прежние века, и, несомненно — в будущем: в чем сущность вещей? Как устроен мир, окружающий нас? Мне правится то, что придумал ты, не ставя опытов. Но как узнать — не ошибся ли ты, рассуждая о предметах, для тебя неясных?

•   •  
•



С усмешкой говорит эрудит и злой остроумец Секст Эмпирик из своего 1 века.

**Секст Эмпирик:** Многих скептиков звал я, и о многих вещах беседовал с ними, и читал написанное в их книгах. Они весьма остроумно сравнивают тех, кто возится с вопросом о невидных предметах, со стреляющими во мраке в какую-нибудь цель. Ведь, как можно предположить, что кто-нибудь из стрелков промахнется, а кто-нибудь и попадет? Но кто попал и кто промахнулся, остается неизвестным, так приблизительно и многочисленные рассуждения направляются в глубокой тьме скрытой истины на ее поиски.



Но какое из них соответствует истине и какое противоречит ей, нельзя узнать, так как искомое далеко от ясности.

Это ведь еще Ксенофан сказал:

— Ясного муж ни один не узнал,  
и никто не возможет  
Знающим стать о богах и о том,  
что о всем возвещаю,  
Даже когда и случится кому  
совершенное молвить,  
Сам не ведает он, и всем лишь  
мнение доступно...

**Научный сотрудник:** Но все же не о богах мы говорим, а о природе, доступной нам в изучении.

Вот я и думаю, коллеги, — не будет ли интересно вам, кто жил в прошлые века, узнать, до каких пределов мудрости дошли нынешние ученые?

(Кивками одобрения встречают это предложение мудрецы и скептики, собравшиеся в библиотеке Кэвендиша. Сколько их здесь? Мы не можем сказать: одни уходят в сумерки, и облик их, рассеиваясь, переходит в дымку лондонских сумерек; другие возникают, как только разговор заинтересует их... Любый собеседник может прийти сюда из любого века.)

... Итак, посмотрим, что знают люди о природе вещей в году 1980. Конечно, я не обещаю вам, что будет рассказано обо всем, что может вас интересовать... Но осколки из этого калейдоскопа порадуют ваш ум, я надеюсь...

**Кэвендиш:** Да, друзья мои давайте попробуем понять наших преемников в далеком будущем. Однако я боюсь, что не все будет понятно нам, ибо много новых мыслей и понятий для них стали привычными со школьной скамьи, а нам придется догадываться о том, что они имеют в виду, строя себе далекие аналогии...

(Новый собеседник, мыслитель из древней Мегары, усмехаясь и кивая, отвечает хозяину.)

**Филон:** Что же, мы привыкли строить умозаключения по длинной цепочке. Много видов этих цепочек знаем мы, друзья мои, и все



они истинны—кроме того случая, когда начинаются с истинного и кончаются ложным...

Вот, внимайте, что гласяг наши рассуждения. Пусть посылка наша начинается с Истины и кончается Истиной, и она истинна: «Если сейчас день, то есть свет».

И пусть она начинается с Лжи и кончается Ложью, но и тогда истинна она: «Если Земля летает, Земля имеет крылья...» (Ученые, жившие после Коперника, тонко улыбнулись—Земля-то летает, но не как птица: зачем ей крылья... Но резкий и нетерпеливый голос ворвался в разговор, нарушив его стройное течение: это грузный человек в одежде итальянского горожанина XVI века повторил то, что было им напи-

сано в труде, посвященном кардиналу Барберини, будущему папе Урбану VIII.)

**Киарамонти:** Животные, которые обладают способностью двигаться, имеют конечности и мускулы; Земля не имеет ни конечностей, ни мускулов, следовательно, она не может двигаться! Сатурн, Юпитер, Солнце и другие планеты заставляют вращаться ангелы.

Если Земля движется, то в центре ее должен находиться ангел, который заставлял бы ее двигаться.

Но там живут только дьяволы!...

**Филон:** Я не знаю, что ты называешь этими словами: ангелы и дьяволы. Кажется мне, однако, что рассуждения твои ничего не объясняют, но лишь называют непонятное другими словами. Но да позволено мне будет продолжить мои перечисления: если начать рассуждения с Лжи и кончить Истиной, оно также истинно: Если Земля летает, то Земля существует.

И только начав с Истины и кончив Ложью, наше высказывание будет ложным: «Если сейчас день, то сейчас ночь...»

(Внимательно слушали Филона собеседники. Но то, что он говорит, для всех почти прошедший давно день мудрости... И бесконечные классификации, заведшие в дебри схоластики всю европейскую науку на долгие века поздней античности и средних веков,—не то, что интересует их сейчас.)

*Эйнштейна просили объяснить, что такое теория относительности.*

— Я шел со своим слепым другом. Было жарко, и я сказал, что хорошо бы выпить молока.

— Молока? — спросил слепой. — Выпить — это я знаю, а что такое молоко?

— Это — белая жидкость.

— Что такое жидкость, знаю. К что такое — белая?

— Белое — это цвет перьев лебедя.

— Перья — знаю, а что такое лебедь?

— Лебедь — птица с изогнутой шеей.

— Шея — знаю. А что такое — изогнутая?

*Я взял его руку, выпрямил,  
потом согнул в локте и говорю:*

*— Это — изогнутое.*

*— А! — закричал мой слепой  
друг. — Теперь я понял, что такое  
молоко!*

**Научный сотрудник:** Ну конечно, аналогии нужны нам, и недостаточны для нас. Но ведь всех нас интересует мир, в котором мы живем: пусть хотя бы через аналогии мы лучше поймем его — не так ли?



И в нашем, XX веке, нужны аналогии... и притчи..., чтобы лучше понять, как движется фронт науки, и в чем смысл научных достижений. Иначе многие любознательные люди, но не специалисты в узкой области, поймут очень немного. И вам, мои коллеги из прошлых вскоз, наверное интереснее и понятнее будет, если вместо бесплодной попытки строгого доказательства или тонкой аргументации мы совершили легкий и нескудный рейд по разным, но в равной мере интересным для нас, областям фундаментальной физики.

Конечно же, наш разговор будет отрывочным, потому хотя бы, что мы не сможем обойтись одной или немногими аналогиями — этого будет недостаточно! Нужны будут все новые и новые модели для новых аспектов открывшегося перед нами разноцветного фундаментального микромира...

(И мудрецы многих веков согласились с физиком из 80-х годов XX века...)

\* \*  
\*

Билли Пилигрим попросил на планете Тральфамадор, чтобы ему дали почитать тральфамадорские книги.

«Разумеется, Билли не умел читать по-тральфамадорски, но он хотя бы увидел, как эти книги напечатаны — небольшие группы знаков отделялись звездочками... Ему объяснили:

— Каждая группа знаков содержит краткое и важное сообщение — описание какого-нибудь положения или события.

Мы, тральфамадорцы, никогда не читаем их все сразу, подряд. Между этими сообщениями нет особой связи, кроме того, что автор тщательно отобрал их так, что в совокупности они дают общую картину жизни... Там нет ни начала, ни конца, ни напряженности сюжета, ни морали, ни причин, ни следствий. Мы любим в наших книгах главным образом глубину многих моментов, увиденных сразу, в одно и то же время».

## Глава 1

### ЗЕРКАЛО ТРОЛЛЯ

#### (модели частиц)

«Ну, начнем! Дойдя до конца нашей истории, мы будем знать больше, чем теперь.

Так вот, жил-был тролль, злющий-презлющий; попросту говоря, дьявол. Как-то раз он был в особенно хорошем расположении духа: он смастерил такое зеркало, в котором все доброе и прекрасное уменьшалось донельзя, все же плохое и безобразное, напротив, выступало еще ярче, казалось еще хуже... Дьявола все это ужасно потешало. Если человеку приходила добрая, благочестивая мысль, то она отражалась в зеркале невообразимой гримасой, так что тролль не мог не хохотать, радуясь своей выдумке. Все ученики тролля — у него была своя школа — рассказывали о зеркале, как о каком-то чуде.

— Теперь только, — говорили они, — можно увидеть весь мир и людей в их настоящем свете!

И вот они бегали с зеркалом повсюду; скоро не осталось ни одной страны, ни одного человека, которые бы не отразились в нем в искаженном виде. Напоследок захотелось им добраться и до неба, чтобы посмеяться над ангелами и самим творцом. Чем выше поднимались они, тем сильнее кривлялось и корчилось зеркало от гримас; они еле-еле удерживали его в руках. Но вот они поднялись еще, и вдруг зеркало так перекосило, что оно вырвалось у них из рук, полетело на землю и разбилось вдребезги. Миллионы, биллионы его осколков наделали, однако, еще больше бед, чем самое зеркало. Некоторые из них были не больше песчинки, они разлетелись по белу свету, попадали, случалось, в глаза и так там и оставались. Человек же

с таким осколком в глазу начинал видеть все навыворот или замечать в каждой вещи одни лишь дурные стороны, — ведь каждый осколок сохранял свойства, которым отличалось самое зеркало...

Были и такие осколки, которые пошли на очки, только беда была, если люди надевали их с целью смотреть на вещи более зорко и судить о них вернее!

Злой тролль хохотал до колик, — так приятно щеко-тал его успех этой выдумки. А по свету летало еще много осколков зеркала...». (Ханс Кристиан Андерсен, «Снежная королева»)

Так говорится в старой доброй сказке. Мы помним с детства историю Кая и Герды, и знаем, что осколок зеркала тролля, который попал Каю в сердце, растаял, «и вытек из глаза вместе со слезами...».

И Кай ушел из царства Снежной королевы.

Однако не прост был сказочник Андерсен, и не так уж все понятно было в этом царстве. Вспомним, чем занимался там юный Кай. Он ... «складывал разные затейливые фигуры из льдин и это называлось «ледяной игрой разума». В его глазах эти фигуры были чудом искусства, а складывать их — занятием первой важности. Это происходило оттого, что в глазу у него сидел осколок волшебного зеркала! Он складывал из льдин и целые слова, но никак не мог сложить того, что ему особенно хотелось, — слова «вечность». Снежная королева сказала ему: «Если ты сложишь это слово, то будешь сам себе господин, и я подарю тебе весь свет и пару новых коньков». Но он никак не мог его сложить.

В царстве Снежной королевы Кай занимался фундаментальной наукой.

Но разве обязательно для этого, чтобы в сердце был холодный осколок волшебного зеркала?



Нет, наоборот! Когда рассеялись чары тролля, «радость была такая, что даже льдины пустились в пляс, а когда устали, улеглись и составили то самое слово, которое задала сложить Каю Снежная королева; сложив его, он мог сделаться сам себе господином, да еще получить от нее в дар весь свет и пару коньков...».

\* \* \*

Альберт Эйнштейн, очень остро ощущавший свое противоборство с внешним миром, который существует и который человек познает и тем самым побеждает, говорил: «Herr Gott ist raffiniert, aber boshaft ist er nicht» (Господь бог изощрен, но не коварен).

Природа («Господь бог» у Эйнштейна, не без внутренней усмешки говорящего языком Спинозы) сложна, познание ее запутанно... Но если мы заходим в тупик, то это мы сами туда идем — нас никто не заводит умышленно в закоулки. С природой у нас идет честная игра. Из льдинок мы хотим сложить великие слова («вечность?»), из моделей-осколков строим единую картину. И надеемся, конечно, получить в награду весь мир. И пару коньков впридачу.

... «Природа не признает шуток: она всегда правдива, всегда серьезна, всегда строга; она всегда права; ошибки и заблуждения исходят от людей.» (И. В. Гете).

\* \* \*

Вот возникают перед нами изящные понятия современной физики высоких энергий — науки переднего края, впереди фронта которой уже сплошная темнота незнания.

Кварки, глюоны, резонансы, мешки, партоны... Непросто достались нам знания о них — и даже само представление об их существовании. Огромные ускорители, десятки тысяч опытов, многонациональные коллективы исследователей, эксперименты, идущие не один месяц, — все это позволяет получать новые крупницы фактов о строении частиц материи, которые меньше человека во столько же раз, во сколько раз человек меньше нашей Галактики. Складывается все же какая-нибудь единая картина?

В последние годы многие физики начинают верить в это. Незаметно появилась новая концепция, которая уже всерьез претендует на ранг теории, описывающей

законы поведения самых фундаментальных частиц, их взаимодействие и свойства.

Мы много будем говорить об этой теории. Называют ее — *квантовая хромодинамика* (КХД). С этой теорией, вокруг которой сконцентрированы надежды многих физиков, будем знакомиться медленно, с отвлечениями и отступлениями — совмещая приятное с полезным и стараясь не столько прийти в восторг, сколько понять кое-что...

\*       \*

\*

Мы знаем, что окружающий нас мир построен из молекул и атомов. Мы знаем также, что атом состоит из ядра и электронных оболочек.

Несколько десятилетий изучаются частицы, из которых ядро состоит — а затем и целые семейства других фундаментальных частиц, рождающихся в микромире. И вот уже почти двадцать лет в построениях теоретиков, занимающихся физикой элементарных частиц, используются фундаментальные кирпичики материи — кварки. Свободные кварки, как мы говорили, не обнаружены. И вопрос о том, существуют ли они, кварки, реально, все еще не относится к числу решенных окончательно. Этот вопрос, естественно, начал интересовать физиков сразу же после того, как гипотеза кварков была предложена в 1963 г.

Вот как об этом свидетельствует один весьма известный ученый:

«Но, может быть, в действительности кварков нет? Может быть, есть только (теперь уже бесспорная) симметрия свойств частиц, такая, как если бы кварки существовали? В августе 1964 г. в Дубне Гелл-Ман \* сказал по этому поводу: «Кто знает?». Боюсь, что нужно было бы другое перо, перо писателя, чтобы передать все, что он вложил в эти два коротких слова. Здесь звучало огромное уважение к эксперименту, который в последнем счете решает и ведет науку вперед; здесь была и присущая Гелл-Ману интеллектуальная смелость, и чувство нового, и готовность принять все, что дает природа, и создать из этого новую теорию, вызывать к жизни новые эксперименты...» (Успехи физ. наук, 1965, т. 86, с. 303).

\* Это (если кто не знает) очень известный и предприимчивый теоретик из США.

Если вас удивляет богатство идей, найденных в этом высказывании из двух слов, то вы излишне придирчивы. . . Бывало не менее эффектно и в прежние времена.

«Правду сказал однажды издатель «России» полковник Уманец, читая благодарственный адрес, поднесенный ему сотрудниками: «Гм...». В этом коротком «гм» все было: и разочарование, и страх за человека, и зарождающаяся мизантропия...» (Чехов, «Осколки московской жизни», 1884 г.).

\* \*

\*

Гм... Так что можно сказать сегодня о кварках — об их реальности?

Прежде всего — косвенные доказательства их существования. Вся классификация сильнодействующих элементарных частиц — адронов — прочно базируется на кварковой идеологии.

Конечно, хотелось бы чего-то более осязаемого, вещественного — не классификационных, а прямых свидетельств реальности кварков.

Есть и такие. Вот набор (наверное, далеко не полный) таких подтверждений.

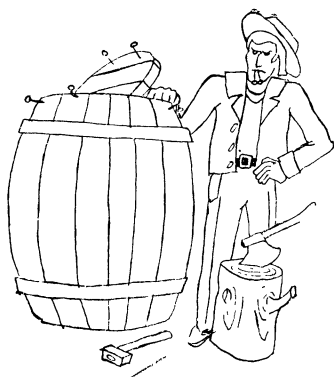
Измеряя интенсивность взаимодействия различных элементарных частиц между собой, мы получаем, в первую очередь, главную характеристику процесса — сечение взаимодействия. Чем больше это сечение, тем сильнее взаимодействуют наши частицы. Разумеется, кварковая модель должна давать предсказания об этих величинах. Одно из простейших предсказаний состоит в том, что сечения взаимодействий протона с протоном и пи-мезона с протоном относятся как три к двум. А опыт? Результаты, полученные на батавийском ускорителе штате Иллинойс (США), таковы: это отношение равно 1,7 и медленно падает.

Хороший результат. И еще много предсказаний такого рода накоплено за последние годы: например, ядерные сечения для реакций с нейтрино и антинейтрино должны относиться как три к одному. Так и есть на самом деле. . .

Да и экзотический дробный электрический заряд кварков (пусть глубоко связанных внутри частицы!) тоже измеряется, хотя и косвенно. И получаются заряды — примерно две трети и примерно минус одна треть заряда электрона, как и диктует кварковая модель.



Довольно примеров. Захваченные в плен элементарной частицы кварки настолько многообразно проявляют себя все в новых видах явлений, что не стоит сомневаться далее в их существовании. Пусть своеобразном, экзотичном, ... но кто сказал, что микромир должен быть простым повторением нашего мира?...



Линкольн рассказывал историю о том, как один фермер в Иллинойсе (может быть, недалеко от Батавии?...) строил бочку. Все шло хорошо, но вот никак он не мог поставить на место верхнее днище: все время оно проваливалось внутрь. Фермер позвал сынишку, чтобы тот изнутри руками поддержал днище, пока фермер набьет обруч и скрепит бочку. И все вышло хорошо; и проблему постройки бочки фермер успешно решил.

**Правда, возникла новая проблема: как вытащить наружу сына...**

*... «Но из бочки кто их вынет?*

*Бог неужто их покинет?*

*Сын на ножки поднялся,*

*В дно головой уперся,*

*Понатужился немножко:*

*«Как бы здесь на двор окошко*

*Нам проделать?» — молвил он,*

*Вышиб дно и вышел вон...»*

\* \*  
\*

Но пока что кварки сидят взаперти. А наше дело — рассуждать об их свойствах и особенностях. Вот мы узнали за последние годы, что существует не один набор кварков, а три. И маркируя эти наборы «цветом», мы говорили о красных, синих и желтых кварках. (Разумеется, квантовое число «цвет» в микромире ничего общего не имеет по своей физической сути с цветом, который мы видим вокруг нас.) Сомнений в существовании квантового числа «цвет», присущего кваркам, сегодня практически нет.

Наверное, самое простое доказательство существования цвета, — это свойства процесса, в котором нейтральный  $\pi$ -мезон распадается на два  $\gamma$ -кванта. Предсказания модели с цветом и модели без цвета для вероятности этого распада, отличаются очень существенно — в три раза!

И измеренное на опыте значение этой вероятности согласуется с предсказанием именно модели цветных кварков.

У частиц, которые мы называем по традиции элементарными, такого свойства (цвета) нет; экспериментально не наблюдается. Как же из «разноцветных» кварков строятся бесцветные («белые») адроны? Так же, как белый луч света состоит из набора лучей всех цветов радуги. Или, иначе говоря, из набора лучей трех основных цветов: красного, синего и желтого. Когда Ньютон призмочкой разлагал луч Солнца на составляющие цвета, он делал в оптике то же, что физики-теоретики, введившие понятие «цвета кварков», делали для физики элементарных частиц.

Разница здесь в том, что в оптике мы экспериментально наблюдаем и белый луч, и лучи разноцветные. А в физике элементарных частиц появление (теоретическое) цветных кварков как будто даже ухудшило ситуацию. И трех кварков не успели обнаружить в природе, а число кварков дополнительно увеличилось... Мало того: из разноцветных кварков можно строить не только «белые» наборы, в которых содержится строго по одному кварку каждого цвета. Можно представить себе, что и разноцветные частицы, построенные из произвольных кварковых наборов, тоже существуют в природе. А цветные частицы — это посерьезнее, чем цветные кварки, к ненаблюдаемости которых мы с грехом пополам привыкли.

Частицы наблюдаемы, и, стало быть, цветные частицы мы тоже должны были бы обнаружить в эксперименте. Но их нет. Что же, наша теория с самого начала столкнулась с глухой стеной противоречий?

*Сумасшедший пытается забить гвоздь шляпкой в стену. Конечно, ничего не получается, и он возмущается: «Они мне дали гвоздь со шляпкой не с той стороны!»*

*Другой сумасшедший, с интересом наблюдавший, замечает однако спокойно: «Это просто гвоздь от противоположной стены...»*

... Если у нас в теории что-то не ладится, то надо подумать еще над разными возможностями:

1) не той стороной мы гвоздь забиваем (плохо используем метод, непрофессионально);

2) гвоздь не от той стены! (метод вообще надо не в этой теории применять, а следует взять другую теорию).

... Впрочем, обдумывая эту мораль, не будем забывать, что в нашей притче все происходило с сумасшедшими.



Что же, нам надо искать объяснение несуществованию «цветных» частиц.

Поступим самым радикальным образом: **потребуем**, чтобы существовали только «белые» состояния. Для этого необходимо, во-первых, чтобы белые состояния («синглеты по цвету») при всевозможных взаимодействиях частиц никакого бы цвета не приобретали, а всегда, при всех изменениях, переходили в белые состояния.

Но все это очень похоже на сохранение заряда — электрического, например! Там так же при всех возможных превращениях, рождениях и уничтожениях частиц электрический заряд всегда сохраняется.

Продолжим аналогию дальше! В электродинамике заряд служит источником поля: именно вокруг заряда возникает электрическое поле; и если заряд движется, то поле — электромагнитное, и распространяется от заряда уже по законам, данным прекрасно разработанной теорией: электродинамикой.

А раз у нас в физике адронов сохраняется цвет (белое всегда остается белым), то не логично ли предположить, что цвет (аналогично заряду!) является источником сильного взаимодействия? И что вокруг цветных частиц создается поле сильного взаимодействия?

Это — идея, которая легла в основу квантовой хромодинамики. Пока что очень робкая идея, росток мысли. Его можно вырастить в могучее дерево, а можно и растоптать... Будем же бережно относиться к этой красивой идее. Посмотрим, как ее можно оживить физической и математической плотью.



Является ли скептицизм полезным мировоззрением? Скептики смотрят на это скептически..

*Станислав Ежи Лец*

Несколько человек, сидевших в уютных креслах библиотеки Кэвэндиша, слушали наши рассуждения со вниманием, но и со скептическим юмором. Не удивительно. Эти люди в хитонах — античные мудрецы школы скептиков. И самый знаменитый из них, Горгий, замечает:

**Горгий:** Недалеко же вы ушли от нас... Все так же рассуждаете о вещах, недоступных уму и ощущению, как и многие мои современники. Но разве не сказал я еще в те далекие столетия, что — ничто не существует!

**Демокрит:** Позволь же не согласиться с тобой, Горгий! Это бездоказательно, и совсем не обязан я принимать твое утверждение, сам ведь ты — скептик — говоришь, что на веру не следует ничего принимать...

**Горгий:** Ты прав. Тогда вот второе утверждение, которое ты, я надеюсь, не оспоришь: если что-либо и существует, то оно познаваемо для человека.

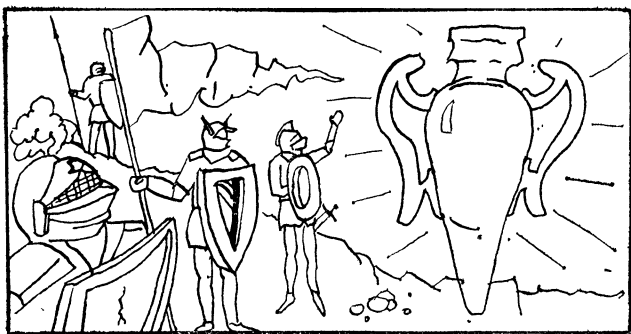
**Демокрит:** Нет, и с этим я не согласен. Неужели, занимаясь всю жизнь испытанием природы и размышлением о ее свойствах, совсем ничего не узнал я и остался столь же невежественен, каким был в мои юные годы?

**Горгий:** Я не хочу обижать тебя, и, действительно, я не думаю, что все твоё изучение бесплодно. Послушай тогда мое третье утверждение — предел мудрости, добытый нами, скептиками: Если нечто и познавшего, то оно, по крайней мере непереедаваемо и необъяснимо для ближнего.

\* \*  
\*

В давние годы крестовых походов странствующие рыцари искали в землях сарацинов чашу, в которой по легенде была собрана кровь Иисуса Христа, пронзенного копьем римского центуриона на кресте.

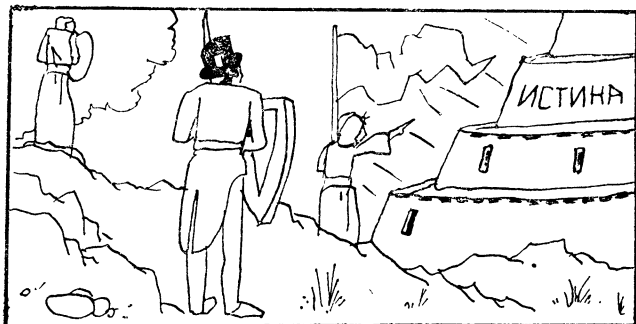
Считалось, что с обретением этой священной чаши («святого Грааля») в мир придет счастье и благополучие. Многих трудов и крови стоили эти поиски — но, увы, цепь, к которой стремились рыцари святого Грааля, была иллюзорной...



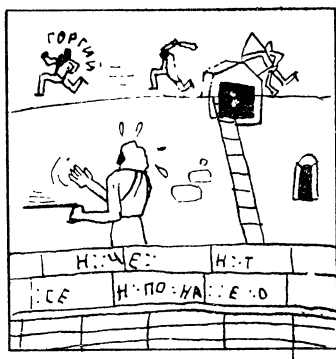
Нельзя получить истину как счастливое, неожиданное открытие, которое пребудет с нами навечно, и к которому уже ничего не нужно будет добавлять.

Поиски истины — это долгий, очень долгий, процесс, и, наверное, у него никогда не будет конца. Рыцари науки, ее подвижники разных времен и народов, ищут научную истину уже несколько тысяч лет...

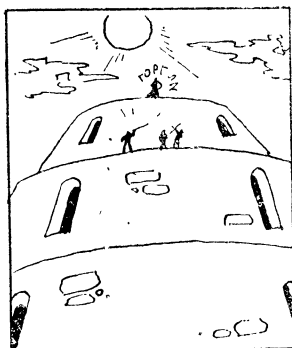
И вот мы видим их перед цитаделью, где истина скрыта за многими барьерами — рассуждениями Горгия...



Горгий утверждал сначала, что в мире ничего нет. Однако, на этой мысли он особо не настаивал, охотно соглашаясь, что кое-что может быть и есть... Но тогда — все существующее непознаваемо... И с этой позиции рассуждения изгоняли Горгия (ведь если непознаваемо — допустим! — сущность вещей, то проявления их мы наблюдаем, и, стало быть, познаем...).



Но третий довод Горгия не так уязвим, с ним просто. Как мы можем доказать другому что-то познанное нами? Как мы проверим, правильно ли он понял нас? Может быть, называя вещь каким-либо именем, мы представляем себе одно, а он — совсем иное... Рыцари науки, взявшие штурмом почти всю цитадель скептицизма, вдруг обнаруживают, что они говорят на разных языках...

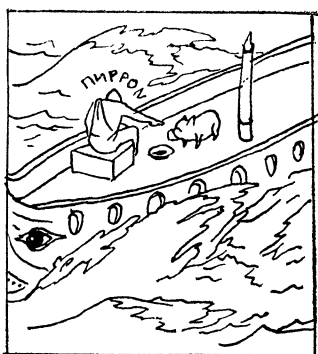
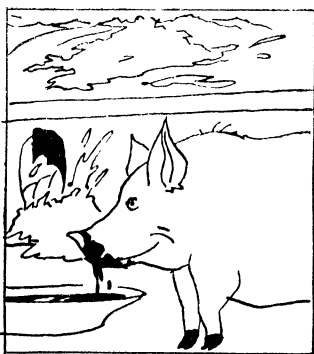


Взгляды древних скептиков обладали болезненной притягательностью для древних мыслителей. К началу нашей эры почти все философы были заражены ядом скептицизма, как об этом свидетельствует Секст Эмпирик.

Логика этого философского направления вела к удивительным заключениям... Один из скептиков, Кратил, считал, например, что не следует даже говорить ничего (ибо это бесполезно), и, по словам Аристотеля, «только двигал пальцем и ставил в упрек Гераклиту его слова, что нельзя дважды войти в ту же самую реку. А именно, сам он думал, что этого нельзя сделать даже один раз...».

Из требований скептической логики неизбежно следовали и этические правила.

Пиррон говорил: «Необходимо воздержание от суждений! Мы должны поступать только так, как поступают обычно все, согласно нравам и порядкам нашей страны... (Заметим, прервав цитату, что в наше время этого, пожалуй, никто и не назвал бы скептицизмом. Мы называем такую позицию конформизмом,



и вовсе не всегда одобряем, особенно в науке). Блаженство — это когда ты ничего и никого не знаешь, ничего ни о чем не говоришь, не знаешь, что нужно и чего не нужно делать, а делаешь все, что ни попало, обращая внимание лишь на то, как поступают другие...».

Впрочем, естественность поведения и необремененность высшими рассуждениями и эмоциями Пиррон ставил даже выше, чем конформизм... В качестве идеального поведения он предлагал пример поросенка, спокойно занятого своей кормушкой во время жестокой бури, когда в ужасе люди возносили моления богам. Скептицизм был печальным итогом античной мысли. Наука в современном смысле слова (как проверяемое опытом описание окружающего мира) практически не родилась в древнем мире. Итак, первый штурм крепости познания был проигран...

А греки Пиррона очень ценили и уважали. Он был



почтенным жрецом, а в Элиде ему была поставлена статуя.

Наверное, нам не о чем говорить сегодня со скептиками. В библиотеке Кэвендиша найдется достаточно мыслителей, которые захотят и смогут понять, что делается в науке сегодня, им это будет интересно.

\*                      \*

\*

Мы остановились на идее о том, что цвет является источником сильного взаимодействия. Нас не должно смущать экзотическое и недавнее происхождение самого понятия «цвета». Ведь и о знакомом нам со школьной скамьи электрическом заряде мы не очень многое можем сказать по существу; просто мы привыкли к нему. А, между тем, вот что говорится об этом понятии в Большой Советской Энциклопедии (т. 30, 1978);

**Электрический заряд**, источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем, внутренняя характеристика элементарной частицы, определяющая ее электромагнитные взаимодействия. Электрический заряд — одно из основных понятий учения об электричестве. Вся совокупность электрических явлений есть проявление существования, движения и взаимодействия электрических зарядов. . .

Прodelайте теперь мысленный эксперимент: замените в этом описании всюду термин **электрический заряд** на термин **цвет**, а термин **электромагнитное поле**, **электромагнитные взаимодействия** и т. д. — на термин **сильное поле**, **сильные взаимодействия**. Мы увидим тогда, что, по существу, мы уже сейчас теоретически знаем о цвете почти столько же, сколько и об электрическом заряде. Конечно, существуют приборы, измеряющие электрический заряд, а приборов, измеряющих цвет, пока не существует. Есть машины, использующие электрический ток, т. е. движение электрических зарядов, а машин, основанных на движении цвета, нет. . . Но роль цвета и электрического заряда и понимание их внутренней сущности находятся примерно на одном уровне. Поэтому не будем бояться цвета и основанной на нем основной идеи квантовой хромодинамики.

\*                      \*

\*

В теории, которая описывает электромагнитные взаимодействия, — электродинамике — существует один пе-



реносчик поля. Это квант света, или, иначе говоря, фотон. В зависимости от его энергии это может быть либо квант видимого света — от красного до фиолетового, либо ультрафиолетовый, либо жесткий и мощный квант гамма-излучения, несущий гибель живому.

Но по природе это все один и тот же объект: фотон.

В теории сильных взаимодействий дело обстоит совсем по-иному. Теория диктует здесь необходимость существования целых восьми разных типов переносчиков поля. Эти кванты цветного поля физики условились называть **глюонами** (от английского слова glue — клей), ибо они именно склеивают между собой кварки внутри элементарной частицы.

Взаимодействуют ли глюоны между собой? Или они выполняют свою службу каждый независимо?

Конечно, для нашего удобства было бы лучше, если бы, действительно, глюоны не взаимодействовали между собой. Тогда мы спокойно строили бы теорию шаг за шагом; учли бы один вид глюонов, затем — другой... Нет, не дано нам это утешение природой. Чтобы в теории не возникли бессмысленные бесконечные величины, приходится потребовать, чтобы глюоны обязательно взаимодействовали между собой.

Картина получается достаточно сложной, как видите: цветные кварки, связанные цветными же глюонами, которые к тому же и сами между собой взаимодействуют.

Вот описание такой картины и составляет содержание новой теории — квантовой хромодинамики. И хотя хлопот с такой картиной будет немало, но зато мы надеемся описать достаточно много явлений и дойти до тех подробностей разыгрываемых процессов, которые и расцветчивают живую картину микромира.

\*                      \*

... Не разрушайте слишком поспешно здание, в чем-то неудобное, чтобы не подвергнуться новым неудобствам! Вводите улучшения понемногу!

*Георг Кристоф Лихтенберг*

Теперь, когда контуры теории сильных взаимодействий и надежды, связанные с ней, определились, мы должны подумать над тем, чтобы не строить на пустом месте, а пустить в ход все методы, которые уже накоплены в теории элементарных частиц.

А самый богатый источник таких методов, арсенал математических приемов, прекрасно отработанных за несколько десятилетий, — это, конечно, квантовая теория поля. Вообще говоря, в далекой перспективе квантовая хромодинамика должна включать в себя всю квантовую теорию поля. Но до этого еще далеко...

*... Законодательная комиссия штата Миссисипи много лет назад вынесла такую резолюцию:*

*1) будем строить новую тюрьму;*

*2) будем строить из материала старой тюрьмы;*

*3) старой тюрьмой будем пользоваться до окончания строительства новой.*

*К сожалению, у нас нет сведений об успехе этого строительства.*

Между прочим, вас не удивило, что у кварков только три цвета, а глюонов потребовалось восемь.

Дело в том, что глюоны, перенося взаимодействие между цветными кварками, должны уметь реагировать на каждом конце этой связи. Если, с одной стороны, например, находится красный кварк, а с другой стороны, кварк синий, то в глюоне должен быть вклад и красного, и синего цвета. Глюон будет красно-синим: унося красный цвет от одного кварка, он должен прийти до другого кварка уже в синем виде... Глюон, таким образом, действует как преобразователь цветов. Легко сообразить, что всех вариантов сочетаний цветов по два (в том числе и вариантов сохранения цвета: красный в красный, синий в синий, желтый в желтый) будет девять. И глюонов, вроде должно быть девять.

Но не все мы можем объяснить такими простыми рассуждениями. Иначе и сложных теорий нам не пришлось бы строить. А они, эти теории ошеломляющей запутанности и изощренности, необходимы... Кто стал бы строить сложнейшую машину, если бы можно было обойтись примитивным механизмом?

Это все справедливо для теории, рассматриваемой нами, в целом. В отношении к количеству глюонов следствие этой истинной, сложной теории нам уже известно: глюонов — восемь.

\*

\*

•

Восемь глюонов. Три, четыре или пять валентных кварков, каждый из которых может иметь один из трех цветов. Сложное переплетение их взаимодействий. Где разыгрывается все это представление? Может быть

кварки и глюоны свободно летают по всему пространству нашей Вселенной, взаимодействуют, где хотят, — как это происходит, например, с электронами, или фотонами?

Нет, разумеется, ведь и кварки и связывающие их глюоны были введены нами (из теоретических соображений!) как объекты, описывающие **внутреннюю** структуру адронов. Значит, в квантовой хромодинамике, которую мы сейчас обсуждаем, необходимо обеспечить замкнутость кварков и глюонов в ограниченном объеме, соответствующем объему элементарной частицы.

Кваркам и глюонам нет дороги на свободу! Они должны постоянно находиться в заключении (по-английски конфайнмент. Посмотрим, как обстоит дело с этой проблемой в квантовой хромодинамике. Ясно, что если из внутренних требований такой теории удастся получить конфайнмент, то для теории это будет очень хорошо.

В квантовой хромодинамике, оказывается, где глюоны меняют цвет своих источников (помните, красносиние или желто-красные глюоны? ...), возникают силы, которые становятся очень маленькими на малых расстояниях, но на определенных больших расстояниях очень велики.

В нашей предыдущей книге («Новом круге») мы сравнивали это с моделью, где частицы связаны между собой гибкими пружинками. И пока эти частицы не расходятся далеко одна от другой, пружинки им почти не мешают — изгибаются слегка, или немного растягиваются. Так что частицы ведут себя почти как свободные. Но если одна частица попробует убежать от другой достаточно далеко, то пружина все сильнее будет тянуть ее назад. Растяжимость такой «пружины» в нашей теории ограничена, а прочность ее бесконечна; никогда она не лопнет. И, стало быть, частицы, связанные этой пружиной, всегда будут существовать недалеко друг от друга. Расстаться им невозможно.

Такая картина красиво называется **асимптотическая свобода** — и очень привлекательна. Действительно, эксперимент показывает, что теоретические расчеты поведения элементарных частиц лучше всего подтверждаются, если рассматривать кварки внутри адрона как почти независимые. И при этом помнить, что свободных кварков не наблюдается в эксперименте. Стало быть, кварки движутся **внутри частиц почти свободно**, а н

ружу их что-то не выпускает: асимптотическая свобода.

Более того, чтобы в теории с асимптотической свободой не возникло так называемых расходимостей (бесконечных значений величины), надо очень жестко требовать абсолютного конфайнмента — заключения кварков и глюонов в их адронной Бастилии.

Если глюоны — никакие и никогда! — не вылетают наружу из частицы, то эти ужасные расходимости («инфракрасные») не появятся. И наша славная теория — квантовая хромодинамика — выдержит еще одно испытание. Беда лишь в том, что все эти глубокие и согласованные рассуждения пока что относятся более к области пожеланий, нежели к сфере строго, математически доказанных утверждений...

Точного доказательства существования асимптотической свободы в квантовой хромодинамике мы не знаем. Хотя множество подходов к этой цели уже намечено и создано немало вспомогательных построений...

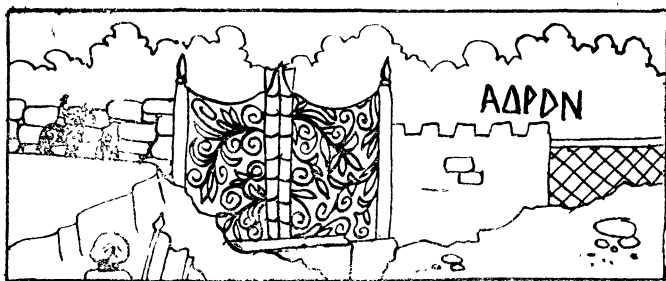
*Из замечаний физиков, услышанных на Международном совещании по нелокальной теории поля в Алуште. Апрель 1979 года.*

... «Да. Выходит, свободное передвижение возможно только в бесцветном состоянии.

Это похоже, пожалуй, на дискриминационную формулу?»

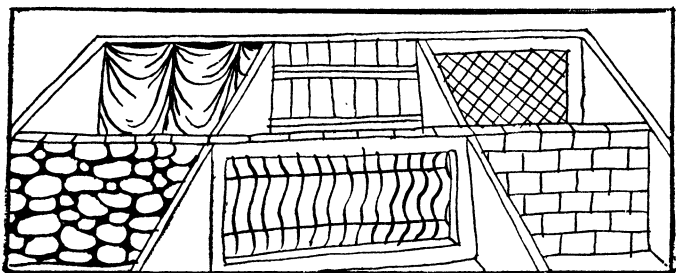
«Ну, что вы... Наоборот, асимптотическая свобода — это, наверное, наивысшая форма свободы: пока ты в коллективе — очень свободен, но попробуй отойти подальше — и коллектив тебя сильно втянет. Можно, в крайнем случае, удаляться парами. Или более массивными группами».

Сегодня для страны квантовой хромодинамики не существует надежной картины. Это — многовариантная область, и разные группы ученых представляют ее себе неодинаково.



Мы почти уверены в том, что в квантовой хромодинамике можно добиться асимптотической свободы. Правда, пока существуют доказательства этого только для модели, где пространство—время двумерно. Надежда, однако, остается, что удастся получить асимптотическую свободу и для реального физического пространства — времени.

А вот с конфайнментом сложнее. Приходится искусственно вводить в теорию существование барьера, запрещающего вылет известных частиц наружу из адро-



на. И так как каждый может совершить построение этой стены или решетки, или барьера по своему усмотрению и в соответствии со своей фантазией (ограниченной лишь некоторыми общефизическими принципами), то и на рисунках видны разные переходящие друг в друга образы этой абсолютной границы. Между кварками внутри адрона действуют глюоны: их много, и они разноцветны.

...А что же за чудовища появились по обе стороны этого барьера? Эти звери — расходимости, о которых



мы уже говорили: бесконечные величины, возникающие в теориях поля.

Эти ужасающие драконы возникают и при очень малых расстояниях, тогда их называют **ультрафиолетовыми** (УФ) расходимостями, и при весьма больших — это **инфракрасные** (ИК) расходимости. Так как мы оградили нашу частицу, адрон, барьером конфайнмента, то звери наши должны оказаться по разные стороны непреодолимого барьера. И тогда нам удастся справиться с ними методами, уже отработанными в квантовой теории поля, или, может быть, специально изобретенными.

Сложность, однако, состоит в том, что в общем случае эти бесконечности запутаны между собой. Разделить их, доказать возможность независимой войны с ними на два фронта — задача очень непростая! Многие физики сейчас пытаются доказать возможность такого разделения, «факторизации» двух типов расходимостей. Не дать соединиться чудовищам УФ и ИК! Только тогда есть надежда установить порядок в квантовой хромодинамике... Точных доказательств факторизации пока тоже нет. Но будем надеяться и на это. Тогда внешние драконы ИК уничтожатся сравнительно легко.

**А ультрафиолетовые, внутри?**

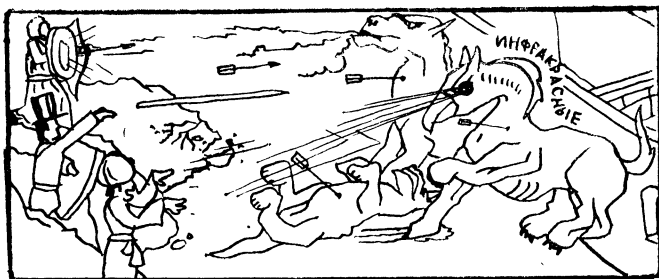
\*       \*  
\*

Порядок ведет ко всем добродетелям! Но  
что ведет к порядку?

*Георг Кристоф Лахтенберг*

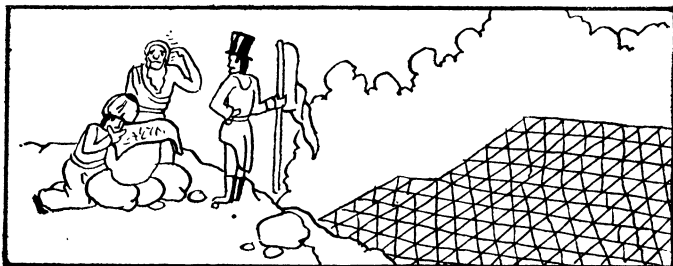
Для наведения порядка внутри нашего барьера надо сильно постараться... В последние годы популярный способ расправы с бесконечностями на малых расстояниях — введение решетки вместо обычного непрерывного пространства. Допустим (как вспомогательное построение), что пространство—время разбито на мельчайшие клеточки, и все объекты могут находиться только в узлах нашей решетки. Расчеты показывают, что такой подход будет смертельным для ультрафиолетовых чудовищ.

Но вот наши воины разгромили нашествие УФ-зврей. Теперь надо, сохраняя в сердце благодарность,



убрать решетку, которая так помогла нам в этой тяжелой битве. Убрать решетку — это значит сделать расстояния между ее узлами бесконечно малыми. Как говорят в теории, устремим их к нулю. Расходимостей у нас уже нет, а теперь мы лишние, вспомогательные конструкции уберем — вот и справимся по очереди со всеми проблемами...

Попробовали; не в первый раз такие вещи нам делать! В квантовой теории поля подобные операции проходят благополучно. А в квантовой хромодинамике дело не пошло.



Убрать строительные леса оказалось сложнее, чем построить само здание. Уберем — а оно и развалится. . .

*В Кентукки однажды построили дом. Только убрали леса, как дом с грохотом рухнул.*

*Прибежал главный строитель: «Сколько раз я должен говорить вам — не убирайте леса, пока вы не оклеили комнаты обоями!...»*

Может быть, пора оклеивать наш дом обоями — наводить красоту на теорию, пусть даже в ней остаются серьезные дефекты, о которых мы знаем, но справиться с ними не можем? Нет, пожалуй, не стоит строить, как строили в старом Кентукки. . .

\* \* \*

Улучшение дорог следует рекомендовать для того, чтобы лучше переходить с одной на другую.

*Георг Кристоф Лихтенберг*

Вот как непросто обстоит дело с квантовой хромодинамикой. Мы с вами побывали в гуще проблем, связанных с построением этой новой теории. А теперь ответьте — вы не испуганы сложностями, о которых мы говорили (далеко не обо всех, между прочим!)?

Не надо бояться. Это нормальное положение при построении новой сложной теории для новых сложных явлений. Может быть даже, что квантовая хромодинамика в том виде, как она возникает сейчас, вообще рухнет под напором трудностей и противоречий с экспериментом (хотя я в это не верю). Но новую теорию, несмотря на все сложности, надо упорно строить и, если нам повезет, в конце концов мы увидим нечто очень привлекательное. Может быть, даже грандиозное. Хотя сейчас мы не можем предсказать, как будет эта теория выглядеть в завершённом виде.

*Кэвендиш: Моя племянница любит рисовать. Вчера она была очень захвачена своим рисунком.*

*— Что ты рисуешь, Эли? — спросил я ее.*

*— Я рисую бога.*

*— Но как же ты можешь это делать? Никто не знает, как выглядит бог.*

*Эли спокойно ответила мне:*

*— Они узнают, когда я закончу рисунок.*

И мудрецы, собравшиеся у сэра Генри, переглянулись со сдержанной улыбкой. Каждый из них в свое время открыл для людей частицу истины, которая и есть истинный бог для человечества. . .



Научный сотрудник: Но каким будет этот рисунок, сэр Генри? Ведь подсознательно мы все же ожидаем, что это будет благостный (или грозный) старец с седой бородой, не так ли? А у нас рассказывают историю о человеке, который побывал на небе и видел бога. На землю он вернулся потрясенным!

— Ну что, как же выглядит бог? — столпились нетерпеливо вокруг него люди.

— Вы не поверите мне. Она — черная! ..

\* \*

\*

Работа над построением последовательной и убедительной квантовой хромодинамики — дело хорошее и серьезное. Но ученым не терпится, пока суд да дело, сконструировать себе хотя бы временную рабочую модель — пусть дает предсказания. Деятельность эта, надо сказать, носит довольно кустарный характер, и модели такого наивного вида иногда имеют тенденцию размножаться в слишком большом количестве. Можно выплавлять чугун и в глиняных самодельных печах, как это пробовали делать в Китае в недавние памятные нам годы... Надо только в отличие от авторов того эксперимента отдавать себе отчет в изначально заложенном при такой постановке дела невысоком качестве продукции.

... Пока продвигается с успехами и поражениями квантовая хромодинамика, во всех концах мира возникает множество моделей мешков, в которых авторы, не мудрствуя лукаво, удерживают от разлета кварки и тем самым решают (грубо, конечно) проблему конфайнмента.

Существует модель «мешка Массачусетского технологического института». Хорошо известен «будапештский мешок». Давно, еще на заре кварковой эры, в нашей стране начала развиваться «модель квазинезависимых кварков» — это тоже род мешка, в котором содержатся почти свободные кварки.

Все это очень запутало бы картину, если бы к счастью, не оказалось, что модели мешков, в общем, довольно сильно походят друг на друга, и с точностью



до 10—15% дают одинаковые предсказания. Большей точности в измерениях тех величин, которые находятся в сфере предсказательной силы кварковых моделей, не дает и эксперимент. Так что и спорить не о чем, особенно — чей мешок лучше. Все более или менее годятся, везде есть оболочка (неизвестно из чего состоящая), везде внутри почти свободно передвигаются кварки. Хотите — пусть они у вас глюонами обмениваются. Но и это, в общем, превышает идейный уровень моделей мешков; для них введение глюонов, пожалуй, уже переусложнение.

...«Вряд ли существует в мире такая вещь, которую кто-нибудь не мог бы сделать чуть-чуть похуже и продать чуть-чуть подешевле» (Джон Раскин).

Продать подешевле — это отнюдь не в упрек говорится! Это значит, что наш товар (в данном случае — на научной ярмарке) будет более конкурентоспособен. Модели мешков — конкурентоспособны. И я думаю, что даже при будущем расцвете строгой квантовой хромодинамики для решения многих задач (попроще) будут широко использоваться модели мешков. Какой для кого географически и идейно ближе.



О массах кварков, находящихся внутри адрона, мне вообще не хотелось бы говорить. Оценки здесь даются на основании таких шатких соображений, настолько ненадежны и зависят от фантазии или симпатий автора, что всерьез их и принимать не стоит.

Одни физики считают, что кварки страшно тяжелые. Они очень сильно связаны в адроне, поэтому и не вылетают из него на свободу, и такое взаимодействие согласно законам теории съедает у них почти всю массу, оставляя лишь столько, сколько необходимо для объяснения массы элементарных частиц. Но в этом случае неясно, как истолковать экспериментальные указания на то, что кварки в адроне движутся относительно свободно (помните — асимптотическая свобода).

Есть и другой способ рассуждений. Масса кварков — маленькая, много меньше массы адронов. Для кварков создается усилием мысли стена конфайнмента, как, и за счет чего — не знаем и знать не желаем. Главное, что кварки движутся в ограниченном объеме. А тогда по законам квантовой механики частица с небольшой

массой (и даже совсем без массы) начнет тяжелеть, тяжелеть, ... и при должном подборе объема, в котором она заперта, и начальной массы даст как раз те предсказания о массах элементарных частиц, которые нам требуются. Так и происходит в моделях мешков. Кварки в этом случае бегают, как мы знаем, почти свободно (лишь бы не выскочить за границу...).

В модели квазинезависимых кварков все это совершенно естественно и законно. Но и в квантовой хромодинамике из попыток подогнать теоретические предсказания под данные эксперимента возникают представления о небольших массах кварков. Ни из каких глубоких принципов, лежащих в основе квантовой хромодинамики, это не следует, и, вообще говоря, такой результат не должен бы появляться...

*Одна дама рассказывает психиатру о своем муже: «Доктор, с ним что-то не в порядке. Он все время пускает кольца из дыма».*

*«Здесь ничего необычного нет, — замечает врач. — Я и сам это постоянно делаю!».*

*«Но, доктор, дело в том, что мой муж не курит».*

...Все же я не буду приводить никаких данных массе кварков.

\* \*

\*

Любопытно, что в одном кварковом мешке оказывается выгоднее держать больше кварков. Выгоднее, разумеется, в энергетическом смысле.

Мы знаем, что природа устроена очень экономным по-своему образом и стремится устроить свои объекты так, чтобы производить минимум затрат на них, чтобы их энергия была, иными словами, наименьшей из теоретически возможных для рассматриваемого объекта. Это очень общая закономерность физики, работающая и для атомов, и для молекул, и для кристаллов... Всюду мы видим стремление к самой экономной конфигурации: мыльный пузырь принимает форму шара (если ему, конечно, ничто не мешает). Ионы или атомы в кристалле выстраиваются в четкую решетку. И так далее. Всюду за этим стоит стремление к энергетической экономии.

Так вот, в моделях кварковых мешков получается, что с точки зрения энергетики безразлично, как рассаживать кварки: по три кварка в два мешка или все шесть в один мешок. Рассадка три кварка + три кварка (а это значит: адрон + адрон) оказывается энергетиче-

ски более дорогой («менее выгодной»), чем если бы мы посадили все шесть кварков в один мешок. Значит, два отдельных трехкварковых мешка, соответствующих каждый адрону, будут стараться слиться в один шестикварковый мешок.

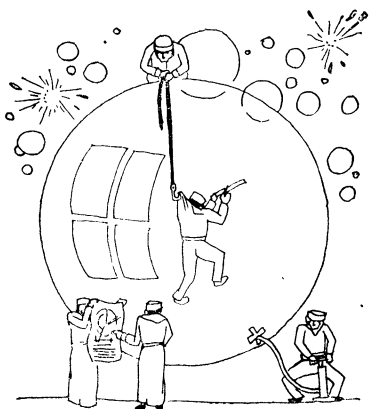
Так ли это? Вот, скажем, дейтон — ядро, состоящее из нейтрона и протона. Что, его тоже надо рассматривать как шестикварковую систему? Представьте себе, именно так.

Расчеты подтверждают, что дейтон как раз и следует рассматривать (по крайней мере в течение части своей жизни) как шесть объединенных в одну систему («один мешок») кварков, причем невозможно сказать, который из кварков принадлежит протону, который — нейтрону. Все общее!

... Разумеется, такие многокварковые объединения (кластеры) существуют и в других ядрах, даже с большей вероятностью, чем в дейтоне. И это заметно усложняет и обогащает тем самым картину ядерных взаимодействий. Теперь нам наряду с прочими непростыми обстоятельствами еще и кластеры придется принимать во внимание? Да, ничего не поделаешь, придется...

\* \* \*

... А вас не покорило то, что, обсуждая в этом разделе вещи довольно экзотические и, как говорится, престижные — адроны, кварки, ядра, — мы вдруг помянули в одном ряду с ними и мыльный пузырь?



Не надо пренебрежительно смотреть на любой физический объект: в каждом из них заложена неисчерпаемая сложность и мудрость природы. Конечно, чтобы получить мыльный пузырь, нет необходимости строить синхрофазотроны, а для изучения его свойств не надо создавать специальных научных инструментов. Но вот лорд Кельвин — человек, который в науке понимал и

сделал немало, — сказал: «Смотри на мыльный пузырь — и тебе будет достаточно материала для размышлений и рассуждений на всю жизнь: в нем одном уже заключены все законы природы...».

Я хочу поправиться: наверное, все же существуют институты, изучающие мыльные пузыри! Или их ближайших родственников. Я не шучу и не пытаюсь в фельетонном стиле проехаться относительно бесплодных и смехотворных занятий оторвавшихся от реальных задач кабинетных зануд-ученых.

Какие тут шутки. Физика тонких пленок (а мыльный пузырь — это тоже ведь тонкая пленка!) стала одним из китов, на **которых стоит микроэлектроника** — процесса современной техники.

Итак, не пренебрегайте невидными, казалось бы, объектами!... Кто знает?

• «Босоножки — они перлы» (Ф. П. Карамазов).



Квантовая хромодинамика тем временем набирает все новые и новые очки, объясняя разнообразные явления в глубоком микромире. Видимо, наступает пора начать объяснение — с ее помощью — **адронных сил**. Тех сил, которые принято также называть **ядерными**. Но одно качественное объяснение ядерных сил имеется у нас уже давно: обмен мезонами. Нуклоны или другие интересующие нас адроны, испускают и поглощают огромное количество, целые облака, мезонов разных сортов. Вокруг нуклонов образуется шуба из этих мезонных облаков, глубоко внутри которой сидит «голый» нуклон.

Хорошо. Но где же здесь кварки и связывающие их глюоны? Не противоречит ли нарисованная нами картина нуклонов, одетых в мезонные шубы и взаимодействующих, цепляясь этими шубами, уже привычному для нас кварк-глюонному миру? Да нет, ничуть не противоречит... На малых межнуклонных расстояниях следует использовать именно кварк-глюонную картину, и только ее: она дает истинную микрокартину происходящего.

Но стоит нуклонам разойтись на несколько большее расстояние, как подробное кварк-глюонное описание просто неэкономично: слишком много деталей кварк-

глюонной тонкой машины придется нам принимать во внимание при расчетах. Вылетев, например, из одного нуклона, кварк мгновенно найдет себе партнера, и уже вместе с ним, образовав мезон, полетит дальше. И мы, находясь снаружи, увидим не кварки и глюоны, а мезоны разных сортов.

Вот так и происходит плавный переход между этими двумя картинами взаимодействий. Каждой — свое место и свое время. Можно сказать еще и так. Если взаимодействия между кварками — хромодинамические (а мы условились верить в это), то можно считать, что существуют **два типа** сильных взаимодействий:

1) сильные взаимодействия, происходящие за счет глюонных обменов. Системы, где это имеет место, можно назвать, например, **адронными атомами**;

2) остаточные взаимодействия, пожалуй, напоминающие ван-дер-ваальсовы силы в теории жидкого состояния. Роль их очень велика, но к числу основных типов взаимодействия силы межмолекулярного воздействия, открытые Ван-дер-Ваальсом, никто относить не станет.

Так же точно следует считать вторичными и адронные силы, основанные на мезонных обменах, хотя этот тип ядерных сил и стал нам известен намного раньше, чем основной, глюонный тип ядерных взаимодействий. Естественно относиться, продолжая аналогию, к таким системам как к «адронным молекулам». Вот к такой картине приводит нас квантовая хромодинамика.

\*       \*

\*

*Нью-йоркский старожил хвастается приезжему приятелю:*

*— Видишь этот небоскреб?*

*Рабочие, которые отделывают последние двадцать этажей, спускаются на пятидесятый этаж позавтракать, а жильцы первых двадцати этажей уже выезжают, потому что дом старомодный...»*

Рабочие, которые трудятся на стройке нашей квантовой хромодинамики, на верхних, еще неустойчивых и недостроенных этажах ее, нет-нет да и спустятся на средние этажи строения — перехватить что-нибудь существенное: уравнений или методов теории поля. Из нижних же этажей, в свое время возведенных из самых наивных моделей, пожалуй, в самом деле начинают выезжать: старомодно...

Да, квантовая хромодинамика — это теория с огромным количеством недоделок и прорех, но она уже

имеет, как мы видели, кое-какие заслуги и снискала себе симпатии многих серьезных ученых. Вероятно, ее золотой век еще впереди. Квантовой хромодинамике еще только предстоит достичь уровня других теорий микромира, таких, как квантовая теория поля.

...Ну, как вам кажется, удастся в квантовой хромодинамике собрать в логичную картину все те осколки знаний, которые удалось накопить в физике адронов за последние годы?

*Дама (выбирая в магазине игрушку): «Эта, кажется, будет слишком сложна для ребенка его возраста?...»*

*Продавец: «Но, мадам, эта игрушка как раз рекомендована специалистами как идеальная для подготовки ребенка к реальностям современной жизни. Видите, ли, как ее не складывай, все равно будет неправильно».*

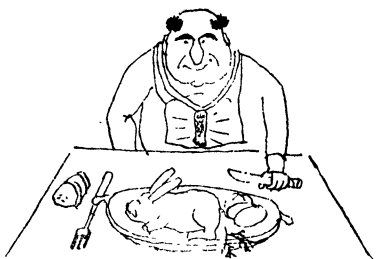
## Глава 2

### ХРОНИКА ФРОНТАЛЬНОГО НАСТУПЛЕНИЯ (квантовая теория поля)

Парашютисты! В начале Второй мировой войны не менее, чем танковых корпусов Гудериана, генералы западных держав боялись высадки массированных десантов за линией фронта. И не напрасно — кампания в Голландии, например, была выиграна фактически в результате того, что десанты немецких парашютистов закрепились и удержали в своих руках основные мосты и переправы через многочисленные водные преграды страны — удержали до подхода основных войск.

Десант на территории противника — мощное оружие! Но мы помним о том, что война закончилась в Берлине, куда за многие годы войны шаг за шагом, километр за километром, измерив своим пехотным ходом просторы нескольких государств, пришел наш солдат.

Чтобы выиграть войну, надо пройти всю территорию, на которой разыгрываются боевые действия. Надо занять каждый населенный пункт, отбить у противника каждую высоту. Хорошо, если под напором нашего наступления противник отступит без боя и очистит



укрепленные пункты, которые иначе пришлось бы брать с кровью. Но занять эту территорию все равно ведь надо. Пехота выносит на себе тяжесть войны и пехота кончает ее, заняв или освободив страну.

Сравнение фундаментальной науки со сражением, которое ученые ведут с косной природой, стремясь от-

воевать у нее все новые знания, в основе своей верно. Но, как и всякая аналогия, она, конечно, страдает неполнотой. Прежде всего мы воюем почти вслепую. У нас нет карты территории, которую занимает противник, нам неизвестно, какие новые, порой абсолютно неожиданные явления могут встретиться нам при изучении природы, в особенности микромира (и мегамира астрофизики). Поэтому мы, скорее, не сбрасываем парашютные десанты в точно известные важные пункты, а бомбим противника наугад — по намекам, по интуиции, и только огромное дымное облако взрыва показывает в случае успеха, что мы нащупали склад боеприпасов или военный завод. Гениальные или иногда скромные, удачные догадки ученых; феноменологические модели без особых обоснований; качественные расчеты-прикидки (как говорится, «по порядку величины») — это и есть те парашютные десанты или «интуитивные» бомбовые удары, о которых мы говорили.

В бесконечном мирном сражении человечества с незнанием, которое мы называем научной работой, есть приятные отличия от войны обычной. Первое — это необратимость наших успехов. Пока существует человечество, то, что мы узнали, навсегда остается с нами. Наука не может отступить (истинная наука, разумеется!). Пехота науки не отходит никогда. А вот десант может быть ликвидирован... И второе — мы не сталкиваемся с противодействием природы: она совсем не скрывает своих тайн.

Это значит, если уж мы пользуемся военной терминологией, что вражеские генералы контрнаступлений не могут организовать. В худшем для нас случае мы сами иногда временно перегруппировываемся, если возникла



необходимость привести в должное состояние спутанные боевые порядки, когда обоз и полевая кухня вдруг окажутся внутри танкового полка.

Квантовая хромодинамика — это серия десантов, одни из которых уже довольно успешно закрепились, а другие, напротив, находятся на грани уничтожения. Связь между отдельными десантными группами есть, но пока еще хрупкая и непрочная. И, конечно, главная надежда на успешный подход основных сил физики микромира, ее пехоты — квантовой теории поля.

Об этой теории, о ее истории, трудностях и блистательных победах мы и поговорим в этой главе. Не думайте только, что все проблемы в квантовой теории поля решены окончательно, что достаточно свести сложности новой теории, например квантовой хромодинамики, к задачам квантовой теории поля и все легко и просто пойдет дальше. Но переход на язык квантовой теории поля — это все-таки всегда большой прогресс...



Во многих западных странах традиционным талисманом, хранящим владельца от всевозможных житейских неприятностей, считается кроличья лапка. Но есть и такое высказывание: «Носи лапку кролика и надейся, что она принесет тебе счастье. Но все же не забывай, что самому кролику она счастья не принесла».



На грани веков XIX и XX в физике разразилась революция. Сейчас великие открытия тех десятилетий изучают в школах и институтах, о них написаны научные и научно-популярные книги и даже сняты мультфильмы. К новой физике привыкли.

Традиционно считается, что результатом «штурма и натиска» этой эпохи было создание двух прекрасных теорий: теории относительности и квантовой механики. И примерно к 1930 г. обе эти теории были в основном завершены.

Мы сосредоточим сейчас свое внимание на квантовой механике. Нас интересует строение микромира, не так ли? А ведь если теория относительности распространяет свое действие на все объекты без исключения — большие и малые, то квантовую механику имеет смысл

применять только для микрообъектов, где ее эффекты заметны и существенны.

Разумеется, формально поступая, можно и табуретку описывать уравнениями квантовой механики... Однако, проделав опромную работу и посмотрев на результат, убедимся, несомненно, что того же самого можно достичь значительно более простым путем, используя испытанную классическую механику, механику Ньютона...

Каждому инструменту науки отведено свое место. Квантовая механика — теория для микромира. Но достаточно ли она для описания всех процессов, которые там идут? Всех объектов, которые там возникают? Кончается ли квантовой механикой теоретическое осмысление микромира?

Конечно, вам понятно, что все эти вопросы риторические. Ответы на них, безусловно, отрицательны. И мы постараемся объяснить, почему.

\* \*  
\*

Но недоуменно переглядываются гости сэра Генри Кэвендиша. Наверное, им неясно, о чем идет речь. Да, увлеклись мы сегодняшним уровнем понимания природы, а ведь мудрецы прошлых веков в отличие от нас не привыкли со школьного детства к понятиям квантовой механики. Им, вероятно, и невозможно понять того, что сейчас усваивается с напряжением, но все же успешно?

**Джеймс Максвелл:** Может быть, мне будет проще понять смысл того, что вы сейчас делаете, чем другим моим коллегам, собравшимся в этом доме: от ваших дней меня отделяет всего лишь одно неполное столетие.

Итак, я начну описывать мир, как его представляли в наше время, а вы спрашивайте меня, если то, что я буду говорить, непонятно для знающих людей прошлых веков, или поправляйте, если я говорю неверно с точки зрения ученых будущего...

Мне известно прежде всего, что в мире есть два главных вида вещей: частицы и поля...

**Греки** (в один голос): Непонятно!

**Научный сотрудник:** Неверно.

**Максвелл:** Но подождите... я постараюсь пояснить. Разве непонятно, что в мире существуют мельчайшие частицы — комочки материи? Они движутся по законам, установленным, сэром Генри, вашим великим соотечественником, сэром Исааком Ньютоном... Но идея об этом возникла еще во времена, когда мыслили наши греческие коллеги, не так ли?

**Демокрит:** Не все из моих современников были согласны с этим, но, конечно же, нас не может удивить то, что ваша наука доказала истинность строения всего мира из мельчайших частиц. Но что же такое — «поля», о которых говорил ты как о сущности, которая имеется в мире наряду с частицами и, как можно судить из твоих слов, важна не менее, чем частицы?

**Максвелл:** Да, поле так же важно, как частицы. Но оно намного сложнее! Посудите сами: чтобы описать движение частицы, нам достаточно задать лишь три скорости: скорость движения вперед (или назад), вправо (или влево) и вверх (или вниз)...

А поле пронизывает собой все пространство! И чтобы описать его, надо указать, насколько сильно оно в каждой точке этого пространства. А точек-то — бесконечное множество.

Вот и получается, что если у частицы есть три выбора в движении (как говорят, три степени свободы), то у поля таких степеней свободы — бесконечное множество....

**Анаксимандр:** Вот оно что! Так вот как вы теперь понимаете апейрон — придуманную нами непрерывную сущность, кроме которой ничего нет в природе...

**Максвелл** (явно обрадовавшись): Вот видите, и поле не очень-то непривычно для вас!

**Демокрит:** И указанное тобой различие между частицами и, как ты его называешь, полем, единственное?

**Максвелл:** Нет, совсем нет. Это различие я, пожалуй, назову главным, но оно не единственно. Вот, например, частицы никогда не рождаются и не исчезают, а волны поля, скажем электромагнитного, могут и излучаться и поглощаться...

Я даже больше скажу вам. Волны поля могут, если наложатся друг на друга, усиливаться или ослабляться или даже совсем гасить друг друга.

С частицами разве может произойти нечто подобное? Нет, частицы и поле, хотя они и переплетены между собой сложной сетью взаимодействий, — все же принципиально разные вещи!

**Научный сотрудник:** И снова я скажу, сэр Джеймс, это неверно.

И в самом деле, двойственная картина мира, которая возникла при построении классической физики, оказалась неверной.

От Ньютона до Максвелла строилось здание классической теории: отдельно для частиц, а отдельно для полей (и их волн). И вот после столетий трудов дворец этот казался законченным к началу XX века. Но судьба классической физики оказалась странным образом схожей с судьбой здания Лиги Наций в Женеве. Когда после первой мировой войны была создана эта организация с несчастливой судьбой, предшественница нынешней Организации Объединенных Наций, сразу решили приступить к строительству резиденции, достойной принимать представителей большинства стран мира. Но дело с проектированием здания, покупкой места для него (на красивом берегу Женевского озера), с построй-

кой шло очень неспешно. А тем временем бурные события межвоенного двадцатилетия привели, как известно, к самоликвидации Лиги Наций, оказавшейся неспособной решать основные задачи, стоявшие перед мировым сообществом. И когда дом Лиги Наций был торжественно завершен и ленточка перерезана, то оказалось, что заседать в этом здании уже никому...

Дворец классической физики едва-едва был достроен, как по его стенам разбежались зловещие трещины. Пожить в нем толком и не успели.

Новая теория — квантовая механика — потребовала для себя строительства совсем нового комплекса зданий, возводимых на основе новых принципов.

А что же, классическая физика оказалась заброшенной и отвергнутой, как дом Лиги Наций?

Нет, в области явлений, не очень микроскопических, старых, привычных классическая физика продолжает отлично служить, как и прежде. Не надо только от нее слишком многого требовать.

... А в женевском дворце Лиги Наций сейчас размещено европейское отделение Организации Объединенных Наций. Филиал ООН для Старого Света.

\* \*

\*

Чем квантовая теория отличается от классической? Как легко догадаться, тем, что в ней есть *кванты*.

Квант — это значит, приблизительно, порция. Природа, оказывается, любит всякого рода границы, перегородки и порции. Наверное, природе скучно было бы, если бы все в ней было гладко, незаметно, непрерывно...

Скачок — и вот уже мы где-то в новом месте! Впервые понятие «квант» прозвучало в точности на границе веков — в 1900 г. Для объяснения некоторых важных закономерностей тепловых явлений Макс Планк впервые ввел в физику понятие о порции излучения... Идея оказалась богатой последствиями, как немногие в истории цивилизации.

**Планк** (строгий немецкий профессор в безукоризненном сюртуке и с моноклем): Но, господа, не надо преувеличивать. Я же не говорю, что излучение состоит из порций, из частиц... Наверное, просто в момент взаимодействия излучения с веществом возникает какой-то особый механизм, так что кажется, что излучение вроде бы состоит из порций. Я говорю туманно, может быть, но не знаю... Как это — излучение из частиц... Мне не хотелось бы, чтобы мне это приписывали...

**Эйнштейн:** Профессор Планк до последней возможности защищал принципы классической физики. Но все же излучение состоит из отдельных частиц! Кванты электромагнитного поля — фотоны — это не видимость, возникающая из какого-то специального механизма.

Нет! Излучению поистине присущи черты прерывности, дискретности, которые раньше мы приписывали только частицам.

Фотон — это и волна, и частица...

**Луи де Бройль** (старик, наш современник, потомок Бурбонов, «первый истинный король среди Бурбонов...»): И не только фотон. Все частицы — и электрон, и протон... — тоже одновременно и частицы, и волны. И нет больше границы между полем и частицами.

... Оставалось только математически оформить эти идеи, уже прекрасно подтвержденные экспериментом, на огромном числе явлений. Эта математическая теория и получила название **квантовой механики**.

А что же такое квантовая теория поля? И зачем она нужна вообще, если так замечательна квантовая механика? Не усложняем ли мы себе жизнь? Может быть, пора остановиться в «измышлении гипотез», от чего предостерегал Ньютон, или в «измышлении сущностей без нужды», запрещенном принципом «бритвы Оккама».

Давайте разберемся.

\* \*  
\*

Самые интересные процессы, происходящие в микромире, — рождение и уничтожение частиц. А они оказались неподвластны квантовой механике. Сколько частиц заложено в начале в задачу, решаемую квантовой механикой, столько их и в конце будет. А между тем не только переходы электрона с одной орбиты на другую в атоме сопровождаются излучением квантов света, то-есть рождением частиц — фотонов!, но и сам фотон может, например, породить пару электрон—позитрон... Мы хорошо знаем, что количество типов таких превращений уже сейчас огромно и все время растет с открытием новых частиц и увеличением энергии взаимодействия, достигаемых на новых ускорителях.

Процесс без рождения новых частиц (упругий) — скорее, исключение, чем правило в мире микрочастиц. Значит, теория, которая неспособна описать такой круг явлений, неполна и недостаточна. Уже одно это показывает, что от квантовой механики необходимо двигаться дальше. Однако новый круг проблем, не описы-

ваемых квантовой механикой, отнюдь не сводится только к описанию взаимных превращений частиц, их порождения и уничтожения.

Главное — в другом. Нам надо «проквантовать», т. е. описать с учетом прерывных дискретных свойств природы, **поле** — систему с бесконечным числом степеней свободы. Физики вошли в эту область квантовой теории почти незаметно для себя, шаг за шагом обобщая результаты и методы квантовой механики. Но в один прекрасный день, оглядевшись вокруг, они поняли, что находятся уже в другой стране, с другими законами, с другим ландшафтом; флорой и фауной.

\* \*  
\*

Простейший способ понять переход от квантовой механики к квантовой теории поля — рассмотреть осциллятор. Знаете, что это такое? Конечно, знаете (только, может быть, слово это для вас не совсем привычно.)

Осциллятор — это всего-навсего материальная точка, колеблющаяся подобно маятнику. Разумеется, такую систему мы можем описать классическим образом, т. е. в рамках механики Ньютона. А потом можно довольно легко перейти к квантовому описанию такого маятника. Как и положено в квантовой теории, окажется, что допустимыми значениями окажутся только некоторые, а не все, как в классической физике («спектр энергии станет дискретным»). Возникнут и другие важные изменения: например, мы потеряем возможность одновременного точного измерения импульса и координаты нашего осциллятора-маятника.

Но описанный по-новому, квантовомеханически, осциллятор все еще останется нашим единственным объектом рассмотрения. А теперь представим себе, что осцилляторами заполнено все пространство. Нет ни одной точки, где бы осциллятора не было. Стало быть, мы даже и перенумеровать осцилляторы и то не сможем: ведь точек пространства бесконечно много; мало того, они расположены, если можно так сказать, бесконечно плотно. . .

Вот мы и совершили переход к полю осцилляторов. Конечно, ясно, что число степеней свободы такого поля будет бесконечно большим. Теперь же, построив поле осцилляторов, посмотрим, как нам его описывать, и что

можно получить теперь интересного для объяснения физического мира.

Осцилляторы, естественно, колеблются, и некую совокупность колебаний поля осцилляторов никто не запрещает нам рассматривать как набор волн, пробегающих через наше поле. Если осцилляторы совершенно независимы, то и волны, пробегающие по их полю, тоже друг от друга не зависят. Но мы знаем уже, что в квантовой теории никакую волну нельзя отделить от частицы — где волна, там и частица. Эта двойственность неизбежна и обязательна в новой, квантовой физике.

Конечно, «частица», соответствующая волне, не соответствует ни одному из осцилляторов поля, взятых в отдельности. Только все вместе взятые осцилляторы, колеблемые проходящей через них волной, дают рождение «частице», и такую частицу мы будем называть **частицей возбуждения**. И только эти частицы наблюдаем, а бесконечное поле осцилляторов остается для нас вспомогательным построением — никто таких маятников не видел, и судим мы о пригодности модели только по ее успешности, как обычно.

\* \*  
\*

Если осцилляторы в нашей модели оказываются зависимыми, все невероятно усложняется. Волны возбуждений теперь сталкиваются друг с другом, рассеиваются или рождают новые волны-частицы.

Не одно поле существует в мире, не только электромагнетизм описывается полевой теорией... есть ведь и мезонные поля разных типов, и нуклонные поля, и поля нейтрино и антинейтрино...

И если взаимодействия между физическими полями разных типов становятся сильными, начинают доминировать, то, увы, наши теоретические построения не выдержат напора усложнений — утратится плодотворность введения даже самого понятия квантов наших полей.

Квантовая теория таких взаимодействующих полей — дело очень сложное. Опасно пускаться в плавание там, где такое взаимодействие мощно. Но в этих водоворотах и вблизи этих рифов, пожалуй, и скрыто самое интересное.

\* \*  
\*

Обратите внимание, мы с вами постоянно строим модели. И построили их такое количество, что, пожалуй, надо уже следить не только за объяснением мира физических явлений, но и за порядком в мире моделей, даже если объекты этих моделей вообще на свет не появляются, как осцилляторы в только что описанном наивном варианте квантовой теории поля или как глюоны в квантовой хромодинамике...

*... Молодой человек пришел наниматься по объявлению. Качая головой, хозяин показывает ему на тысячу анкет тех, кто пришел раньше.*

*— Но, может быть, — говорит молодой человек, — вы наймете меня для того, чтобы я разбирал и приводил в порядок эти ваши карточки?..*

*И пока авторы этой тысячи анкеток ждут, кого из них выберут, сообразительный молодой человек уже работает.*

Но что же делать? Логика развития науки такова, что без модельного этапа никак невозможно обойтись. Значит, надо заниматься и упорядочением этих моделей стремясь получить нечто согласованное и законченное.

Давайте, однако, отвлечемся ненадолго от конкретной беседы о квантовой теории поля. Поговорим о строительстве здания фундаментальной науки вообще.

\* \*

\*

Выдающийся советский ученый Алексей Николаевич Крылов заметил:

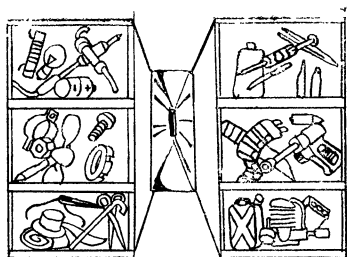
«... Геометра, который создает новые математические выводы, можно уподобить некому воображаемому универсальному инструментальщику, который готовит на склад инструмент на всякую потребу: он делает все, начиная от кувалды и кончая тончайшим микроскопом и тончайшим хронометром. Геометр создает методы решения вопросов, не только возникающих вследствие современных надобностей, но и для будущих, которые возникнут, может быть, завтра, может быть, через тысячу лет».

Ясно, однако, что такой способ комплектования «склада для науки» совсем не блестящ. Можно забить склад впрок разнообразными вещами, даже и очень хорошими, до такой степени, что не через 1000 лет, а и через 10 лет уже ничего не найдем. Если относиться к фундаментальной науке (геометр А. Н. Крылова) только как к инструментальщику, работающему на возможного заказчика, то всегда будет возникать этот об-



раз склада, забитого сверхнормативными запасами и бездействующим оборудованием. Что, как известно, очень плохо.

А, может быть, геометр все же работает по внутренней логике своей отрасли науки и заполняет четко распланированные полки своего «геометрического»



склада? А уж если что нужно, он вывозит на «прикладной» склад, где этот прибор или инструмент без дела не валяется, а сразу идет в работу. С другой стороны, при очень большой потребности практики математика (или физика, или любая другая фундаментальная наука) поднапряжется над решением срочно нужной задачи, а работу над другими задачами ненадолго отложит.

Пожалуй, можно сказать так: **темп** работы на отдельных участках задается практикой, но **план** всего здания науки определяется **только** самой наукой.

\* \*

\*

И еще хотелось бы задержаться на значении практики для фундаментальных наук. Мы привыкли к чуждому марксистскому определению: «Практика — критерий истины». Да, это так. Но всякое определение, тем более такое ярко афористическое, нуждается в глубоком осмыслении. Тогда в нем раскрываются новые аспекты и глубины, как и следует ожидать от корректного общеполитического тезиса.

Для начала приведу одно высказывание, имеющее прямое отношение к предмету нашего разговора:

«... не надо забывать, что критерий практики никогда не может по самой сути дела подтвердить или опровергнуть **полностью** какого бы то ни было человеческого представления» (В. И. Ленин, т. 18, с. 145).

Минимальный вывод, который отсюда надлежит сделать, состоит в том, что хотя практика в **конечном счете** является единственным критерием истины, ее данные никак нельзя абсолютизировать.

Связь фундаментальной науки с конкретными жизненными потребностями человечества может быть весьма сложной и многоступенчатой. Но все же теория,

способная решать новые задачи практики, может возникнуть и получить дальнейшее развитие лишь тогда, когда внутри самой науки имеются для этого достаточные предпосылки. А каким способом фундаментальная наука будет добиваться эффективного для практики результата — это ее суверенное дело. В математике, например, могут использоваться любые абстракции, в том числе и все более высоких порядков (абстракции от абстракций), если содержащая их теория в конечном счете может оказаться полезной практически, т. е. эти абстракции допускают исключение из теории посредством их реального истолкования.

Если математическая теория полезна для другой, чуть более близкой к реальным задачам математической теории, то ее существование уже удовлетворяет «критерию практики». Исключение абстракций (или для теоретической физики вспомогательных объектов или моделей) может, действительно, происходить и с помощью другой теории, использующей абстракции (или модели) более низких порядков.

И наши модели физики высоких энергий могут сами по себе и не иметь прямого физического истолкования, но быть полезными для построения других моделей...

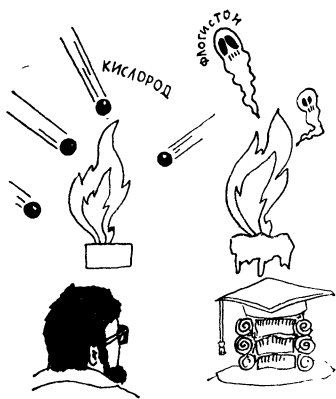
В библиотеке Кэвэндиша эти проблемы вызывают интерес: многие мудрецы прошлого задумывались над вопросами построения несхоластической теории, которая не занималась бы беспредметными утверждениями, но проверялась бы экспериментом.

**Ф. Бэкон:** Я глубоко уважаю теоретические рассуждения. Но пусть они всегда опираются на опыт! Ником образом не может быть, чтобы аксиомы, установленные рассуждением, были пригодны для открытия новых дел, ибо тонкость Природы во много раз превосходит тонкость рассуждений.

**Кэвэндиш:** Понятие все же — вещь полезная. Но не думаю, что от понятий зависит слишком многое в познании мира. Вот сейчас известно мне, что наука веков, следующих за моим, не признает теории флогистона — начала горючести. Моим опытам, между прочим, понятие флогистона совсем не мешало. Я знаю, что большинство химиков и физиков согласились с коллегой Лавуазье, что никакого флогистона, выделяемого при горении или обжиге, не существует. Лавуазье и мне говорил о том, что горение — это соединение с газом кислородом, а не выделение флогистона... Не знаю, я, не привык менять терминологию. По-моему, и на флогистонном языке можно все прекрасно описывать. А, кстати, то, что вода состоит из двух газов, один из которых Лавуазье называл «кислородом», я доказал раньше, чем он. И флогистонные понятия мне не мешают...

Сэр Кэвэндиш кое в чем прав. Пусть никакого флогистона, как мы знаем, нет. Но Кэвэндиш, пользуясь

привычной ему флогистонной терминологией, произвел опыты, которые действительно впервые доказали, что вода состоит из кислорода и водорода, и показал, в какой пропорции. Он даже изучал, что происходит, если имеется избыток кислорода в смеси газов, из которых образуется вода (получается окись азота с захватом азота воздуха). Из-за этих дополнительных опытов Кэвэндиш даже задержал публикацию своих результа-



тов с 1782 до 1784 г. В 1784 г. он сделал доклад в Королевском обществе, и разгорелись жестокие приоритетные споры, ибо в том же году аналогичные заявления сделали Антуан Лавуазье и Джеймс Уатт.

Для ясности отметим, что в этой полемике истина была, безусловно, на стороне Кэвэндиша. Лавуазье сделал свои опыты явно позже, и, кстати говоря, после рассказа посетившего его в Париже доктора Блэгдена, друга Кэвэндиша, об опытах сэра Генри. Да, кроме того, и сами эксперименты Лавуазье количественно были намного хуже, чем опыты Кэвэндиша... То же самое и с претензиями Уатта. Вот и получается, что, основываясь на некорректной модели флогистона, Генри Кэвэндиш проделал эксперименты, прямым результатом которых, в частности, было крушение теории флогистона...

Мы остановились на этой давней истории потому, что она неслучайна и неединична в истории науки. Не существует жесткой связи между теоретической моделью и реальными фактами природы. Опираясь на призрачные конструкции неверной, но полезной на данном этапе модели, вполне можно продвинуться вперед по пути познания.

Даже через сто лет после отказа от концепции флогистона Дмитрий Иванович Менделеев писал, что это учение «...обобщило множество реакций (окисления) и это было уже очень важным шагом в науке...» В том-то и дело. Если модель (или теория) играет ка-

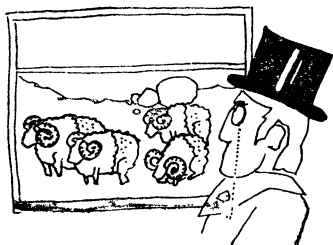
кую-то обобщающую, организующую роль, хотя бы в течение некоторого времени, она уже оправдывает себя. Надо, конечно, вовремя заметить момент, когда из двигателя науки такая «временная» теория начинает становиться ее тормозом, и отказаться от ненужной более вспомогательной теоретической надстройки. Поэтому нельзя требовать от любой модели в любой момент ее существования соответствия физической реальности во всех деталях. И если модель улавливает хотя бы некоторые важные черты реальности, и то хорошо.

Опора на временные модели не мешала, стало быть, даже такому уникальному экспериментатору, как наш сэр Генри Кэвендиш, который по воспоминаниям современников «был медлителен и глубокомыслен, никогда не тратил времени на ненужные опыты, не расходовал своей энергии на попытки решить бесполезные задачи. Все, что он делал, он делал методически, и каждое исследование проводил количественно...» И если он использовал теоретические концепции, то не по каким-либо эмоциональным мотивам, ибо Генри Кэвендиш был человеком, о котором хорошо знавший его Дж. Вильсон сказал: «... он не любил; он не ненавидел; он не надеялся; он не боялся»...

\* \* \*

\*

И не надо, наверное, так уж настаивать на слишком большой точности моделей и слишком большом соответствии их всем деталям природного процесса. Точность нам нужна лишь такая, какая диктуется реальными требованиями ситуации. Иначе мы можем уподобиться, например, государственному секретарю США Корделлу Хэллу, который был известен как исключительно осторожный в выражениях человек. Рассказывают, что однажды он ехал в поезде через штат Монтана, когда его спутник указал ему на стадо овец и заметил: «Смотрите, этих овец только что остригли». «Да, — ответил Корделл Хэлл, — их остригли по крайней мере с одной стороны, откуда мы на них смотрим...»



Пожалуй, модель Корделла Хэлла была менее при-

влекательной (хотя, строго говоря, и более опирающейся на экспериментальные факты), чем модель его попутчика... Если все время помнить о том, что в моделях многое не доказано, условно, домыслено, неточно и т. д., то мы очень усложним себе жизнь. Так, один редактор требовал от репортера, чтобы тот писал только то, в чем он может лично удостовериться. Вот образец отчета этого репортера о приеме у местного отца города: «Женщина, утверждающая, что ее зовут миссис Джон Смит и, по словам других, являющаяся лидером городского общества, вчера организовала нечто, должное быть роскошным приемом, группе лиц, о которых утверждают, что они — дамы. Хозяйка заявляет, что она — жена процветающего, как она говорит, бизнесмена...» И так далее. Конечно, это утомительно.

Лучше мы не будем требовать от моделей того, что в них не заложено. Достаточно с нас того, что эти модели полезны нам, достаточно, наконец, и того, что они просто существуют, и это...



Я должен прервать фразу на полуслове. Потому что было произнесено слово, привычное нам и, может быть, уже незаметно проскальзывающее мимо нашего внимания, но очень важное и очень нетривиальное. Это слово — «существуют».

Что оно означает по отношению к произведениям человеческого разума — моделям и теориям? Понятие существование — это, конечно, одна из предельно общих философских категорий. В философской литературе термин **существующее** часто употребляется как синоним терминов **действительное**, **обладающее бытием**. Но, между прочим, этот термин (существующее) определенно не совпадает по значению со словами **материальное**, **объективное**, **вещественное**. Мы, убежденные материалисты, можем почувствовать себя от этого неуютно, что, стало быть, и нематериальное существует? Этак нам недалеко, пожалуй, и до... Однако не будем пугаться раньше времени. Вот что говорил В. И. Ленин относительно этого, заинтересовавшего нас, вопроса:

«Что и мысль и материя «действительны», т. е. существуют, это верно» (В. И. Ленин, т. 18, с. 257).

Кроме того, В. И. Ленин одобрил следующее мнение Иосифа Дицгена:

«Дух и материя имеют, по крайней мере, то общее, что они существуют...»

Стало быть, мы можем утверждать, что мысль **существует**. Но существование, как мы видим, дело очень непростое. Существует электрон. Существует Солнце. Существует Москва. Однако существует (по-другому, конечно) и Баба-Яга — как мысль. Существует Отелло. Немного сложнее с братьями Отелло — у Шекспира их нет, но вот мы заговорили о них, и они уже существуют в наших мыслях. Вопрос же о том, **истинно** или **мыслимое**, — это совсем другое дело... И вот этот вопрос решается практикой (как мы знаем, тоже не очень просто, и совсем не автоматически).

... Не получилось ли у нас, что в мысли всегда будет существовать заведомо больше, чем в материальном мире? Я так не думаю. Мне кажется, что соотношение существующего в мысли и существующего в материальном мире можно, скорее всего, изобразить вот этими двумя пересекающимися кругами:



Один круг — это материальный мир. Второй — это мир мыслимого, мир «существующего в мысли». Пересечение круга — это то, о чем мы мыслим, и что одновременно существует в материальном мире. Кроме того, на нашей картине есть и две белые незаштрихованные области. Одна из них — это непознанные части и детали материального мира; точнее говоря, те детали мироздания, о которых мы даже и не мыслим. (Разве, скажем, пятьдесят лет назад кто-нибудь думал о глюонах? Нет. Значит, в мире мысли их не существовало. А в материальном мире, естественно, они всегда были и будут...)

Вторая же белая область — это как раз мир братьев Отелло, Бабы-Яги..., и кроме того, тех мыслимых вещей, которые затем, может быть, окажутся существующими и в материальном мире. Но пока что мы этого не знаем.



Вот какие вопросы возникают сразу: надвигаются ли эти два круга в целом один на другой с прогрессом человечества? И совпадут ли они в конце концов?

Думаю, что, конечно, двигаются. Ибо мы узнаем о мире (материальном) все больше и больше, и, следовательно, заштрихованная область, где мир мысли и материальный мир совпадают, становится все обширнее. Но никогда наши два круга не совпадут полностью. Это ясно — ведь мыслимы и заведомо абсурдные вещи. Возьмем простейший пример: утверждение «Наполеон умер в 1950 г.».

Это заведомо неверно и всегда будет неверно, если, конечно, мы не будем увиливать, играя с точкой отсчета времени (христианская-де эра имеется в виду или мусульманская, или какая-либо другая).



Итак, в философии имеются два вида существования: материальное и мысленное и, завершая это обсуждение, мне хотелось бы привести интересное рассуждение по этому поводу одного современного философа:

«Мыслимость некоторого объекта не означает еще, что он мыслится непротиворечиво. **Все непротиворечиво мыслимые объекты возможны** в широком смысле слова. Это относится не только к таким объектам, как единороги (если бы такие твари существовали, ничего в мире не изменилось бы) и жена Гамлета, но и к таким, которые возможны в другом мире с другой физикой (ковры-самолеты) и биофизикой (кентавры и крылатые кони).

Объекты же, которым приписываются противоречивые и несовместные признаки («четыреугольный круг», «деревянное железо»), невозможны в том смысле, что они не могут существовать реально. Однако поскольку о них говорят и они кем-то мыслятся, постольку они **существуют в мысли...**»

Значит, для нас нет вопроса о том, существуют ли наши глюоны, кварки, осцилляторы в моделях теории поля. В мысли они существуют, а если полезны для расчетов и для наглядного понимания природы — уже очень хорошо. Но, конечно, нам хотелось бы перевести все эти

наши модели из категории ковров-самолетов и кентавров в категорию реально существующих настоящих самолетов. Или, на худой конец, настоящих лошадей...

\* \*

\*

После долгих отступлений и рассуждений на всевозможные околонаучные темы для нас наступает время вернуться к последовательному (по возможности) разговору о некоторых основах квантовой теории поля. Мы вплотную подошли к очень важному понятию этой теории (я бы сказал, пожалуй, что и всей физики, а, может быть, и всего естествознания) — понятию физического вакуума.

Обычное житейское представление о вакууме очень просто. Вакуум — это пустота, отсутствие вещества в каком-либо объеме пространства: например, внутри электрической лампочки или между зеркальными стенками термоса. Абсолютного отсутствия вещества, частиц, конечно, очень трудно добиться. Но теоретически можно представить себе, что из какого-то объема нам удалось убрать все без исключения частицы. Это и будет полный вакуум, если мы не принимаем во внимание поля. Наша, казалось бы, пустая область будет пронизана другим видом материи — полем.

Но погодите! Мы ведь знаем, что поле тоже состоит в конечном счете из частиц, это следует из установленной квантовой теорией двойственности волна — частица. Электромагнитное поле, к примеру, будет представляться в квантовом подходе, как поле частиц света — фотонов (свет здесь мы имеем в виду, разумеется, не только видимый, но весь спектр электромагнитных излучений — от радио- до гамма-диапазона).

Такое поле имеет запас энергии, и, как положено в квантовом мире (а реальный мир и есть квантовый!), может отдавать эту энергию порциями, квантами. Отдавая фотон за фотоном, в конечном итоге поле придет к такому состоянию, в котором число фотонов равно нулю. Дальнейшая отдача энергии полем, естественно, становится невозможной, ибо ее уже не хватает на то, чтобы получился хотя бы один фотон. Но, может быть, и отдавать-то нечего, и у поля совсем ничего, никакой энергии не осталось? И поле, наверное, не существует совсем — что это за объект материального мира с нулевой энергией? Нет, в квантовой теории поля дело так



не обстоит. Если даже все фотоны, которые поле способно излучить, уже излучены, электромагнитное поле не перестает существовать — оно лишь находится в состоянии с наименьшей возможной энергией.

«Поскольку в таком состоянии фотонов нет, его естественно назвать **вакуумным состоянием** электромагнитного поля или **фотонным вакуумом**. Следовательно, вакуум электромагнитного поля — низкоэнергетическое состояние этого поля» (БСЭ, т. 11).

Разумеется, аналогичным же образом и для других частиц можно ввести представление о вакууме как о низшем энергетическом состоянии полей этих частиц. Таким образом, возникает понятие о протонном вакууме, электронном вакууме. Реальный физический вакуум — это, как нетрудно теперь понять, совокупность всех вакуумов отдельных физических полей.

И вакуум имеет энергию! (Хотя, как мы только что видели, не может быть поставщиком ее.) Вакуум — это состояние с очень важными свойствами, которые проявляются в важнейших реальных физических процессах!...

\* \*

\*

А, может быть, то, о чем мы говорим, — это просто лингвистические упражнения? Ну, называли раньше пустоту пустотой, а сейчас сказали «физический вакуум» — и думаем, что продвинулись в понимании мира или изменили что-то...

*... Однажды Линкольн, несмотря на большие усилия, никак не мог убедить своего оппонента в ошибочности его аргументации. Наконец Линкольн решил подойти к делу по-другому и спросил:*

*— Ну, ладно, скажите мне — сколько ног у коровы?*

*— Четыре, конечно, — ответил собеседник.*

*— Правильно, — говорит Линкольн. — А теперь представьте себе, что мы назовем коровий хвост тоже «нога». Сколько ног теперь будет у коровы?*

*— Ну, пять, очевидно.*

*— Вот здесь-то вы и ошибаетесь — ответил Линкольн. — Назвать хвост ногой — еще не означает сделать его ногой. У коровы так и останется четыре ноги...*

Как же нам убедиться, что физический вакуум — это не просто наукообразное переименование?

Сейчас попробуем.

\* \*

\*

Итак, отчего, если излучены все фотоны (или соответственно кванты других полей), имеется еще какой-то «остаток» поля, называемый **физическим вакуумом**?

Возможно, что это просто совпадение, случайность. Не так ли? Представьте себе, что мы имеем какое-то число и отнимаем от него установленными порциями (квантами) часть за частью. Например, наше число — 31, а установленная порция — 3. Ясно, что, отнимая квант за квантом (тройку за тройкой), мы, наконец, останемся с единичкой. Троек отнимать более невозможно, но и остаток ненулевой! Чем не модель «физического вакуума...» Однако если наше исходное число окажется кратным трем, то в результате последовательных вычитаний мы останемся с нулем... А мы ведь утверждаем, что физический вакуум существует всегда для любого поля. И он не должен быть зависим от случайных характеристик исходного поля («кратность трем» в нашей арифметической модели).

Да, не должен. Существование физического вакуума можно обосновать, исходя из очень важного и фундаментального понятия квантовой теории: **соотношения неопределенностей**. Это соотношение, иногда именуемое также (заслуженно, по моему мнению) **принципом неопределенностей**, было впервые установлено еще в 20-х годах нашего века Гайзенбергом в рамках квантовой механики.

Руководствуясь нашим неизменным в этой книге принципом, обходиться без формул, мы не будем выписывать и соотношения неопределенностей в математической форме. Хотя об этом можно пожалеть даже из эстетических соображений — настолько изящна и компактна эта формула, что в теоретической физике ее можно сравнить, пожалуй, только со знаменитой формулой Эйнштейна, связывающей массу и энергию.

Смысл соотношения неопределенностей заключается вот в чем: *нельзя получить точного знания одновременно обо всех важных характеристиках состояния физического объекта*. В квантовой теории оказывается, в частности, что никогда нельзя определить с абсолютной безошибочностью одновременно положение (координату) частицы и ее импульс (произведение массы на скорость).

Если мы «поймаем» частицу, зафиксируем ее каким-либо способом в определенной точке пространства, то

(увы!) наше знание об ее импульсе вообще совершенно исчезнет. Мы ничего не можем сказать об импульсе такой «пришпиленной» частицы. Дело, конечно, не в том, что наши способности или приборные возможности окажутся недостаточными для этого! Просто природа реально оказалась устроенной таким образом, что вообще не может существовать такого состояния, в котором координата и импульс частицы одновременно имеют точные значения.

... Мир оказался в пристальном (квантовом) рассмотрении совсем не жестким, подогнанным с абсолютной неизменностью механизмом, а принципиально гибкой системой. Жесткость, абсолютная негибкость не существует в реальном мире. И это относится отнюдь не только к координате и импульсу частицы. Таких пар величин, поставленных в соотношение взаимной неопределенности, оказалось весьма много. Например, такой парой оказались следующие две величины:

напряженности поля (скажем, электромагнитного) в разных точках и в разные моменты времени число квантов этого поля (фотонов). Что же получается?

Если в силу физических условий точно известно число фотонов, то совершенно неопределенными (т. е. способными принимать любые значения!) оказываются напряженности полей. И, наоборот, если известны точно напряженности полей, то неопределенным будет число фотонов. Теперь посмотрим, как мы строим наше состояние физического вакуума — доводим число фотонов до нуля! А нуль — это вполне определенная величина. Это — число. Могут ли быть в этом физическом состоянии и напряженности поля быть равными нулю? Ведь тогда получилось бы, что мы одновременно знаем в точности и число фотонов в этом состоянии (нуль), и напряженности поля (тоже нуль). А такое одновременное знание строго запрещено нам мощным принципом неопределенностей.

Итак, если мы построили физическое состояние, в котором отсутствуют полностью кванты поля, то ни в каком случае напряженность поля этого состояния не может быть равной нулю. Следовательно, физический вакуум непременно будет не просто пустотой, а материальным состоянием с ненулевой напряженностью поля, а, значит, и энергией, и другими характеристиками. Если мир — квантовый (а это так!), то существование

материального физического вакуума закономерно и неизбежно.

\* \* \*

Стало быть, физический вакуум существует. И мы представляем себе его как нижайшее энергетическое состояние поля, основное и единственное...

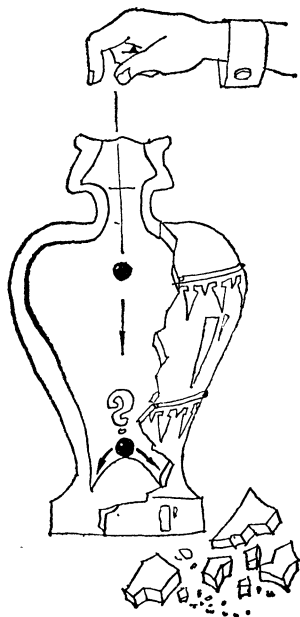
Единственное? Почему же единственное?

Наверное, это слово вырвалось у нас, так сказать, по психологическим причинам: естественно представлять себе простейшую вещь и единственной. Монетный двор, чеканящий монеты разных достоинств, наверное, будет выбивать однокопеечные монеты строго одинаковыми. Это для более крупных монет могут быть и юбилейные варианты, и специальные выпуски. Но природа — не монетный двор, и аналогия — не доказательство.

Ниоткуда не следует, что вакуум — это единственное, однозначно определенное состояние поля, а говоря более обобщенно, состояние материи. И из осознания этой идеи, оказывается, следуют крайне важные факты.

Рассмотрим для наглядности механическую аналогию системы, в которой вакуум неоднозначен и неединствен. Возьмем пустой сосуд с выгнутым дном и маленький шарик. Сосуд поставим строго вертикально, а затем (точно по оси!) бросим в него шарик.

Если бы наш сосуд имел обычную колбообразную форму, то шарик скатился бы в самую низшую точку сферической полости, и замер бы там. Вот это и был бы «единственный вакуум». (Вакуум, потому что нижайшее состояние системы, а единственность его очевидна из геометрии нашей колбы.) А что же будет происходить с нашим сосудом, имеющим не такую простую



форму дна? Попад внутрь сосуда, шарик не удержится на центральной выпуклости и скатится к краю сосуда. Может скатиться направо, например, и это будет одно из действительно нижайших состояний системы. А может — налево, и снова это будет нижайшее, «вакуумное» состояние. Но ведь эти состояния явно отличаются друг от друга! Значит, у нас появляется набор различных, но одинаково равноправных нижайших состояний.

Далее получается еще любопытнее. Ясно, что наш шарик может перемещаться вдоль кругового желоба на дне сосуда без изменения потенциальной энергии. При этом он все время будет перемещаться из одного нижайшего состояния в другое. Значит, появляется возможность движений, которые, оставляя систему в состоянии «вакуума», все-таки как-то дают ей изменяться. Наша модель — механическая. Но если представить себе ситуацию в реальном, квантовом мире, то мы сразу приходим к предсказанию о существовании специальных частиц, являющихся квантами возбуждения, соответствующего перекатыванию шарика по круговой траншее в нашей механической модели. Теоретическое рассмотрение более сложного характера показывает, что такие частицы должны иметь нулевую массу. (Пусть это вас совершенно не смущает: в физике безмассовые частицы совсем не редкость — фотон, нейтрино...) А обмен безмассовыми частицами (как, например, тем же фотоном) приводит к появлению дальнедействующих сил.

То, что мы здесь обсудили (по необходимости на весьма примитивном уровне, конечно), представляет собой не что иное, как фундаментальную теорему Н. Н. Боголюбова, гласящую, что:

«... в квантовой системе при самопроизвольном нарушении симметрии всегда возникает дальнедействие» Самопроизвольное (спонтанное) нарушение симметрии хорошо проследить на той же нашей модели с сосудом.

Пока шарик висел над горлышком, вся система была абсолютно симметричной относительно вращения вокруг вертикальной оси. В конечном состоянии, когда шарик скатился с центральной горки в какую-нибудь сторону, такой симметрии, конечно, нет. В квантовой теории поля ситуация, оцененная теоремой Боголюбова, подробно рассматривалась Голдстоуном, и безмассовые частицы, возникающие при самопроизвольном нарушении

нии симметрии в теории поля, вошли в теорию под названием голдстоуновских бозонов. Существуют ли эти частицы? И вообще, не ушли ли мы от реального мира слишком далеко в абстрактные джунгли, пусть даже чрезвычайно роскошные и экзотические?

\* \*  
\*

Лет 10—15 назад так и могло показаться. Поскольку единственным наблюдаемым в природе взаимодействием с бесконечно большим радиусом является электромагнитное взаимодействие, к голдстоуновским частицам относились, пожалуй, как к математическому курьезу. Но так продолжалось недолго. В 50-х годах начала развиваться теория так называемых калибровочных полей. Простейший представитель калибровочных полей — это хорошо известное нам электромагнитное поле. И у других калибровочных полей их кванты — такие же безмассовые частицы («калибровочные бозоны»), как фотон у электромагнитного поля.

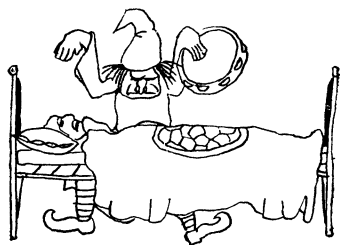
И вот, в этой, казалось бы, безрадостной ситуации нашелся замечательный выход. Безрадостность положения состояла в том, что теории предсказывали все новые безмассовые частицы — безмассовая голдстоуновская частица, безмассовые калибровочные бозоны ..., а на эксперименте нам был известен все тот же единственный фотон — уже занятый в качестве переносчика электромагнитного поля. А ведь если бы, кроме фотона, были бы и другие частицы с нулевой массой (нейтрино не в счет), то их наблюдали бы на эксперименте ...

Выход же, который нашелся здесь, действительно эффектен и изящен. Оказалось, что если объединить теорию вакуума с самопроизвольно нарушенной симметрией и калибровочную теорию, то вместо двух ненужных и обременительных для нас типов частиц без массы, появляющихся в каждой из этих теорий, при их объединении возникает частица с ненулевой массой!

Так, из двух минусов выходит один плюс ... Это теоретическое открытие носит название механизма Хиггса ...

Используя это явление, физики в конце 60-х годов построили объединенную модель электромагнитных и слабых взаимодействий, которая сейчас нашла подтверждение уже во многих и многих экспериментах. В этой

модели взаимодействие переносится четырьмя сортами частиц. Одна из них, имеющая нулевую массу, отождествляется с фотоном, который, разумеется, обязательно должен описываться этой теорией, и обеспечивать электромагнитные взаимодействия.



Три же других частицы, получившие массу как раз в результате действия механизма Хиггса, переносят взаимодействия слабые. Правда, эти частицы ( $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z$ ) экспериментально еще не открыты, но этого и не должно было случиться. Дело в том, что теория предсказывает для них довольно большую массу, и вопрос о реальности их существования, по-видимому, будет решаться уже на ускорителях нового поколения, в 80—90 годы XX века.

Создание объединенной теории электромагнитных и слабых взаимодействий — одно из крупнейших событий в теоретической физике в последние годы, в частности, крупнейшее продвижение в квантовой теории поля.

Авторам этой теории — Вайнбергу, Саламу и Глэшоу — присуждена Нобелевская премия по физике за 1979 г.

*Однажды знахарь позвали к постели больного фермера. Знахарь испробовал все свои приемы, но, наконец, признался, что не может вылечить фермера от его болезни. «Но вы знаете, я очень хорошо умею лечить лихорадку!» — сказал знахарь. «Давайте я найшу лихорадку на больного а потом вылечу его от нее — уже наверняка!..»*

Выходит, что в теоретической физике этот метод может оказаться вполне эффективным: добавить к имеющимся трудностям еще одну, и не исключено, что они взаимно уничтожатся! (механизм Хиггса).

\* \*

\*

Не хотелось бы, чтобы у читателя создалось впечатление, будто развитие квантовой теории представляло собой триумфальное шествие от одного достижения к другому. В пятидесятилетней истории этой науки не раз случалось, что возникшие сложности как идейные, так и математические вырастали, по-видимому, в непреодо-

лимое препятствие. У многих теоретиков, даже известных интеллектуальной смелостью, буквально опускались руки. Можно привести целый «букет» пессимистических высказываний, связанных, например, с проблемой расходимостей в теории поля.

Мы уже отчасти затронули этот круг вопросов в главе, посвященной квантовой хромодинамике. Но к моменту возникновения квантовой хромодинамики жесточайший кризис в квантовой теории поля, связанный с расходимостями (бесконечно большими значениями величин, предсказываемыми теорией — массы, заряда) был уже в общем преодолен.

Оказалось, что для большинства квантовополевых теорий (хотя далеко не для всех) удастся построить схему устранения этих бесконечностей. Сейчас у теоретиков-полевиков имеется набор четко сформулированных однозначных рецептов, с помощью которых и продельваются операции перенормировки: из одних бесконечных величин вычитаются специально сконструированные другие, и получившийся остаток блестяще описывает экспериментальные данные о самых важных характеристиках элементарных частиц ...

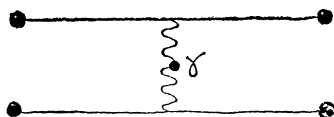
Но, как мы уже сказали, это годится, к сожалению, не для всех теорий. Вот для теории слабых взаимодействий без промежуточных переносчиков, где предполагается контакт в одной точке сразу четырех участников слабого взаимодействия — например, нейтрона, протона, электрона и нейтрино, перенормировки последовательно построить не удастся. И множество других теорий также относится к числу «неперенормируемых». Строго говоря, это означает следующее.

Мы ввиду недостаточной (увы!) эффективности нашего математического аппарата вынуждены производить подсчеты в теории поля не строго, а приближенно. Такие последовательные приближения выстраиваются в ряд, и для полного описания всего рассматриваемого эффекта необходимо посчитать (и сложить затем) все члены этого ряда.

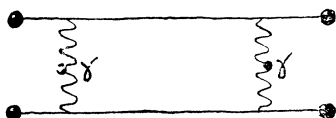
Возьмем в качестве примера взаимодействие двух электрически заряженных частиц. В квантовой теории взаимодействие — это обмен какой-то частицей, переносчиком поля. Значит, в нашем случае между, например, двумя протонами проскакивает фотон ... Обозначим протоны сплошными линиями, а фотон — волнистой.



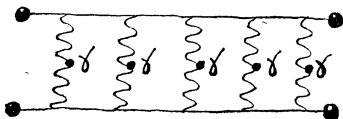
Тогда этот процесс весьма наглядно можно изобразить вот такой диаграммой:



но ведь протоны могут обмениваться и двумя фотонами,

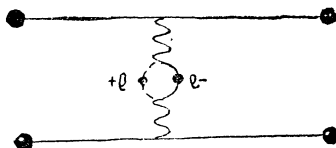


и десятью ... и так далее ...

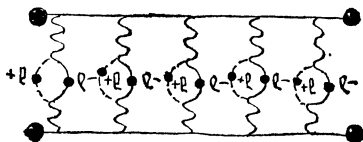


Все эти процессы надо учитывать, если мы хотим полностью подсчитать все возможные вклады в наше взаимодействие двух протонов. Более того, данный процесс не должен ограничиваться диаграммами, приведенными здесь (называемыми обычно *лестничными* по очевидной причине).

Фотон, пролетая между протонами, может взять да и родить пару частиц — античастиц: электрон и позитрон, например. Никаких законов природы, запрещающих это, нет — лишь бы хватило энергии. А затем электрон и позитрон снова сольются в квант электромагнитного поля (произойдет их аннигиляция). На диаграмме это будет выглядеть так:



Разумеется, и этот процесс может происходить много раз:



Так что в результате учета всех этих и подобных им многообразных процессов мы окажемся перед бесконечным множеством разнообразных диаграмм (они называются **диаграммами Фейнмана** и являются чрезвычайно удобным и популярным средством для теоретических расчетов в физике элементарных частиц).

Что делать? Чтобы подсчитать бесконечное количество процессов, описываемых такими диаграммами, потребуется, естественно, бесконечно много времени, чем мы не располагаем.

В квантовой электродинамике, описывающей электромагнитные взаимодействия частиц выход, к счастью, находится. Дело в том, что наши диаграммки не равноправны. Каждому пересечению линий в них («узлу») соответствует при конкретном подсчете умножение на небольшую ( $\approx 1/137$ ) величину. Значит, чем более сложна диаграмма, тем больше раз нам придется умножить результат на эту маленькую величину. А отсюда следует, что диаграммы с многими линиями будут давать в окончательный результат намного меньший вклад, чем самые простые, первые диаграммы.

Вот этими простыми диаграммами в большинстве случаев и ограничиваются физики при подсчетах; а остальные отбрасывают — все равно от них можно ожидать лишь совсем незначительных, пренебрежимых поправок.

Но это лишь в том случае, если нет расхождений! Или, если эти расхождения нам удастся убрать нашим рецептом сразу из всех диаграмм, которые могут быть нарисованы для рассматриваемого процесса. Но представьте себе, что рецепт устранения бесконечностей из расчетов («перенормировка») годится для нескольких первых диаграмм, а затем дает сбой — и последующие более сложные диаграммы уже выбрасывают нам бесконечность! Мы изменили рецепт, чтобы он годился и

для этих диаграмм, продвинемся немного и снова расчет даст бесконечность... Ясно, что здесь не поможет и умножение на маленькие множители: на что ни умножай бесконечность (разве что на нуль), она, как известно, бесконечностью и останется...

Такие теории и называются **неперенормируемыми**, и, строго говоря, расчетам, которые проводятся в них, доверять опасно.

\*   \*  
\*

Да, если говорить совсем уже начистоту, и вся теория перенормировок — не очень-то привлекательная часть здания квантовой теории поля. Рецепт есть рецепт — это вещь условная, договорная...

*Рассказывают, что в одном ресторане в Майами для привлечения посетителей висело такое объявление:*

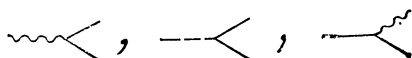
*«Если Вам больше 80 лет и Вы пришли к нам в сопровождении родителей, счет оплачиваем мы». Не знаю, процветал ли владелец это майамского ресторана. Но если бы он попытался применить этот же рецепт, скажем, в Сухуми, боюсь, он мог бы и разориться. Ибо его хитроумно составленное условие рухнуло бы перед визитами абхазских долгожителей, где 80-летние люди средних лет, пожалуй, привели бы с собой еще и дедов. А кто знает, какие неожиданности могут возникнуть в сложных построениях квантовой теории поля?*

Основной метод расчета в теории поля — это до настоящего времени — все-таки учет одной за другой диаграмм, описывающих процессы, сначала самые простенькие, затем все более и более сложные. Но, считая диаграммы и занимаясь приближениями, как бы нам за деревьями не потерять из виду леса... Нужны методы, которые позволили бы оценивать разные свойства частиц и полей в целом.

А кроме того, метод последовательных приближенных вычислений («метод теории возмущений») незаконен вообще для самой, наверное, важной для нас теории — теории сильных (ядерных) взаимодействий.

В отличие от квантовой электродинамики, где последующие по сложности диаграммы умножаются на маленькое число, естественно уменьшающее их значимость, в квантовой теории сильных взаимодействий дело обстоит прямо противоположным образом. Множи-

тель, о котором мы говорили и на который надо умножать каждый раз, как в диаграмме появляется соединение линий



и т. д.,

характеризует с физической точки зрения именно силу действующих здесь фундаментальных взаимодействий!

Для электромагнитного поля этот множитель («константа взаимодействия»), как мы уже говорили, примерно  $1/137$ , а для сильных взаимодействий константа уже больше единицы... Следовательно, чем сложнее диаграмма, тем больше раз мы умножили вычисляемую величину на константу сильного взаимодействия и тем больше вклад этой диаграммы в общий результат. Но диаграмм бесконечно много и каждая, следующая по нашим (справедливым) рассуждениям, оказывается все более важной... но и все более сложной и недоступной для расчета.

Это означает, что теория возмущений для сильных взаимодействий отказывается работать. Чем же мы ее можем заменить? Такие подходы есть. История квантовой теории поля в последние 25—30 лет в значительной степени представляет собой именно развитие и обоснование методов и схем, лежащих за пределами теории возмущений и позволяющих описывать квантовое поле в целом, находя в нем глубокие внутренние связи.

В середине 50-х годов удалось в результате чрезвычайно тонкого и остроумного математического анализа получить связь между величинами, описывающими упругие, т. е. проходящие без рождения новых частиц процессы, и величинами, характеризующими взаимодействия неупругие, в которых рождаются частицы. Этот подход, основанный на выводе и доказательстве так называемых **дисперсионных соотношений**, представлял собой очень важный исторический скачок от привычных расчетов теории возмущений к гораздо более обобщенному взгляду на мир элементарных частиц.

«Дисперсионный подход, получивший надежное математическое обоснование и развитие в работах Н. Н. Боголюбова и его школы, позволил получить ряд

интересных результатов. К ним относятся, например, определение точных значений констант взаимодействия пи-мезонов с протонами и нейтронами, а также констант взаимодействия  $K$ -мезонов, нуклонов и  $\Lambda$ -гиперонов...» (БСЭ, т. 11). Заметим, кстати, что константы взаимодействия, т. е. крайне важные величины, определяющие интенсивность фундаментальных процессов, идущих в микромире, в рамках теории возмущений вообще считать нельзя. Эти величины закладываются в теорию возмущений как внешние данные («как параметры»). Уже даже отсюда видно, насколько важным для квантовой теории поля было появление дисперсионных соотношений...



*В суде происходит допрос прохожего, свидетеля инцидента:*  
 Судья: *И вы говорите, что находились от места происшествия примерно в 200 метрах?*

Свидетель: *Да.*

Судья: *Это было в два часа ночи?*

Свидетель: *Да.*

Судья (*недоверчиво*): *Ваше зрение поистине удивительно. А вообще, на каком расстоянии вы можете ночью что-либо увидеть?*

Свидетель: *Право, я затрудняюсь ответить вам в точности. На каком расстоянии от нас находится Луна?..*

.... В привычных теориях, где продвижение шло шаг за шагом, вдруг происходит интуитивный прорыв. Но тогда результат должен сиять, как Луна. А потом можно проложить и лунную дорожку — луч к этому результату: построить строгую математическую теорию.

Физики, слушавшие доклад Н. Н. Боголюбова в Сиэттле (США) в 1956 г., доклад, где впервые было дано корректное доказательство дисперсионных соотношений, были свидетелями именно такого события в истории науки.



Однако всеобъемлющих методов не бывает. И мощный аппарат дисперсионных соотношений, конечно, не смог дать нам решения всех проблем физики высоких энергий. Тем более, что при продвижении в область все более и более высоких энергий возникают новые эффекты, о которых раньше мы просто ничего не знали.

В экспериментах, которые проводились в начале 70-х годов на гигантском Серпуховском ускорителе, было отмечено явление **масштабной инвариантности**: говоря проще, нечто вроде подобия одних явлений другим, происходящим при других параметрах, как два треугольника подобны между собой. Но такое подобие может возникнуть лишь в том случае, если свойства объекта (или характеристики процесса) не меняются вразброд, совершенно независимо друг от друга, а напротив, строго коррелируют между собой. Это значит, что вместо независимого изучения многих отдельных величин нам достаточно будет проследить за изменением гораздо меньшего количества таких величин. Другие же характеристики будут просто следовать за этими автоматически, подстраиваясь так, чтобы в теории сохранилось подобие (кстати, отсюда понятно, почему другое название масштабной инвариантности — **автомодельность**). Природа сама дарит нам упрощения!

\* \*

\*

Библиотека Генри Кэвендиша.

**Пифагор:** Что же, это, пожалуй, понятно. Если мы хотим, например, построить большой квадрат, имея меньший, мы не можем независимо увеличивать каждую из его сторон. Иначе получится не квадрат, а другой прямоугольник, с разными по величине сторонами. Стало быть менять мы можем только одну сторону, а вторая должна следовать за ней автоматически.

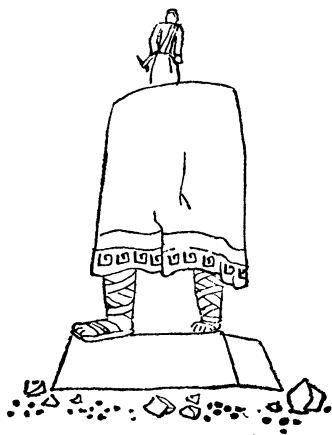
Значит, не только в геометрии так бывает, но и в изучении мельчайших частиц, которыми занимаются наши потомки? Любопытно...

**Секст Эмпирик:** Но с подобием надо быть поосторожнее. Рассказывают, что однажды родосцы спросили архитектора Харита, сколько он истратил средств на построение колосса. Когда он что-то исчислил, они снова его спросили, сколько же было бы это, если бы они захотели построить статую двойную по величине. И после того, как он выставил двойную сумму, они ему дали ее, а он, истративши ее только на одно основание и на проекты, наложил на себя руки. После его смерти мастера увидели, что нужно было требовать не двойную, но восьмерную сумму, так как сооружение надо было увеличить не только в длину, но и во всех направлениях.

**Научный сотрудник:** А я могу привести вам пример автомодельности в обычной жизни. В одном кинотеатре висело объявление:

«Пожилые дамы могут не снимать шляп во время сеанса».

И представьте себе, автоматически установится требуемый порядок! Естественно, никто из дам не пожелал добровольно отнести себя к категориям пожилых, и шляпы к удовольствию зрителей, сидевших сзади, были сняты. Итак, был принят во внимание один глазный параметр — дамская психология. А уж другие величины, описывающие ситуацию в кинотеатре, — возраст, признаваемый самими дамами, и число неснятых шляп в кинотеатре последовали за этим главным параметром явно автомодельным образом.



В квантовой теории поля накоплено огромное богатство методов, результатов, математических и физических фактов. Совершенно неудивительно поэтому, что квантовая теория поля, как мы уже говорили, является образцом и целью, к которой стремятся другие теории микромира, возникшие сравнительно недавно и имеющие дело с новыми областями экспериментального знания о природе материи.

Но кажется, нельзя ожидать, что все трудности, например, квантовой хромодинамики, исчезнут, когда нам удастся развить ее до той степени совершенства, на которой пребывает квантовая теория поля. У каждой теории своя степень трудностей. Как говорится: «у одних жемчуг мелкий, у других хлеб черствый».

Взаимоотношения же квантовой хромодинамики и квантовой теории поля поможет понять такая история...

*Однажды нищий пришел к Ротшильду и стал громко кричать в приемной: «Моя семья голодает, а банкир не хочет меня даже впустить!»*

*Ротшильд, услышав крики, вышел, дал нищему 10 талеров, но заметил: «А если бы вы так громко не кричали, то получили бы не 10, а 20 талеров.»*

*На что нищий с достоинством ответил: «Господин барон, вы — банкир. Разве я даю вам советы, как надо управлять банком? А я — нищий, так, пожалуйста, не давайте мне советов по ниществу...»*

Действительно, в современных моделях элементарных частиц очень желательно использование мощного математического аппарата квантовой теории поля.

Но, с удовольствием получая эти талеры от богатого ближнего, модельные подходы в физике элементарных частиц, к которым на этом этапе мы относим и квантовую хромодинамику, располагают сейчас и многими своими трюками, методами и подходами. Многие из них пришлось вводить отнюдь не из желания быть оригинальными, а просто потому, что надо ведь было хоть как-то пробиться сквозь дебри трудностей. И вот и в арсенале модельных подходов тоже накопилось достаточное количество оригинальных видов оружия...

Если же подойти к этому вопросу с чуть более общей точки зрения, то следует ожидать, что квантовая теория поля, безусловно, очень нужна для квантовой хромодинамики, но к ней, к теории поля, все богатство нового мира, открытого внутри элементарных частиц, свестись не может... Для создания теоретической биологии, по-видимому, недостаточно оснастить нынешнюю биологию физическими, математическими и химическими методами. Многие специалисты считают, что более существенным именно для биологического уровня материи будет активное использование теории систем, на основе которой только и сможет вырасти истинная теоретическая биология.

А что понадобится для построения истинной теории структуры и взаимодействий фундаментальных частиц, кроме квантовой теории поля? Неизвестно. Не исключено, что теория множеств...

\* \*  
\*

Подходя к концу этой главы, мы вступаем в область очень глубоких проблем, находящихся на грани физики, математики и философии.

Речь идет об аксиоматическом подходе в квантовой теории поля. Этот подход был вызван к жизни стремлением построить стройное здание теории, основываясь на самых «надежных» положениях, образующих математический и физический фундамент теории. Эти положения объявляются аксиомами, и из них затем конструируется вся теория.



Основные аксиомы квантовой теории поля достаточно просты и убедительны, так и положено аксиомам.

1) релятивистская инвариантность — удовлетворение требованиям теории относительности;

2) причинность — требование, чтобы причина всегда предшествовала следствию, на физическом языке сводящееся (слегка упрощая) к запрету сигналов, распространяющихся быстрее света.

3) спектральность (несколько таинственное название) — всего-навсего требование того, чтобы энергии всех допустимых состояний физической системы были положительными, если считать энергию вакуумного состояния равной нулю.

Вот в общем и все. Остается доказать, что на основе этих требований можно построить непротиворечивую теорию квантовых полей.

Аксиоматический подход должен указать доступные экспериментальному изучению следствия, вытекающие из современных представлений о пространстве и времени. Значит, мы смогли бы напрямую проверять эти представления! Так, если бы в каком-либо эксперименте обнаружилось нарушение аксиомы причинности, это означало бы, что нам следует подвергнуть коренной ревизии существующую физическую картину пространства—времени на сверхмалых расстояниях.

Построение аксиоматической квантовой теории поля — дело исключительно трудное. Не случайно в этом направлении можно отметить значительно меньшее количество крупных успехов, чем в обычном квантовомеханическом подходе: условия игры намного строже! К исходным аксиомам нельзя ничего добавлять — и выводы мы можем делать только из их совместного изучения и развития. Зато проводимые в рамках аксиоматического подхода исследования позволяют обнаруживать те исходные положения в традиционной квантовой теории поля, которые нуждаются в логическом и математическом уточнении.

А логические и математические проблемы, возникающие при изучении уже достигнутого уровня структуры материи, поистине сложнее. Мы все время наталкиваемся на бесконечности, на множества, определенные недостаточно корректно. Видимо, наступает время взглянуть на теорию поля с точки зрения самой драматичной (может быть) области точного знания — теории

множеств. Физический вакуум, включающий в себя в потенциале все богатство микромира (вплоть до глубин, о которых мы даже не подозреваем), требует этого.



Что касается аксиоматического подхода, то мы не оставим его в этой квантовополевой главе, а возьмем с собой дальше. Ибо строить аксиоматические конструкции в математике приходится даже гораздо чаще, чем в теоретической физике. Что выбирать в качестве исходных представлений, т. е. аксиом, — это другой вопрос. И очень непростой...

Как писал в III веке Секст Эмпирик:

«Представления бывают убедительные, неубедительные, убедительные и одновременно неубедительные и, наконец, ни убедительные, ни неубедительные. Убедительные — те, которые вызывают мягкий результат движения души — «сейчас день».

Неубедительные — те, которые отвращают нас от согласия: «если сейчас темнота, то, значит, сейчас день.»

К третьему классу относятся те, которые один раз такие, другой раз такие — каковы представления в затруднительных суждениях.



И наконец, к последнему классу можно отнести такое двойное суждение: «Число звезд четно. Число звезд нечетно».

Не усмехайтесь над наивно-глубокомысленными рассуждениями древнего автора. Он не так прост.

Ответьте-ка сами — четно или нечетно число звезд (тем более, если их, как мы предполагаем, бесконечно много)?

Четно или нечетно?

# Глава 3

## ПИКНИК СРЕДИ БЕСКОНЕЧНОСТИ

### (теория множеств)

Известно ли вам, что такое «дикие шахматы»? Это — та же игра, но с измененными правилами; например, добавляется такое условие: ферзь кроме обычных своих ходов имеет право ходить еще и как конь. Очевидно, что такое дополнение очень сильно обогащает варианты игры. Так же, как и условие другого вида «диких шахмат», где пешки имеют право продвигаться не только вперед, но и назад. Игра меняется коренным образом от этих, казалось бы, не очень больших добавок. А что мы фактически сделали? Изменили систему основных положений (аксиом!) шахматной игры.

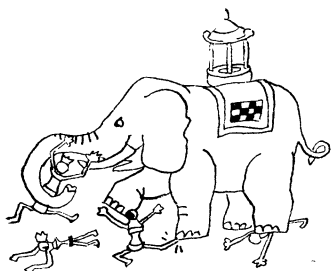
Вот и тогда, когда мы строим систему аксиом для различных разделов физики (или математики), мы должны быть готовы к тому, что небольшие, на первый взгляд, изменения или дополнения этих аксиом могут приводить к очень далеко идущим и непредсказуемым сразу последствиям.

Конечно, в отличие от шахмат, мы не задаем природе наши условия, а пытаемся найти систему правил, по которым живет существующий уже и без нас мир. Но знать эти правила необходимо, иначе мы не поймем ничего не происходящего вокруг нас.

Узнать же, верно ли мы установили эти правила игры, можно только одним способом: если с помощью нашей системы правил мы можем понять и описать все ситуации, возникающие в нашей области науки (хотя бы в принципе), значит — система правил верна.

Это рассуждение относится к наукам, имеющим прямое отношение к изучению мира вещей. А как быть





с математикой, где, казалось бы, вообще открыт простор для фантазии—что хочешь, то и конструируй?

\* \*

\*

В математике, оказывается, аксиоматизация, т. е. сведение всей науки к системе основных положений—аксиом и следствий из них, тоже абсолютно необходи-

ма. Не случайно ведь первая в истории человеческого знания аксиоматическая система была построена именно в математике. Я, конечно, имею в виду геометрию Евклида—величайшее произведение человеческого разума, просуществовавшее почти 2000 лет как идеальный образец логически строго построенной научной теории.

Вам, конечно, хорошо известна история пятого постулата (аксиомы) из этой теории—постулата о параллельных линиях. Многовековые попытки избавиться от этого не очень изящного постулата, свести его к другим, более наглядным, привели к великому открытию Н. И. Лобачевского.

Стало ясно, что существует не одна-единственная геометрия Евклида, а целый набор различных геометрий, каждая из которых ничем не лучше и не хуже другой (с математической точки зрения). А уж какая геометрия реализуется в действительном мире—это совсем другой вопрос. Вероятнее всего, что в разных частях нашей Вселенной геометрия различна. Возможно, даже для разных видов физических полей следует вводить свою геометрию. Так, в очень серьезной и интригующей теории академика А. А. Логунова считается, что все (кроме гравитационного) поля существуют в искривленном пространстве, а вот гравитационное поле—в плоском...

\* \*

\*

Кстати аксиоматизация тоже бывает разной. Вначале речь шла только о таком построении системы аксиом, которое получило позже название «содержательной аксиоматизации теории». Делалось это так.

Сначала задавали набор объектов, которые желаем изучать и для которых будет строиться система аксиом. Для этих объектов дается прямое определение (истолкование, описание) еще до задания списка аксиом теории. А уже потом мы вводим аксиомы, которые и должны описать основные свойства — отношения и связи — этих выбранных нами заранее объектов (т. е. шьется костюм на фигуру определенного, выбранного клиента). И мы не претендуем на то, что этот костюм будет годиться еще для кого-нибудь.

Именно таким образом была построена геометрия Евклида. Но после работ Лобачевского, Гаусса и Бойяи, развивших неевклидовы геометрии, стало ясно, что из задания набора объектов совсем не следуют однозначным образом аксиомы! И вообще, как мы говорили уже, аксиомы оказались (в геометрии, в частности) гипотезами, подлежащими проверке...

Поэтому появился и получил популярность и другой способ аксиоматизации: аксиоматизация «полуформальная». Никаких конкретных объектов мы здесь не задаем, а начинаем сразу с аксиом, которые задаются как описания структуры, отношений и связей — чего? Не знаем. Главное, чтобы эти закономерности, заданные аксиомами, были непротиворечивыми.

Если система аксиом, построенная, т. е. по существу, придуманная нами, противоречива, то она не отражает соотношений ни в одной области вещей и как бессодержательная исключается из науки. Если система аксиом окажется, к нашему удовольствию, непротиворечивой, то большего от нее, строго говоря, нельзя и требовать! Ибо для такого сшитого нами костюма всегда найдется клиент, для которого будут в самый раз и пиджак, и брюки. А, вероятнее всего, таких людей найдется даже несколько.

Два человека в магазине готовой одежды останавливают свой выбор на одном и том же костюме, и тем самым устанавливают факт, о котором они и не подозревали: а именно — у них одинаковая фигура. Раньше эти люди могли даже и не знать о существовании друг друга...

Вот так и полуформальные теории могут иметь по несколько интерпретаций — отражений в объектах реального мира. И тогда связываются воедино теории, которые сначала казались совершенно обособленными

друг от друга. Да и вообще, если при построении системы аксиом мы не связываем себя постоянным обращением к каким-то конкретным объектам, часто удастся и более четко выявить структуру теорий и решить ряд задач, не решаемых при «содержательной аксиоматизации».

Некоторые разделы математики были доведены до уровня аксиоматизированной теории именно с помощью полуформальной аксиоматизации. В геометрии сейчас строго теоретической основой служит теория Пеано — Пиери, в арифметике — теория Дедекинда. Это — полуформальные системы аксиом, и они открыты для других истолкований...

А как обстоит дело с другими, более сложными и современными разделами математики? Ведь если мы натолкнемся здесь на существенные трудности, то программа аксиоматизации физики тоже будет поставлена под серьезную угрозу: фундаментом теоретической физики, как известно, служит математика, причем не самые простые разделы математики.

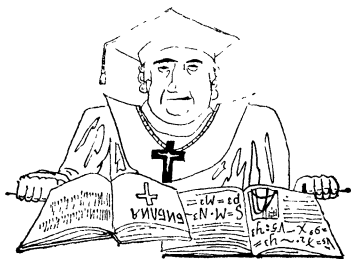
Когда в предыдущих главах рассматривались модели и теории физики микромира, мы непрерывно сталкивались с концепциями и расчетами, где очень важную роль играла бесконечность. И бесконечная неисчерпаемость вакуума, и бесконечные величины в расчетах теории поля, и многие другие эффекты заставляют нас считать, что разделы математики, имеющие дело с бесконечностью, должны быть определяющими при построении здания теоретической физики высоких энергий. Бесконечность появилась в математике всерьез, пожалуй, со времени введения в нее понятия бесконечно малых и бесконечно больших величин.

\* \*  
\*

«... известно, что бесконечно малые количества суть понятия, коих ум не постигнет и кои, следовательно, привести нас в заблуждение могут». Эта цитата из русского учебника под названием «Краткое изложение различных способов изъяснять дифференциальное исчисление», изданного С. Гурьевым в 1813 г. в Петербурге.

Конечно, с таким настроением достичь больших озарений в науке трудно. Но ведь и малоизвестный нам С. Гурьев тоже, по-видимому, не гигант мысли. Гораздо

более серьезный мыслитель, епископ англиканской церкви Джозеф Беркли, однако, тоже старался всеми силами избавиться от понятий бесконечно больших и бесконечно малых величин. Это было время, когда создание математического анализа, основанного на исчислении бесконечно малых, привело к огромным успехам в вычислительной математике, механике, астрономии.



Но епископ Беркли знал, что современные ему математики связывали (сознательно или нет) понятие о бесконечно малых и бесконечно больших величинах с признанием существования материальной субстанции и с ее **безграничной** делимостью — ибо иначе как же удалось бы достичь именно сколь угодно малой величины, под которой и понимается бесконечно малая?

Конечно, Беркли не мог не предпринять попытки изгнать из науки (и из умов своей паствы, зачарованной успехами математического анализа Ньютона и Лейбница) математического дьявола. Беркли настойчиво убеждал математиков в своих трактатах отказаться от «ложных и противоречивых» понятий бесконечно малых и бесконечно больших величин, вернуться к «низшей» математике. Он постоянно повторял, что идея бесконечности — «беспочвенная и бесплодная игра воображения, пустое и никчемное представление», что человек имеет дело только с конечным...

Но, как очень умный человек, он понимал, конечно, что просто отнять инструмент у мастера нельзя, надо предложить ему взамен другой и не хуже. В трактате «Аналист» епископом Беркли была предложена так называемая теория «компенсации ошибок» полностью на базе элементарной математики. Результаты удавалось, по крайней мере для сравнительно простых задач, получать такие же, как и в теории бесконечно малых, и даже как-то оправдывать эту теорию, «доказывая», что ее можно получить и в старой, «низшей» математике.

Между прочим, эту попытку затормозить прогресс науки — в данном случае математики — из общенациональных побуждений надо отнести к числу весьма серь-

езных. Достаточно сказать, что и много десятилетий спустя, в конце XVIII века серьезный ученый Лазар Карно уточнял и развивал эту теорию Беркли.

В XX веке, когда, как мы помним, некоторые идеологи настаивали на запрещении и изгнании из сферы науки целых новых разделов математики и биологии, уделялось, пожалуй, куда меньше внимания попытке адекватной замены разрушаемых теорий чем-то не менее удобным и справедливым, как это искреннее порывался совершить епископ Беркли. Что ж, это неудивительно.

«Умный идеалист гораздо ближе к умному материалисту, чем глупый материалист» (В. И. Ленин, т. 18).

\* \*  
\*

«Ни одна проблема не волновала так глубоко человеческий дух, как проблема бесконечного; ни одна идея не влияла на разум так возбуждающе и плодотворно, как идея бесконечности; но, однако, ни одно понятие не нуждается так сильно в выяснении, как понятие бесконечного».

Это сказал в 1925 г. великий математик Давид Гильберт.

... Рассеивается сумрак в старой библиотеке Кэвендиша. Мы видим глубоко задумавшихся мудрецов прошлого. Станные фигуры людей глубокой древности в скудной одежде странствующих браминов ритмично раскачиваются в такт словам из «Вишну-Пураны», одной из древнейших частей

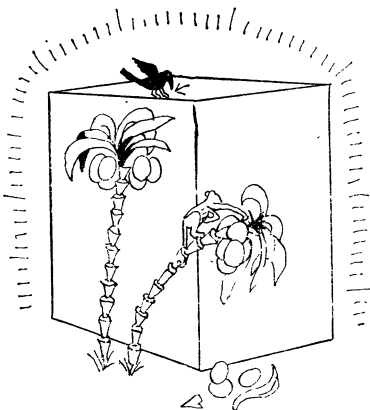
священной книги Индии — Вед ...

Брамин: Мир наш бесконечен, ибо состоит он из очень большого числа районов... а именно — из четырнадцати... И каждый район очень велик по своим размерам: наша Земля представляет собой лишь один такой район... И эти районы отстоят друг от друга на громадные расстояния в десять миллионов йоджан...

(Шепотом спрашивает Гильберт у хозяина — Кэвендиша:

— Йоджан, сколько же это в наших мерах?

— Шестнадцать километров...)





...И из всего этого делаем мы вывод, что Вселенная поистине бесконечна...

**Второй брамин:** И время также бесконечно! Хотите вы знать, что такое вечность? Слушайте же.

В этом мире стоит алмазный куб шириной с Ганг... Раз в тысячелетие прилетает к этому кубу ворон и чистит о него клюв.

И когда ворон сточит до основания этот алмазный куб, тогда и протечет вечность...

Но снисходительно улыбаются другие мудрецы — прекрасны древние легенды, но нет еще в них понимания того, что какая бы огромная величина ни была придумана или описана..., но все же она — только большая величина, а не бесконечность.

Не бесконечность. А что же такое бесконечность? Когда начали понимать это?

Две с половиной тысячи лет назад на двух противоположных концах великого евразийского континента начало, наконец, становиться более четким понятие бесконечности.

В Китае человеком, задумавшимся об этом, был Лао Цзы, архивариус при дворе чжоуских императоров, основатель религии, которая потом стала называться даосизмом. Возможно, впрочем, что человека по имени Лао Цзы не существовало вообще...

Но трактат «Дао дэ цзин», согласно традиции созданный Лао Цзы, существует, и именно в нем возникает понятие «дао»...

**Лао Цзы:** Дао! Это — всеобщая необходимость, закономерность всего существующего, основа и сущность мира вещей...

...В окружающем нас мире вещей все ограничено, конечно, преходяще. Дао же — безгранично.

**Кэвендиш:** Что же это такое все-таки, мудрый Лао Цзы? Может быть, ты называешь словом «дао» какую-нибудь вещественную субстанцию, которая есть во всех предметах? Скажи нам, что такое дао, по-твоему, и как нам узнать его, встретив в мире.

**Лао Цзы:** Дао не имеет ни вкуса, ни запаха, ни цвета, ни каких-либо других качеств, которыми различаются вещи окружающего нас мира. Смотрю на него и не вижу, а потому называю его невидимым. Слушаю его и не слышу, поэтому называю его неслышимым. Пытаюсь схватить его и не достигаю, поэтому называю его мельчайшим.

Эти три качества дао необъяснимы. Поэтому они сливаются воедино. Его верх не освещен, его низ не затемнен. Оно бесконечно и не может быть названо. Оно снова возвращается к небытию. И называют его формой без формы, образом без существа, поэтому называют его неясным и туманным.

Встречаясь с ним и не вижу лица его, следую за ним и не вижу спины его...

**Кэвендиш** (не дождавшись продолжения): Ты ничего не скажешь нам больше?

**Лао Цзы** (после молчания): Полагаю также, что, если мы хотим соответствовать дао, нам надо стать на путь недеяния, отвергнуть

роскошь и войну, насилие над людьми и вмешательство в их жизнь...

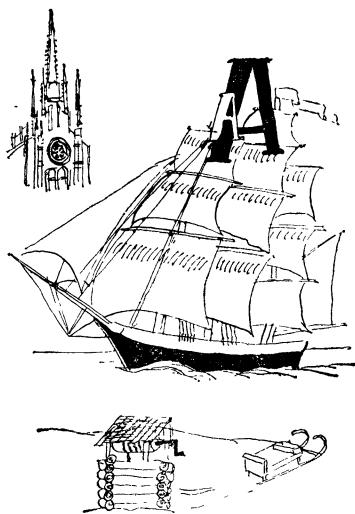
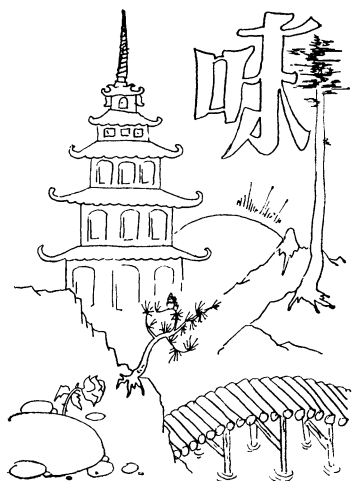
(...За такие проповеди через двести лет после смерти Лао Цзы 460 его последователей были заживо закопаны в землю императором Цинь Шихуанди.)

Но о бесконечности мы больше ничего не услышим от Лао Цзы, он сказал все, что знал: бесконечное никогда не сведется к обычному, конечному, привычному. С ним надо обращаться по-новому.

Послушаем теперь современника китайского мудреца, который задумывался о бесконечном в колыбели европейской цивилизации — Греции. Возможно, нам, наследникам многовековой европейской рационалистической традиции, привыкшим к четкому и конструктивному движению рассуждений, будут ближе мысли греческого философа, чем мощные, но смутные утверждения Лао Цзы.

Все же существует глубокое различие в способе мышления представителей двух цивилизаций: нашей, средиземноморской и дальневосточной. Мы привыкли к тому, что каждое слово обозначает или строго одно, или, по крайней мере, ограниченный блок близких по смыслу понятий. (Особенно относится к научным терминам.) Вероятно, это связано и с тем обстоятельством, что уже много веков назад мы отказались от иероглифического письма и перешли к фонетической системе. А иероглифы — принципиально многозначны, и фраза, записанная иероглифами, имеет гораздо больше внутренней свободы, чем как будто бы та же фраза, переведенная на любой из европейских языков — вообще на любой язык, использующий фонетическую систему письменности... И эта многозначность считается на Дальнем Востоке — в Китае и Японии — особым достоинством, культивируется и служит предметом гордости. Цена, которую за это приходится, однако, платить, достаточно высока, по нашим понятиям: неопределенность, двусмысленность и ускользающее значение утверждений. Вслед за этим и способ мышления, как уже было сказано, претерпевает неминуемые изменения. Многозначность становится неотъемлемой чертой китайской (и японской) философии и науки вообще. И игра значений, их связь, намеки (часто связанные с графическим подобием перекликающихся иероглифов) постепенно превращаются в самоцель.

Остроумие и тонкость переливающихся оттенков мысли прекрасны в своих вершинных образцах. Но



кажется, что для науки такой путь опасен — он ведет от позитивного знания к эстетству... Наверное, не случайно математика в ее нынешнем понимании так и не была создана ни в Японии, ни в Китае, а пришла туда с Запада. Но вернемся к греческому мудрецу, в библиотеку Кэвендиша.

**Анаксагор:** Есть мир, и есть вещи в нем. Но только мудрым известно, что на самом деле весь мир состоит из бесконечного множества частиц, которые я называю «семенами вещей» — гомеомериями.

**Демокрит:** Да, я согласен с этим, поистине все состоит из мельчайших частиц, а уж они далее неделимы...

**Анаксагор:** Но не об этом я говорю! И совсем не так я думаю о мире! Нет. **Каждая** гомеомерия содержит в себе **все** элементы, из которых построены вещи. В ней имеется бесконечное число качеств и бесконечное число частей. И потому весь мир бесконечно делим, а каждая частица мира, как бы мала она ни была, — **бесконечно сложна**.

(Остановившись на минуту. Сейчас были сказаны глубочайшие слова. Впервые в истории человеческой мысли Анаксагор говорит не только о бесконечности материи вширь, но и о бесконечности ее вглубь!)

**Анаксагор:** Каждая вещь и бесконечно мала, и бесконечно велика. Каждая гомеомерия подобно целому **заключает в себя все сущее**, и поэтому сущее не просто бесконечно, но бесконечно бесконечно... (удаляется в сумрак).

**Научный сотрудник:** Ведь и сейчас мы, физики, так считаем. Частицы неисчерпаемы! А согласно некоторым физическим теориям элементарные частицы можно и нужно рассматривать как замкнутые (почти полностью) миры, столь же огромные и сложные, как вся наша Вселенная.

Это, впрочем, предмет особого разговора.

Анаксагор же, как мы видим, высказал очень глубокую идею. Недаром некоторые историки науки считают его даже творцом математики бесконечно малых! Да, Анаксагор заслуживает и памяти в наших умах, и памятника...

\* \*  
\*

— Он заслуживает костра!

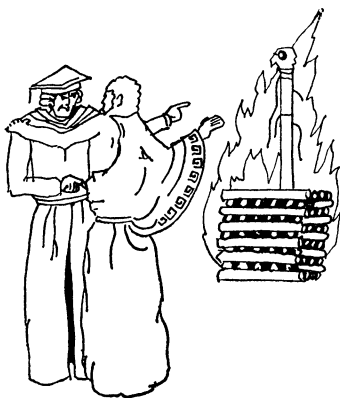
Слова эти произнес монах с горящими глазами, одетый в рясу доминиканца, — «ангельский доктор», причисленный к лику святых в 1323 г. — Фома Аквинский.

**Фома:** Да, я утверждаю, что этот человек распространял лживые и еретические утверждения. А это гораздо более тяжелое преступление, чем, например, подделывать монету, которая служит для удовлетворения потребностей временной жизни. Следовательно, если

фальшивомонетчиков, как и других злодеев, светские государи справедливо наказывают смертью, еще справедливее казнить еретиков, коль скоро они уличены в ереси.

**Кэвендиш:** Однако в чем же ты видишь ту ересь, об искоренении которой говоришь сейчас с таким рвением, тревожащим всех нас, собравшихся здесь?

**Фома:** Понятие бесконечного следует относить только к богу! Вспомните — Иоанн Скот Эриугена справедливо утверждал, что бог — это бесконечное сознание, актуально существующее без конца и начала. Блаженный Августин тоже разъяснял нам, что акту-



альная бесконечность бога означает не только вечность, всеовершенство, всемогущества бога, но и бесконечность интеллекта бога, т. е. бесконечную мудрость, бесконечное знание, бесконечную святость, благодать, справедливость...

Одним словом, как сказал мой современник, Раймонд Луллий, бог есть бесконечная сумма бесконечных совершенств!

И я еще раз повторяю: только к богу можно относить понятие бесконечности, ибо только его сущность ничем не ограничена... Кто этого не признает — еретик.

(Наступает тяжелое молчание, на собравшихся повеяло той мрачной, хотя часто и искренней, нетерпимостью, которая так тормозила развитие человеческого знания...)

Но вот в разговор вступает ученый нового времени, осторожный и гибкий полемист Рене Декарт, физик и механик.

**Декарт:** Я не хочу спорить с тобой, доктор, о качествах, присущих богу, ибо это не относится прямо к обсуждаемым нами предметам... Пусть ты прав в своих суждениях о бесконечности атрибутов бога. Но давай назовем эту, божественную бесконечность, которую ты назвал «актуальной», *infinitum*. Тогда мне кажется, что остается еще и другое понятие, применимое уже к природе — неограниченность, неопределенность — *indefinitum*.

**Фома** (несколько успокоившись): Поясни, однако, как же связаны между собой эти введенные тобой понятия. И не ущемляешь ли ты всемогущества бога, что не может быть терпимо?

**Декарт** (с тонкой усмешкой): Суди об этом сам. Вот пример. Так как невозможно представить столько звезд, чтобы бог не мог создать их еще больше, то их число мы и предположим «неопределенным» — *indefinitum*. Но точное их количество, однако, мы также не сможем назвать, ибо оно больше любого известного нам числа...

Скажу еще: не имея никакого основания допустить, не имея возможности даже представить себе, чтобы мир имел границы, я называю его безграницным (*indefinitum*!), не имеющим границ, но не могу отрицать, чтобы не было каких-либо границ. известных богу, но которые для нас совершенно непостижимы; вот почему я не говорю, чтобы мир был абсолютно бесконечным...

**Бонавентура** (тоже современник Фомы): Все же я повторяю еще раз: бесконечность — это бог. И значит, совершенство и благо — именно в бесконечности; а конечность, ограниченность свидетельствуют о несовершенстве и относятся к материальному миру.

**Пифагор:** Ты глубоко неправ, жрец неизвестных мне богов. Вот в чем истина: есть число — всегда конечное и определенное. и есть Беспредельное — это пустота, небытие. Число — положительное начало в мире, а пустота — отрицательное.

**Платон:** Я почти согласен с тобой, Пифагор. Но только твое беспредельное — это совсем не пустота, а то, что нынешние мудрецы именуют материей. Поэтому бесконечное, материя, в отличие от идеи несовершенно, оно — небытие, оно — воплощение зла...

**Иммануил Кант:** Трудно говорить о бесконечности, господи, так оно противоречиво. Думаю, однако, что противоречиям место лишь в человеческом сознании, а поэтому надо считать, что бесконечность — понятие субъективное. В мире ее, пожалуй, и нет.

**Гегель** (в строгом сюжете со звездой): Ну, уж это слишком большая нежность по отношению к миру — думать удалить из него

противоречие, перенести, напротив, это противоречие в дух, в разум и оставить его там неразрешенным...

\* \*

\*

Оставим теперь теологические и близкие к ним рассуждения. И в жестких требованиях Фомы Аквинского, и в аккуратных рассуждениях Декарта возникает проблема гораздо более интересная, нежели вопрос о достоинствах и свойствах бога (или «идеи») — существующего, или, как мы, материалисты, убеждены, не существующего.

Речь идет о проблеме актуальной и потенциальной бесконечности. Декарт уже наметил (на языке своего времени) различие между этими двумя понятиями. Давайте определим их более четко. Иначе, увы, мы мгновенно заблудимся в разветвлениях идей, связанных с бесконечностью.

Итак, если бесконечность понимать как **«актуальную бесконечность»**, то бесконечно большая величина — это такая величина, у которой размеры настолько велики, что охватывают собой все возможное и уже **не могут быть больше увеличены**. «Актуальная» бесконечность дается сразу, целиком, в застывшем неизменном состоянии... (*infinitum* Декарта).

Если же бесконечность истолковывать как **«потенциальную бесконечность»**, то тогда бесконечно большая величина — это такая величина, размеры которой превосходят всякую данную наперед определенную величину и **могут быть увеличены еще больше**.

**Аристотель:** Да, именно так утверждал я... выходит, что бесконечное противоположно тому, что о нем говорят: не то, вне чего ничего нет, а то, вне чего всегда есть что-нибудь, то и есть бесконечное!

Ты же, Анаксагор, утверждаешь, что любая частица содержит в себе сразу целиком и полностью в готовом виде все, что есть в мире, и соединение этих частиц не может дать ничего нового.

Смотри, к каким ужасным последствиям могут привести твои рассуждения. Смотри, как Зенон Элейский мысленно разрушает все привычное нам знание о природе.

Смотри, как рушится самое великое понятие движения!

**«Движенья нет, сказал мудрец брадатый.**

**Другой смолчал и стал пред ним ходить.**

**Сильнее бы не мог он возразить;**

**Хвалили все ответ замысловатый.**

**Но, господа, забавный случай сей**

**Другой пример на память мне приводит:**

Ведь каждый день пред нами солнце ходит,  
Однако ж прав упрямый Галилей».

(А. С. Пушкин, 1825.)

Брадатый мудрец, отрицавший движение — Зенон, а его оппонент — известный Диоген, живший в бочке...

Есть, впрочем, и продолжение этой истории, удивительно четко изложенной Пушкиным. Говорят, что Зенон, понаблюдав немного молчаливо разгуливающего Диогена, взял палку и стал бить его, приговаривая:

— Я представил тебе умственные доказательства, опровергни же и ты меня умственными доказательствами! А что движение мы наблюдаем, я знаю и без тебя и доказываю, двигая сейчас этой палкой.

Но какие же доказательства **против** существования движения мог представить экспансивный Зенон?

\* \*

\*

**Зенон:** Смотрите и рассуждайте, благородные воины! Стрела в каждый момент времени находится в одном определенном месте, покоится в нем.

Но так как время состоит из своих мгновений, а в каждом из них стрела покоится, то, значит, она покоится все время (Апория «Стрела»).

**Аристотель:** Вот, где ошибается в рассуждениях хитроумный Зенон. Он предположил, что время можно разделить на очень большое множество мгновений — но раз и навсегда заданных. И далее дробить эти мгновения уже нельзя.

Тогда, если мы задаем всю нашу бесконечную делимость сразу, и возникает странное утверждение о покое движущейся стрелы...

**Зенон:** Что же, с этим я, пожалуй, мог бы согласиться... Поистине нельзя предполагать, что время делимо только до определенного предела. Посмотрим на эти два диска, летящие навстречу друг другу мимо мерного столба. Если вдуматься, один и тот же путь. Следовательно, один и тот же путь приходится и в половинное и в двойное время... А значит, всякий момент времени оказывается делимым.

Всякий! Тогда, разделив момент надвое, мы не придем к концу делимости, и, разделив его еще раз надвое, мы вновь будем так же далеки от конца делимости, как и прежде...





Итак, время делимо бесконечно... И то же верно для пространства... Согласны ли вы теперь со мной?

**Зенон:** Действительно, если время и пространство бесконечно делимы, то Ахиллес никогда не догонит черепаху! Так следует из нашего рассуждения... Более того, я утверждаю, что даже начаться движение никогда не сможет. Рассудите сами: движущийся предмет, прежде чем пройти какой-либо путь, должен сначала пройти половину пути, а для этого сначала половину этой половины... И так далее до бесконечности... Итак, начало движения отодвигается в бесконечность — так же как и его конец (Апория «Дихотомия»).

Движение невозможно разумно описать, невозможно представить реально существующим. И я считаю, что оно принадлежит лишь к миру кажущегося.



— Не понимаю! — восклицает элегантный французский профессор Поль Леви, известный математик.

— Почему следует воображать будто время остановит свой ход вследствие того, что некий философ занимается перечислением членов сходящегося ряда?

**Кэвэндиш:** Но как же быть все-таки с теми тревожащими нас вопросами, которые ставит Зенон? Разве это не удивительные парадоксы?

**Леви:** Признаюсь, я никогда не понимал, как люди в других отношениях вполне разумные могут оказаться смущенными подобным парадоксом, и ответ, который я только что наметил, есть тот самый ответ, который я дал, когда мне было одиннадцать лет, старшему, рассказавшему мне этот парадокс, или точнее, есть тот самый ответ, который я резюмировал тогда такой немногословной формулой: «Этот грек идиот».

**Кэвэндиш (в ужасе):** Профессор!

**Зенон:** Ничего, ничего... Что такое идиот? В греческом языке это слово означает всего лишь частный человек...

**Леви:** Я знаю теперь, что нужно выражать свои мысли в более вежливой форме и что, быть может, Зенон излагал свои парадоксы только для проверки разумности своих учеников. Но мое удивление перед умами, смущаемыми понятием сходящегося ряда, осталось тем же...

**Кэвэндиш:** Ах, если бы все было так просто и сводилось к задаче о сходящемся ряде...



Грустно.

Ахиллес странным образом не может догнать черепаху, движения вроде бы совсем нет, и наши остроумные рассуждения ведут к неприятным парадоксам. Бесконечная делимость вызывала протест еще у Лукреция Кара. В трактате «О природе вещей» он меланхолично заявляет:

Если не будет затем ничего наименьшего, будет  
Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело.  
У половины всегда найдется своя половина,  
И для деленья нигде не окажется вовсе предела.  
Чем отличишь ты тогда наименьшую вещь от

Вселенной?

Ровно, поверь мне, ничем. Потому что, хотя никакого  
Нет у Вселенной конца, но ведь даже мельчайшие  
вещи

Из бесконечных частей состоять одинаково будут...

Конечно, это совершенно не аргумент против бесконечной делимости материи, пространства и времени.

Вполне возможно, что именно так и обстоит дело в природе, и мельчайшая частица «ничем не отличается от вселенной». По сложности связей и глубине содержания частица может оказаться эквивалентной макромиру...

Дело лишь в том, что рассуждения типа зеноновских апорий вряд ли помогут нам поколебать чашу весов в ту или иную сторону: бесконечная или конечная делимость? Потенциальная или актуальная бесконечность?

Спасибо мудрому греку и за то, что он поставил такие вопросы, над которыми до сих пор с полным напряжением сил трудится наука: от физики частиц до философии.

*Больной пришел к врачу с жалобой на плохой слух и на кашель.*

*«Я так плохо стал слышать, что не слышу даже своего кашля». Доктор, осмотрев больного, выписал рецепт.*

*«Это поможет мне от кашля, доктор?»*

*«Нет, не поможет. Наоборот, вы будете кашлять громче, так что прекрасно будете слышать свой кашель...»*

... Обострить симптом в медицине — это смешно и вряд ли похвально. А вот в фундаментальной науке поставить острый и правильный вопрос — великая заслуга.

Решить же такой вопрос можно только тогда, когда будет создано достаточно мощное оружие науки, будет выкован тот волшебный меч, который и сможет поразить дракона бесконечности... А до тех пор... часто приходилось (и приходится) действовать наугад. Помните, о сложности, а порой бесплодности попыток действовать с недостаточными средствами говорил Секст Эмпирик в своей притче о стрелках из лука в темной комнате: они не будут знать, что нашли истину, даже если случайно и натолкнутся на нее...

*Поистине трудно искать «то, не знаю что».*

... Один больной постоянно жаловался, что у него в животе завелась кошка. И никакие разубеждения не помогали; больной худел, нервничал; появились в самом деле разные расстройства организма... Консилиум решил: надо объявить больному, что ему сделают операции и вынут кошку, так беспокоящую его. Дать наркоз и потом, когда кончатся его действия, продемонстрировать якобы извлеченную кошку. По расчетам врачей, больной должен после этого успокоиться и пойти на поправку...

Но когда все задуманное было выполнено, и на другое утро улыбающийся хирург показал больному кошку, вместо ожидаемой радостной благодарности больной в ужасе закричал:

— Но вы же ошиблись! Это белая кошка, а у меня внутри сидела черная!

Уже в XX веке замечательный мыслитель Бертран Рассел заметил, что парадокс Зенона об Ахиллесе и черепахе можно отождествить с так называемым **парадоксом Тристрама Шенди**.

Если вы помните, роман Лоренса Стерна носит название «Жизнь и мнения Тристрама Шенди, джентльмена». Но описаны в романе, который писался два года, всего два дня жизни джентльмена Тристрама Шенди. Значит, ввиду конечности жизни человека никак невозможно описать всю жизнь: лет через шестьдесят, на склоне лет будут изложены события двух месяцев. А потом Шенди умрет, и остальная его жизнь останется для нас загадкой.

Но представим себе, что жизнь Тристрама Шенди бесконечна. Сможет ли он тогда создать свое жизнеописание, если будет писать в том же темпе? Ведь, казалось бы, с каждым годом он будет все больше отставать от момента, в который сидит за письменным столом...

Ответ здесь будет простым, если вы немного подумаете, — простым, но вместе с тем необычным, и, я бы сказал, таинственным. Вот ответ: живя бесконечное

время, Тристрам Шенди обязательно опишет все дни своей жизни! В самом деле, какой бы по счету день мы не назвали — сотый, тысячный, миллионный, мы уже наперед знаем, что он будет описан в сотый, тысячный или миллионный год жизни нашего героя...

В бесконечной жизни Тристрама Шенди количество дней оказывается равным количеству лет!

\*       \*

\*

Мы подошли к понятию «бесконечного множества». Наверное, не стоит вводить строгие определения, теоремы, наборы постулатов, которые относятся к теории множеств, — не учебник же это в самом деле.

Интуитивно, наверное, вполне понятно, что такое множество и даже, что такое бесконечное множество. Это набор, совокупность, собрание и т. д. каких-то объектов («элементов множества»). Соответственно их или конечное число (для конечного множества) или бесконечное число (для множества бесконечного)... Просто, не так ли? Даже скучно.

Между прочим, строгого определения понятию множества как раз и нельзя дать. Как резонно замечает советский математик Н. Я. Виленкин: «для того, чтобы определить какое-либо понятие, нужно прежде всего указать, частным случаем какого более общего понятия оно является. Для понятия множества сделать это невозможно, потому что более общего понятия, чем множество, в математике нет...» Поэтому, говоря о множествах, мы вынуждены обращаться к примерам, способам задания. А при таком подходе начинаются уже всякого рода странности и неочевидности.

\*       \*

\*

Начнем с самых простых примеров.

Определим, например, такое множество: все простые четные числа.

Вполне законное определение. Как легко сообразить, это множество состоит из одного-единственного элемента (числа 2). Стало быть, множество — это еще не означает «много». Бывают и вообще пустые множества: определение есть, но так уж оно составлено, что ни один объект ему не удовлетворяет. Например.

«Множество всех китайцев, летающих в космос...»

К множествам надо подходить с осторожностью. Очень непросто бывает ответить иногда на вопрос о равенстве множеств. Существует довольно старая задача Христиана Гольдбаха, предложенная еще в 1742 г. Вот она:

Пусть  $A$  — множество всех четных чисел, больших четырех (4, 6, 8, ...). Пусть  $B$  — множество всех чисел, являющихся суммами двух простых нечетных чисел.

Вопрос:  $A$  равно  $B$  или нет?

Можно попробовать проверять первые числа, являющиеся суммами, входящими в определение  $B$ .

$1+3=4$ . Хорошо, четверку уже получили. Далее:  $1+5=6$ . Опять удачно:  $1+7=8$ ;  $3+7=10$ ;  $5+7=12$ ;  $7+7=14$ ;  $11+5=16$ ;  $11+7=18$  и так далее.

Можно очень далеко продвинуться в этом ряду, но ответа на вопрос Гольдбаха мы так и не знаем в общем виде.

Напоминаю, мы занимаемся сейчас конечными множествами... И все же возникают все новые неясности. Существуют, оказывается, такие конечные множества, число элементов которых нам неизвестно. Например, множество всех натуральных делителей числа  $2^{217}+1$ .

Кто их знает, сколько там этих делителей. Доказать строго теорему об их числе не удастся, а это — известная задача в теории чисел... Здесь, по крайней мере, можно указать число большее, чем число элементов этого множества: хотя бы само число  $2^{217}+1$ ...

\*     \*

\*

А чем, по вашему, отличается конечное множество от бесконечного?

Если нельзя указать числа большего, чем число элементов множества, то оно конечное или бесконечное? Наверно, подумаете вы, если число членов множества таково, что больше его и указать-то нельзя, то оно... ну, бесконечное, пожалуй. Нет, не угадали... Существуют множества, о которых можно доказать, что они конечны, но в то же время нельзя указать числа, большего чем число их членов. Прошу Вас, остановитесь и задумайтесь здесь на мгновение. Это очень странно! Что, казалось бы, проще — назовем огромное число, а если не хватит, то увеличим его в миллиарды раз, и еще увеличь его во сколько хочешь! И все же не уда-

ется превзойти число членов нашего множества. Однако оно — конечное.

Вот пример такого конечного множества  $T$ :

Если существует бесконечно много положительных четных чисел, не являющихся суммами двух простых чисел, то в множество  $T$  включаем только число 1.

Если же существует только конечное число таких чисел, то пусть  $T$  означает их множество.

Нашим определением гарантирована в любом случае конечность множества  $T$ . Так как нам неизвестно последнее, т. е. самое большое, «четное число, не являющееся суммой двух простых чисел», то мы не сможем и гарантировать, что, называя как угодно большие числа, забежим дальше него...

Так как же отличить бесконечное множество от конечного? Единственное определение бесконечного множества столь важно и богато следствиями — математическими и физическими, что я считаю необходимо выделить его в отдельный (самый короткий в этой книге) параграф.

\*       \*

\*

Множество бесконечно, если оно эквивалентно какой-либо своей части, и множество конечно, если оно не эквивалентно никакой своей части (определение Дедекинда—Кантора).

\*   \*

\*

**Галилей** (с досадой): Ах, как это изящно и как этого не понял я в свое время! А ведь мне приходило в голову, что часть бесконечного множества может быть равномощна ему...

Если ряд натуральных чисел продолжать до бесконечности, то и квадратов этих чисел тоже будет бесконечно много.

Но посмотрите в первом десятке чисел, естественно, 10, а их квадратов три — 1, 4 и 9. Если возьмем первую сотню, то в ней будет не треть квадратов, как в десятке, а гораздо меньше — только 10 процентов: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 и 100...

**Кэвендиш**: Это понятно, мессир Галилео, но что тебя смутило в таком рассуждении...

**Галилей**: До тех пор, пока число, которое мы рассматриваем конечно, меня ничто не смущает. Но если мы возьмем весь бесконечный ряд натуральных чисел, то квадраты этого ряда должны были бы составлять в нем ничтожное меньшинство... Но их тоже ведь бесконечно много!

Я подумал, что, наверное, нельзя для бесконечного употреблять понятия «часть» и «целое». И нельзя говорить о «большем» и «меньшем» в приложении к бесконечному... Так закрыл я себе путь к изучению бесконечного. Увы, у меня не хватило смелости...

**Кэвендиш:** Не стоит огорчаться, месьсир. Действительно, барьером для тебя послужило очевидное как будто утверждение древних:

*Totam est majus suo parte.* (Целое больше своей части.)

Но пусть утешением тебе будет то, что впервые ты подметил противоречие этому утверждению. И хоть ты не разрешил его, из него, как из семени, выросла вся теория бесконечных множеств...

А решить это противоречие не мог даже через 200 лет уважаемый наш коллега Коши, который, рассмотрев эту же задачу, отверг вообще понятие актуальной бесконечности как противоречивое в своей основе, и поэтому в математике недопустимое.

Бесконечность жизни Тристрама Шенди именно и означает, что число лет в его жизни будет не больше и не меньше, чем число дней. И это, несмотря на то, что в каждом году его жизни будет, естественно, триста шестьдесят пять (а то и триста шестьдесят шесть!) дней.

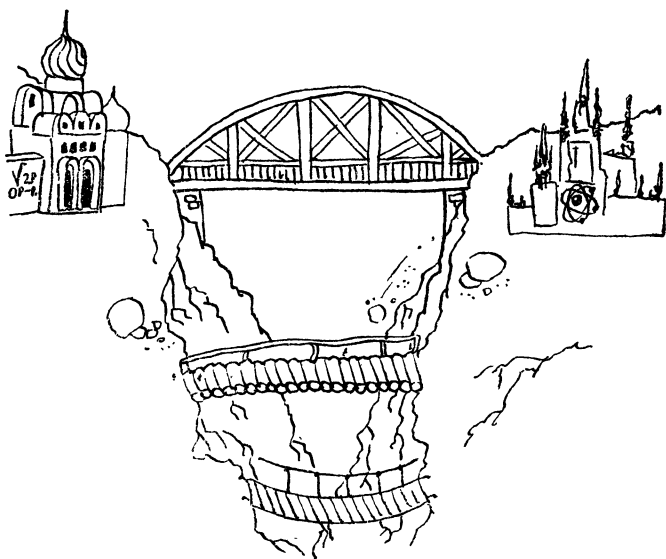
Повторяю еще раз, что сейчас мы обсуждаем единственное строгое определение бесконечного множества, которое только и было выработано современной наукой. Чтобы суть его стала еще нагляднее, перескажем теперь это определение несколько вольно, но по сути верно:

бесконечное — это то, в чем часть равна целому.

\*       \*  
\*

Вот и наступил момент, когда математическое рассуждение и математические идеи подвели нас к границе. Мы стоим на одном берегу, а за пропастью находится другой берег — физический. Надо перебросить мосты через этот провал, мосты между абстрактнейшей математикой бесконечного и физикой микромира, которая очень реальна хотя бы потому, что ее оружие, ее приборы — мощные машины в железе и бетоне. Первый мост и, пожалуй, самый главный — как раз и есть знаменитое канторовское определение бесконечного множества!

В самом деле, давайте посмотрим, к чему пришла физика элементарных частиц в результате многих десятилетий развития. (Может быть, даже веков, если начинать с древних атомистов.) Сначала искали простейшие, мельчайшие частицы, из которых все построено. И, как будто бы нашли в XIX веке — атомы стали реальностью! Но, увы, как мы отлично теперь знаем, это были отнюдь не те неделимые кирпичики мироздания, дальше которых идти уже некуда. Атом оказался



сложным, состоящим из ядра и электронных оболочек, а главное — он подчинялся новым, более хитроумным квантовым законам. Продвижение от атома к ядру, от ядра к протонам и нейтронам, а от них далее ко всему необозримому множеству фундаментальных («элементарных») частиц — это продвижение сопровождалось все более сложными законами поведения. Квантовой механики оказалось недостаточно, возникла квантовая теория поля, возникли ее обобщения, модели и гипотезы. Незаметно все это богатство интеллектуальной энергии привело к пониманию того, что ни от какого уровня материи и нельзя ожидать простоты, «элементарности».

Как заметил однажды Ферми, «понятие «элементарный» относится, видимо, не к объекту, а к уровню наших знаний о нем». Более того, чем дальше мы углубляемся в изучение мира микрочастиц, тем большее богатство свойств и характеристик находим. У частиц появляются все новые квантовые числа, частицы распадаются и рождают целые каскады новых объектов. Возникает, наконец, концепция, согласно которой сильновзаимодействующая частица, адрон, содержит в себе (потенциально) все остальные частицы, и именно это является ее определением.

В книге «Новый круг» приведено определение адрона, основанное на этой идее (бутстрап-теории):

**Адрон** состоит из неопределенного числа всех других адронов различных видов, каждый из которых в свою очередь состоит из неопределенного числа всех других адронов различных видов, каждый из которых в свою очередь и т. д.

Адрон является частью самого себя. А это разрешается, если мы не хотим противоречить логике, только для объектов бесконечных.

Более того, это свойство — часть равна целому, как мы уже знаем, является даже определением бесконечного множества. Адрон сложен, он состоит из многих элементов, и теперь мы понимаем, что не просто из многих, но из бесконечного множества элементов... Это и есть выражение неисчерпаемости элементарной частицы, ибо как исчерпать бесконечное? Итак вот первый мост между теорией множеств и физикой элементарных частиц. Первый, но далеко не единственный.

\*                      \*

\*

Парадоксальные, неожиданные и просто неправдоподобные следствия теории множеств, которые мы будем обсуждать, основаны, однако, на строгом (в максимально возможной степени!) подходе. Еще на заре развития этой замечательной теории великий математик Больцано предупреждал:

«Мы не считаем **примеры и приложения** чем-либо таким, что паносит ущерб совершенству научного изложения. Лишь одного требуем мы, однако, строго: чтобы никогда не выдвигали примеры вместо **доказательств** и чтобы никогда не основывали существо самого заключения на выражениях, употребляемых только в несобственном смысле, и на побочных представлениях, которые они вызывают, так что заключение отпадает, как только меняют эти выражения».

Призыв был услышан. Теория множеств сегодня — одна из наиболее строго обоснованных наук. Поэтому не считайте странные и непривычные вещи, о которых вы узнаете, просто блажью заумных математиков — нет, это следствия логических законов, примененных к четкой системе аксиом... И одновременно не старайтесь уничтожить в себе естественное и вполне здесь оправданное чувство удивления. Удивляйтесь!



*Чтобы не уподобиться молодому репортеру, с которым произошла вот такая поучительная история. Его послали проверить сообщение, что в городе живет человек, который может петь, не умолкая ни на минуту, и в то же время съедает обед из шести блюд... Репортер отправился по указанному адресу и, вернувшись к редактору, сказал, пожимая плечами:*

*— Все это правда, но здесь нет ничего удивительного. Просто у этого парня две головы...*

В 1897 г. состоялся Первый международный конгресс математиков. Одним из центральных событий этого исторического съезда было подробное обсуждение новой революционной области математики — теории бесконечных множеств.

Пятидесятидвухлетний немецкий математик Георг Кантор, работавший над проблемами бесконечных множеств с начала 1870-х годов и создавший основы этой науки, докладывал о глубоких понятиях и результатах, возникающих в теории бесконечных множеств.

... Мы хорошо знаем о том, что на рубеже XIX и XX веков произошла потрясающая революция в физике. Школьникам известны имена Эйнштейна, Бора, Резерфорда и Планка. Может быть, столь широкая известность объясняется тем, что результаты этого рывка в науке давно вошли в нашу жизнь — от атомной энергии до полупроводников и лазеров почти вся современная технология основана на квантовой физике. Но редко кто отдает себе отчет в том, что почти в те же самые годы (даже немного раньше) произошла столь же фундаментальная перестройка всего здания математики и именно на основе теории Кантора.

«Землетрясение в математике!» — так говорил об этом кризисе математики выдающийся французский ученый Адамар. Давид Гильберт, великий ученый, умевший решать не только крупнейшие задачи, но и формулировать их для будущих поколений исследователей, сказал об этом первом этапе теории Кантора:

«... актуально бесконечное было возведено на трон и наслаждалось временем своего высшего триумфа». Не очень склонный к беллетристическим красотам Гильберт не мог удержаться от взволнованного признания:

«... Теория множеств — наиболее заслуживающий цветок математического духа и вообще одно из высших достижений чисто умственной деятельности человека».

К началу XX в. теория множеств стала фундамен-

том математики. Однако сама она оставалась необоснованной в ряде решающих пунктов (мы еще скажем об этом). А главное, в теории множеств обнаружились глубочайшие парадоксы! Причем эти парадоксы имели не только математическую, но и логическую природу; возник вопрос о средствах логики, допустимых в математике и в науке вообще.

... Идеи Георга Кантора встретили резкое сопротивление со стороны очень многих выдающихся его современников, в том числе и со стороны таких серьезных математиков, каким был, например, Кронеккер. В том же 1897 г., когда рождение фундаментальных основ теории множеств стало окончательным фактом, измученный нападками Кантор навсегда отошел от научного творчества. Прожил он еще 19 лет...

«Но никто не может изгнать нас из рая, который создал нам Кантор» (Гильберт).

\*       \*  
\*

Вернемся теперь к строительству мостов между физикой частиц и теорией множеств. Вряд ли нам удастся сконструировать **все** такие мосты. Но, по крайней мере, постараемся убедиться, что их не один и не два, а значительно больше.

Кстати говоря, слово «все», которое мы только что употребили, очень не просто и говорить его следует с большой осторожностью. Не в данном конкретном случае и даже не тогда, когда число предметов сколь угодно велико, но конечно — осторожность потребуется в применении к бесконечности.

Анри Пуанкаре заметил: «Слово **все** имеет вполне ясный смысл, когда речь идет о конечном числе предметов».

Но вот мы переходим к бесконечным концепциям. Нам понятно, что такое «множество». Очевидно также, что всяких множеств можно придумать большое количество; весьма вероятно (это даже можно доказать), что множеств разных видов бесконечно много. Теперь сделаем следующий шаг и рассмотрим понятие «множество всех множеств». Казалось бы, ничего страшного не должно случиться. Но смотрите, в какую трясику нас сейчас приведет этот невинный шаг...

Обозначим все существующие множества бесконечным (разумеется!) рядом

$A, B, C, \dots$  и т. д.

Всю эту совокупность множеств назовем теперь для краткости буквой  $M$ ; вполне ясно тогда, что мы имеем право сказать

« $M$  есть множество всех множеств».

Но смотрите! Ведь  $M$  отсутствовало в нашем первоначальном ряде  $A, B, C, \dots$  хотя этот ряд по построению должен содержать все множества! Если же мы исхитримся и добавим туда с самого начала элемент  $M$ , т. е. получим ряд  $M, A, B, C, \dots$  то придется обозначить его уже другой буквой, например  $M'$ , и опять обнаруживаем, что в начале  $M'$  в нашей совокупности отсутствовало... Если его включить, то тогда ряд в целом надо назвать  $M''$  — и так далее, и так далее. Получается ситуация, очень похожая на парадоксы Зенона о механическом движении: стрела!

Стрела и находится, и не находится в каждой данной точке пути. Вот и «множество всех множеств» и существует в каждый данный момент, и не существует: как только мы приглядываемся поближе к тому, что сами же определили, как совокупность всех-всех множеств, то убеждаемся, что чего-то в ней, в этой совокупности, все же не хватает — то  $M'$ , то  $M''$ ... И этот бесконечный тришкин кафтан латать придется тоже бесконечно долго. Нарушается привычная логика, и, значит, она не годится в приложении к бесконечному! Понятия расплываются у нас в руках...

\*       \*

\*

Что было главным в формальной логике? Неизменность рассматриваемых понятий. Анри Пуанкаре считал именно это главным в логике:

«Если представить себе, что сущность классификации заключается просто в том, что два солдата, относящиеся к одному и тому же полку, должны относиться к одной и той же бригаде и к одной и той же дивизии, то принцип незыблемости, неизменности заключается в том, что во время нашего рассуждения эти два солдата не должны переводиться в другую воинскую часть».

Иначе возникнут парадоксы. Мы ведь именно и нарушили эту заповедь Пуанкаре: то включали  $M$  в ряд, то нет... Никак не могли определиться.

...Человек, меняющий по ходу дела свою позицию и определения, похож на того гурмана, который рассуждал:

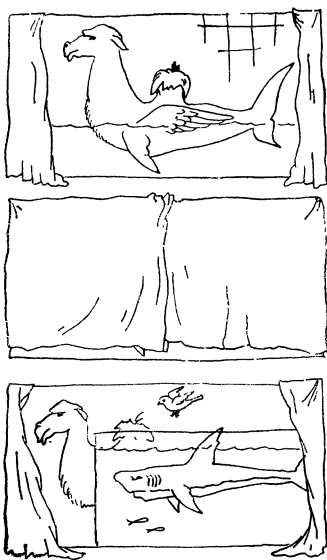
— Хорошо, что я не люблю артишоки! Если бы любил, то пришлось бы их есть, — а ведь я их терпеть не могу...

На что похоже такое изменение понятий прямо в наших руках? Неужели только в теории множеств впервые в науке возникло это интересное, но весьма своеобразное положение? Думаю, что нет.

Те, кто изучал квантовую механику, помнят, конечно, что в этой теории состояние изучаемого объекта «само по себе» отличается от того, что мы получаем при измерении. Точнее говоря, в момент измерения происходит некое изменение в объекте (частице). Например, обычно частица описывается в квантовой механике как смесь разных состояний как если бы мы описывали какое-нибудь животное как смесь верблюда, акулы и птицы. Но это только теоретически, а при измерении, т. е. наблюдении мы каждый раз получали бы что-нибудь определенное: акула так акула, верблюд так вер-

блюд. Так и частица при измерении проявляется не как «смесь», а как вполне определенное состояние. Это и значит, что надо рассматривать не частицу отдельно и наблюдателя-физика отдельно, а смотреть на них как на неразрывную систему... Видимо, и в теории множеств мы не можем вывести из рассмотрения рассуждающего математика — иначе столкнемся с парадоксом!

В науку, следовательно, необходимо вносится человеческий элемент. Нельзя изучить тонкий объект, никак не изменив его. Даже мысль математика, как мы видим, изменяет изучаемое им, прилагая к своему объ-



екту такую вроде бы невещественную силу, как **мысль**... так строится второй мост между теорией множеств и теорией частиц.



Рассуждения, которые сейчас последуют, требуют некоторого дополнительного внимания, даже напряжения.

Вернемся к нашему ряду множеств  $A, B, C, \dots$ . Возможно, вам пришло в голову, что множество всех этих элементов  $M$  можно и с самого начала включить в ряд, писать  $M, A, B, C, \dots$  и одновременно считать, что и весь ряд — тоже  $M$ . Мы-то ведь уже знаем, что часть не обязательно меньше целого, так что этот фокус вполне допустим:  $M$  у нас ряд в целом и один из элементов этого ряда. Так что подобное определение полностью законно. Правда, множества такого типа нельзя называть правильными. Вот определение правильного множества: это множество, которое не содержит самое себя в качестве своего элемента.

Конечно, название **правильное** оправдано здесь, — мы привыкли, что все-таки часть и целое — вещи не вполне совпадающие, и такая ситуация, когда они все же каким-то образом сливаются, должна быть редким исключением.

Однако ничего подобного. Оказывается, что именно это обычное, житейски ясное понятие правильного множества, которое отнюдь не часть самого себя, таит в себе один из жесточайших парадоксов науки вообще. Это так называемый **парадокс Рассела—Цермело**. Он состоит, по-существу, в невинном вопросе:

существует ли **правильное множество** всех правильных множеств?

Ответить на этот вопрос оказывается принципиально невозможно.

В самом деле, давайте рассуждать. Пусть какое-то множество  $T$  объединяет все правильные множества. Остается понять, будет ли само это множество  $T$  правильным или нет.

Если оно **правильное**, то с самого начала было в полном списке наших правильных множеств. Но тогда оно содержит себя в качестве своего элемента, значит оно **неправильное**... Если оно **неправильное**, то в списке правильных множеств его, естественно; нет и быть не

может. Тогда наше замечательное множество  $T$  не содержит себя в качестве элемента и, следовательно, оно **правильное**.

Этот страшный удар по логике был нанесен в 1902—1903 годах, когда от теории множеств ожидали прояснения прежних проблем. Один из крупнейших специалистов в этой области Г. Фреге говорил, что парадокс Рассела—Цермело нанес ему «буквально душевную травму».

Фреге кончал писать книгу «Основания арифметики», используя теорию множеств, когда получил от Бертрана Рассела письмо с сообщением об этом парадоксе. И вместо оптимистического заключения книги, которое уже появилось из-под пера Фреге, ему пришлось писать мрачный финал: в виде латинской пословицы «*Solatium miseris, socio habuisse malorum*» (утешением несчастному является общее несчастье).

Конечно, не очень-то гуманистическая пословица, но что делать? В самом деле, ведь Фреге увидел, что не просто подрываются его способы обоснования арифметики, но взрывается возможность логического обоснования арифметики вообще.

К разрешению парадокса Рассела—Цермело были приложены в XX веке гигантские усилия. Но суть его не поколеблена. Увы, приходится признать, что само понятие правильного множества, такое уютное и простое, непригодно в суровом мире реальности, где то и дело показывает клыки бесконечность...

\* \*

\*

**Кэвэндиш:** Это поистине удивительная история. Но все это, наверное, дело математиков. Я что-то не вижу, как связать парадокс, о котором мы только что слышали, с миром частиц, с физикой.

**Научный сотрудник:** Мне думается, что именно для частиц это наиболее поучительно...

Мы думали сначала, что частица простая, потом поняли, что ее структура может быть очень сложной, и, наконец, пришли к мысли, что адрон должен включать в себя все другие частицы (в потенциале).

Вы помните ведь наше определение адрона через бутстрап, «зашнуровку»? И вот сейчас из теории множеств приходит к нам убедительный довод в пользу именно такой картины микромира!

**Кэвэндиш:** Поясните, будьте любезны, где же вы видите столь приятную вашему разуму связь, ибо от меня все еще ускользает эта логика...

**Научный сотрудник:** Но ведь это совсем просто. Допустим, что никакого бутстрапа нет и адрон не является частью самого себя. Мы можем рассматривать его как правильное множество каких-то

элементов, образующих его структуру. Что же такое будет представлять тогда весь наш мир, построенный из бесконечного множества частиц, ни одна из которых не совпадает по сложности со всем этим миром? Это будет не что иное, как наш смертельно ядовитый объект: правильное множество всех правильных множеств, о котором, согласно парадоксу Рассела — Цермело, и сказать-то толком ничего невозможно. Как же спастись от этого несчастья? Отбросить допущение, что бутстрапа нет. Он **должен быть**, если мы не желаем погибнуть в пропасти логических парадоксов! Итак, я утверждаю: мир замкнут на себя, и любая его частица бутстрапна... Это — третий мост между теорией множеств и физикой частиц.

\* \*

\*

Когда два судна сближаются, чтобы завязать абордажный бой, труднее всего зацепить за борт первые крючья, не дать кораблям разойтись. Дальше уже все идет быстрее и эффективнее.

Мы построили уже три моста. И потратили на это немало времени, чтобы понять довольно тонкие рассуждения из обеих наук. А надо заметить все же, что и теория множеств, и теория частиц не относятся к числу совсем уж простых наук. Теперь ускорим темп. Попробую излагать следующие связи множества—частицы и побыстрее.

Мы знаем, что определяющим понятием в диалектическом изучении природы является движение.

«Алгеброй Поверил я гармонию. Музыку я разъял, как труп», — говорил пушкинский Сальери.

А мы этого не хотим; нам будет неприятно умерщвлять наш живой объект исследования, отнимая от него движение. Значит, надо учесть в рассмотрении движение, постараться получить его из самого хода рассуждения. Но мы именно это и делали, когда пытались, например, построить «множество всех множеств». При этом все время обнаруживалось, что нам не хватает все новых членов, и нам приходилось образовывать для полноты все новые и новые множества, хотя они, конечно, и не давали нам нового качества. Это очень похоже на простое, бесхитростное **поступательное** движение.

При попытке же построения правильного множества всех правильных множеств мы вперед продвинуться не могли и как бы топтались на месте: то включали в множество всех правильных множеств, то исключали из него само это множество всех правильных множеств.

И вот так, колеблясь между этими двумя возможностями и не имея возможности остановиться ни на одной из них (из-за парадоксов, уже известных нам!), мы получаем аналог второго всеобщего типа движения: **колебательного**. Это, пожалуй, мост между всей физикой (не только теорией частиц) и теорией множеств! Мост четвертый.

\*                      \*

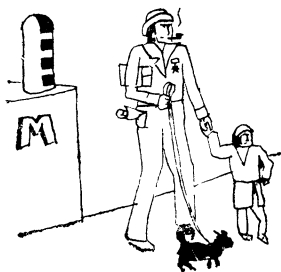
\*

Поговорим о демократии и диктатуре. Но, разумеется, не в мире людей (мы ведь не политические обозреватели), а в неодушевленном мире частиц, полей, множеств и математической логики.

Однако для наглядности будем пользоваться все же более живой терминологией социальных сообществ. Что очень характерно для демократии? Наряду с другими важными свойствами, наверное, еще и то обстоятельство, что член демократического общества обязательно входит в разные группы — множества. Гражданин может относиться к множеству трудящихся (или, скажем,

пенсионеров) и к множеству избирателей, и родителей, и членов профсоюза, и пассажиров городского транспорта, и владельцев собак, и рыжих, и т. д., и т. д. В руководстве обществом мы также видим всевозможные коллегиальные органы — вплоть до самых высших.

А может ли диктатор быть членом какого-нибудь сообщества? Нет, наверное, истинный диктатор не терпит не только никакой коллегиальности, но даже и сравнения кого-либо с собой! Он находится абсолютно вне категорий! В истории было не так уже много истинных (в этом смысле) диктаторов. Ну, возможно, некоторые римские императоры...





Вернемся теперь к нашим бесконечным множествам. Мы видели, что, как только пробуем включить одни из них в другие, возникают парадоксальные результаты. Так, может быть, именно в самой идее включения «сверхобширных» множеств друг в друга кроется причина этих трудностей?

Именно такова и была идея Неймана и Геделя, которые прямо запретили такое включение. Для этого пришлось, между прочим, ввести принципиально новое понятие в математике — понятие **класса**. «Классы — это те множества, которые не могут быть членами других множеств» (Гедель, 1939). Вот так, решительно и однозначно...

Но это направление в математике все же кажется мне слишком уже строгим. Разумеется, полезно исследовать абстракции абстрактными понятиями еще более высоких категорий, .. но все же идея о запрете входить в другие множества представляется слишком жестокой. Я верю в мир взаимопереплетенный, из которого нельзя полностью вычленить никакой объект, пусть даже наш «сверхобширный». Пусть лучше парадоксы, чем ледяной холод излишней абстракции.

Голосу за демократию против диктатуры...

*В одном милом детском мультфильме теленок, научившийся недавно считать, все время стремится применить это свое умение.*

*— Я тебя сейчас сосчитаю! — серьезно говорит он встретившейся ему корове.*

*— Ой, — мычит озабоченная корова. — Он меня сейчас сосчитает! ...*

*Дети (и взрослые) весело смеются: действительно, наша чего бояться — сосчитают ее, ну и что с ней сделается.*

Попробуйте-ка сосчитать количество точек на листе бумаги, где напечатаны эти вот строки. Никогда вам этого не удастся! Их будет просто бесконечно много, так что счет никогда не закончится. Это было бы еще полбеды. Ведь и чисел в натуральном ряде: 1, 2, 3, 4, ... тоже бесконечно много, но мы все-таки можем начать считать их, не пропуская ни одного, и спокойно двигаться таким образом к бесконечности, оставляя позади все больше «сосчитанных коров».

Натуральный ряд чисел — это классический пример **счетного** множества. Вот множество всех точек на плоскости или даже на прямой явно несчетно. Ведь между любыми двумя точками на прямой можно всегда вставить еще точку... Интуитивно мы чувствуем, что долж-

на существовать принципиальная разница между счетными и несчетными множествами как между непрерывным и прерывистым (дискретным).

В теории множеств, применяя уже использованную нами терминологию, можно сказать, что у счетных и несчетных бесконечных множеств различные мощности. Похоже, что между ними стоит, таким образом, прочный барьер. Ну вот как между частицами, которые можно в любой данный момент пересчитать, и полем, непрерывным по построению...

Однако не будем преждевременно радоваться этой стройной аналогии. 1922 г. В теории множеств Сколем обнаружил новый парадокс. Не буду формулировать его строго математически, чтобы не совсем уже запугать читателя. Но смысл парадокса Сколема в том, что бесконечные множества, несчетные в одной системе, оказываются счетными в другой. Следовательно, понятия **счетное** и **несчетное** относительны! Нет никакой абсолютной несчетности! И, наверное, поучительный вывод для теории частиц отсюда должен быть таков: Понятие континуума (поля) тоже относительно.

В одной системе — поле, а в другой — набор частиц... Относительность так относительность!

В 1925 г. Джон фон Нойман показал, что не только счетность и несчетность относительны, но даже и само понятие конечности тоже зависит от выбора системы, в которой мы рассматриваем объект... Между конечным и бесконечным, выходит, нет четкого и резкого перехода. Есть ли аналогии этому в физике?

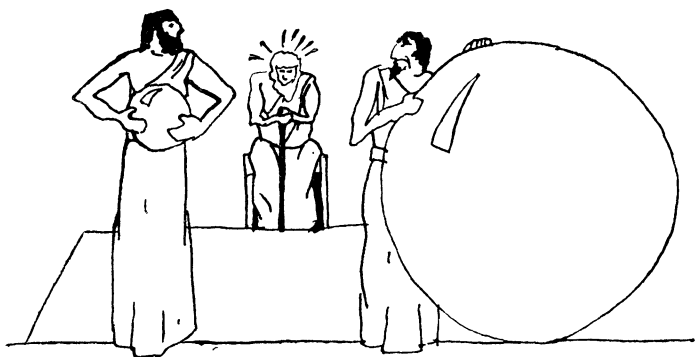
Если в неоднородной Вселенной, а она, разумеется, и есть неоднородная, будем расщеплять континуум пространство—время на отдельно пространство и отдельно время, то в одной системе координат такое отщепленное пространство окажется бесконечным, а в другой — вполне может быть конечным. Вот эта относительность конечного и бесконечного, счетного и несчетного — наш пятый мост.

*На мосту стоит корова и отвечает грамотному теленку: Му-у... Попробуй, сосчитай меня! Еще неизвестно, в какой системе координат ты это будешь делать. Может быть, я — несчетная корова...*

\* \*

\*

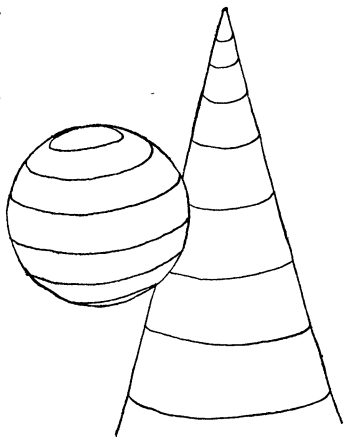
Однажды Пифагор начертил на песке два круга — побольше и поменьше. И сказал своим ученикам:



Внутренняя часть этих кругов — это то, что знает человек, а снаружи их расположено огромное море незнания. Но мы знаем об этом непознанном нами мире не все, обо многих его тайнах даже и не догадываемся. Лишь то, что находится на окружности, на границе нашего знания и незнания, ощущаем мы как неведомое, как нуждающееся в познании. Смотрите теперь: вот небольшой круг — знания человека малообразованного. Однако и окружность его невелика, и этому человеку кажется, что неизвестного не так уж много. А большой круг — знания мудреца. У большого круга и окружность большая, ибо мудрец остро чувствует недостаточность своих знаний в тех областях, о которых невежда даже не слышал в счастливом своем незнании...

Конечно, когда мудрец говорил: «Я знаю только то, что я ничего не знаю», он немного кокетничал. Знание его увеличивалось, но и граница непознанного расширялась; так что, охватывая взглядом всю бездну открывающихся загадок, можно понять отчаивающегося мудреца...

Но, может быть, это увеличение незнания, открывающегося перед исследователем, когда-нибудь начнет сменяться сокращением непознанного? Может быть,



в общем-то объем знаний о мире не бесконечен? Если говорить на языке пифагоровских кругов (для наглядности), то мы не знаем, на что больше похож наш мир — на шар или на бесконечный конус.

Если для шара круги будут сначала увеличиваться, а после большого круга (экватора) начнут уменьшаться, то для конуса круги незнания будут расти бесконечно.

Конечно, мы знаем ответ на этот вопрос — ответ, безусловно даваемый материалистической философией: мир бесконечен, а знание наше конечно. В любой данный момент объем нашего незнания в бесконечное количество раз превышает объем того, что мы знаем (в этом смысле верно: «знаем мы только то, что ничего не знаем»...).

Однако любопытно посмотреть, как отражается это общепhilosophическое утверждение в наших теориях.

\*            \*  
\*

Теория частиц: вся логика развития приводит к убеждению, что структура материи становится все сложнее с углублением в нее. Но до бесконечности ли? Посмотрим, какие подсказки поступят нам из теории множеств...

Ответ однозначен: нет никакого предела усложнению объекта. Мы имеем в виду утверждение Кантора: «Мощность множества всех различных частей каждого данного множества всегда больше мощности самого этого множества». Отсюда следует, что какое бы сложное бесконечное множество мы не взяли, всегда найдется множество с еще большей мощностью! Достаточно нам, в самом деле, взять множество всех подмножеств, о котором говорится у Кантора, и у нас уже более мощное множество. Значит, можно говорить о неограниченной последовательности множеств со все возрастающими мощностями, которое должно соответствовать бесконечно возрастающей структурности и сложности микромира (мост шестой).

... Но давайте еще раз посмотрим на только что процитированное утверждение Кантора и вдумаясь в него. Ведь что оно означает по сути дела? Богатство

информации, которую можно извлечь из всех ассоциаций, комбинаций частей и внутренних связей сложного объекта, пока мы не попытаемся его дробить. Как только мы извлекаем для нашего подробного изучения какую-то деталь или часть, мы неминуемо убиваем живое целое, упрощаем и вульгаризируем его. И снова сталкиваемся с парадоксами.

\*       \*

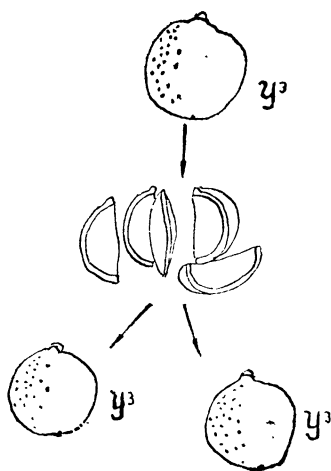
\*

Вот строгая теорема теории множеств, основанная на одной очень наглядной аксиоме (мы о ней позже скажем):

«Любые два ограниченных тела, хотя бы и разного объема (например, два куба разной величины), конгруэнтны при конечном разбиении».

Если вы не знаете, что такое «конгруэнтны» — спросите ваших детей школьного возраста, учившихся геометрии в 70-х годах. Они к этому экзотическому термину уже претерпелись: тела или фигуры конгруэнтны, грубо говоря, если всевозможными перемещениями их можно совместить. Слова «при конечном разбиении» означают, что нам разрешается двигать наши тела не целиком, а разбивая их для нашего удобства на конечное число частей. И вот выходит таким образом, что дом равен кирпичу, а слон равен мыши. Даже более подробная теорема доказана:

Любой шар является суммой пяти непересекающихся множеств, из которых после соответствующих переносов и поворотов получаются два непересекающихся шара, каждый из которых конгруэнтен исходному шару. К сожалению, доказательство этого утверждения является так называемым чистым доказательством существования (основанным все на той же «та-



инстинктивной» аксиоме, о которой я уже упонимал) и не позволяет практически получить из одного шара два такого же объема.

Хотите еще несколько утверждений, строго следующих все из той же аксиомы? Пожалуйста.

1. Отрезок прямой при конечном разбиении **меньше** отрезка, имеющего **меньшую**, чем он, длину.

2. Круг при конечном разбиении меньше **произвольного** данного круга.

Наверное, достаточно.

Все же мы не верим в беспричинное рождение объектов. И зрелище размножающихся кубов и кругов никак не радует душу ученого. Так что же это за зловредная аксиома, использование которой доводит нас до таких безобразий?

\*       \*

\*

Вот она.

Аксиома выбора Цермело:

«Если дано бесконечное множество бесконечных множеств, то из каждого множества можно выбрать по одному элементу, не указывая заранее закона выбора». Вот и все. Кажется, просто до тривиальности, даже и обсуждать здесь нечего. Тем не менее все парадоксальные результаты, которые мы только что рассмотрели, следуют из этого простенького положения.

Бертран Рассел сказал об этой аксиоме: «Сначала она кажется очевидной, но чем больше вдумываешься в нее, тем более странными кажутся выводы из этой аксиомы; под конец же перестаешь понимать, что же она означает...»

Конечно, в простой с виду аксиоме выбора и должна содержаться таинственная глубина и противоречивость! Иначе, действительно, придется поверить в творение материи из ничего, в создание двух шаров из одного...

Если, в самом деле, подумать — почему в реальном мире невозможно такое творение, а в абстрактной математике такие теоремы доказываются, то дело здесь, я думаю, в слишком легком подходе к понятию «выбора». Мы ведь уже знаем, что, изымая какую-либо часть из объекта, колоссально обедняем его, лишая себя бесконечного количества всевозможных связей, возможных с учетом этой изъятой части.

Так же, как человечество теряет бесконечно много со смертью каждого своего члена, — не только целый мир уходит в нем самом, но и все связи, и все встречи, и все возможные его поступки, каждый из которых мог бы неузнаваемо изменить в конце длинной цепочки причин и следствий весь этот огромный мир.

Помните Джона Донна?

«Ни один человек — не Остров; но каждый человек — часть Континента, часть целого... и если Утес подмывается Морем, Европа становится меньше... Смерть каждого человека уменьшает меня, потому что я — часть Человечества. Поэтому никогда не посылай узнать, по ком звонит колокол: он всегда звонит по тебе».

Поэтому мы должны признать, что нельзя безнаказанно расчленять наш объект (особенно, если он бесконечно сложный, как любая «элементарная» частица).

Теорема выбора, необходимая для теории множеств, предполагает, что элементы множеств можно отличать друг от друга и рассматривать по отдельности, как особые самостоятельные целые. Но там, где необходимо учитывать взаимозависимость, даже взаимопроникновение объектов друг в друга, где отвлечься от этого нельзя, — там теоретико-множественный подход к исследованию реального мира следует применять с огромной осторожностью.

Теория множеств — могучее оружие. Но все же не всесильное. С невероятной сложностью реального мира до конца не совладать и ей... Поэтому бесконечно будут продолжаться поиски, находки и использование все новых видов научного оружия. Путь науки, по-видимому, не имеет конца.

\*                      \*

\*

Я сказал «по-видимому», потому что, как это нам может быть ни ужасно воспринимать, история человечества тоже конечна. Конечно, подсознательно мы верим в бессмертие человечества. Но на чем основана эта вера? (Именно вера, ибо доказательств никто не предъявлял пока.) В общем — на привычной инерции мышления.

«Защита утверждения о бессмертии человеческого рода есть точно такая же мистика, как и защита мнения о бессмертии индивидуумов» (А. Поликарпов, бол-

гарский философ-марксист). И это — не модерна точка зрения, а вполне продуманное (хотя и очень грустное) утверждение, имеющие основание в положениях классиков марксизма.

Вот слова Фридриха Энгельса:

«... И у истории человечества будет не только восходящая, но и нисходящая ветвь. Мы находимся, во всяком случае, еще довольно далеко от той поворотной точки, за которой начнется движение общества по нисходящей линии...»

Если наступит конец человечества, то наступит конец и увеличению комплекса научных знаний... Конец науки.

Что же нам делать, трезво понимая эту неизбежную перспективу (пусть и очень отдаленную)? А то же, что делает и каждый человек перед лицом своего неизбежного ухода в небытие — спокойно делать все, что мы в состоянии сделать.

«Все, что может рука твоя делать, по силам делай» (Книга Экклезиаста).

И что дальше?

«... С той же самой железной необходимостью, с какой материя когда-нибудь истребит на Земле высший цвет — мыслящий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время...» (Энгельс).

\* \* \*

Итак, понятие **выбора** оказывается очень и очень сложным, может быть наиболее сложным в науке. Вот теперь и попробуем ответить на наивный вопрос из предыдущей главы — четно или нечетно количество звезд?

Конечно, нас интересуют не только звезды, а и любые объекты реального мира, число которых невообразимо велико — бесконечно... Оказывается, что ответ на такой вопрос снова зависит от выбора. Какой закон выбора мы зададим — такой ответ и получим...

Смотрите, если множество конечно, то его элементы можно соединить в пары, и тогда станет ясно: либо их число четно (вне пар ничего не остается), либо нечетно (один элемент остается лишним).

А если элементов бесконечно много? Перенумеруем их тогда: 1, 2, 3, 4, 5, 6... и попробуем опять связать



в пары: 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 и так далее до бесконечности. Похоже, что так мы свяжем все элементы в пары! Ведь не может остаться лишнего элемента: за ним всегда стоит следующий, и опять мы получаем пару. Значит, в бесконечном ряду число элементов всегда четно? Совсем не значит.

Возьмем снова наш ряд: 1, 2, 3, 4, 5, 6... Но теперь первый элемент — единицу — выделим, а пары будем составлять так: 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7... И снова все последующие элементы свяжутся в пары — ведь рассуждение будет таким же, как и в первом случае. Единица останется несвязанной. Вроде бы число элементов, таким образом, нечетно?

Вы, конечно, понимаете уже, что и это неверно.

Нельзя дать ответ на вопрос Секста Эмпирика о четности или нечетности количества звезд, если их количество бесконечно...

... Каков же опыт нашего экскурса в теорию множеств и в глубины микромира, каков же результат строительства наших мостов? Многое сделано, и многое еще удастся сделать. И все же радужный спектр великолепных открытий и теоретических откровений неминуемо меркнет перед реальными богатствами мира.

«Сера, мой друг, теория всегда,

А древо жизни вечно зеленеет».

(Иоганн Вольфганг Гете).

## Глава 4

### ИСКРЫ В РУЧЬЕ

#### (новые частицы)

Каменщик стучит,

Огненные искры

По ручью плывут.

*Еса Бусон, XVIII в.*

«Нью-Йорк Таймс», среда, 29 августа 1979 г.

«Батавия, Иллинойс, 28 августа, АП — Международная группа физиков получила свидетельство в пользу существования новой частицы, называемой глюон, которая удерживает вместе центры атомов, подобно клею.

Ученые на симпозиуме физиков в Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми представили на этой неделе первое прямое свидетельство об этой ускользающей частице, глюоне, которая впервые была предсказана теорией около десяти лет назад.

Доктор Леон Ледерман, директор лаборатории, заявил, что это открытие дает ключевую поддержку современной теории внутренней структуры нейтронов, протонов и других деталей материи, которые когда-то считались неделимыми.

«Физики в восторге», — сказал доктор Ледерман. «Мы начинаем понимать, как все это держится вместе».

\*       \*  
\*

Глюон, — основной переносчик взаимодействий в квантовой хромодинамике, — перестал быть просто теоретической гипотезой. Это действительно очень нерядовое событие в изучении строения материи! И разумеется, этот успех пришел не простой ценой.

... «Нью-Йорк Таймс», 29 августа 1979 г.

«Эксперименты, с помощью которых был открыт глюон, проводились этим летом более чем 300 физиками из Западной Германии, Японии, Соединенных Штатов, Великобритании, Норвегии, Франции, Израиля и Китая. Они работали на новом ядерном ускорителе в Гамбурге (ФРГ). На этом ускорителе, известном по немецкой аббревиатуре PETRA, обнаружение новой частицы стало возможным благодаря тому, что в нем сталкиваются электроны и позитроны с энергией в три раза большей, чем на самой мощной из имевшихся ранее машин.

Столкновение двух частиц рождает брызги и струи других частиц, и ученые могут анализировать эти струи, чтобы понять происхождение и источник. При очень высоких энергиях одну из струй можно проследить, как происходящую от невидимой частицы — глюона, который, как предполагали физики, и должен был излучаться в электрон-позитронных столкновениях при достаточно большой энергии.

Открытие глюонов дает дополнительную поддержку теории, согласно которой протоны, нейтроны и другие элементарные частицы из класса, именуемого **адроны**, состоят из еще более мелких частиц материи — **кварков**.

Когда существование кварков было предложено в начале 60-х годов, о них думали как о всего лишь интересном наблюдении в математике элементарных частиц. Но с тех пор свидетельства в пользу существования кварков все время нарастали».

\*            \*

\*

... Разбираться в деле, о котором споришь? Я утверждаю, напротив, что для спора необходимо, чтобы, по крайней мере одна из сторон ничего не понимала в этом деле, и в так называемом оживленном споре, в момент его высшего проявления, обе стороны ничего не должны понимать в нем и даже не ведать, что они говорят...

*Георг Кристоф Лихтенберг*

Отвлечемся немного. На одной из недавних конференций по квантовой теории поля академик М. А. Марков заметил:

«Изменилась за последнее время сама атмосфера наших конференций: появились наблюдения в теоретической физике».

В самом деле, если раньше в теоретической физике допускались лишь достаточно строгие рассуждения, то теперь достаточными бывают и наблюдения, достаточно бывает лишь подметить какое-либо совпадение величин или некую аналогию. Приоритетная гонка иногда приводит к тому, что публикуются слабо обоснованные работы, но какая-то идея в них заявлена, и это дает автору право потом претендовать на первое слово... Нередко даже случается, что спорящие о каком-либо приоритетном вопросе даже не вполне четко представляют себе предмет спора, хотя и стараются успеть сделать свое заявление раньше соперника...

... Двое отдыхающих встречаются на фешенебельном курорте.

— Мне кажется, что мы с вами где-то встречались...

— Разумеется, — не дает договорить второй, — я там часто бываю...

... «Кварки никогда не наблюдались в свободном виде. Они всегда крепко связаны внутри протонов, нейтронов или других частиц.

Ученые обладают хорошими, но косвенными свидетельствами о существовании по меньшей мере пяти различных типов кварков, и сейчас они ищут шестой...

Физики, работающие на PETRA, говорят, что они разочарованы тем, что эксперимент не принес доказательства существования шестого типа кварков и что они планируют увеличить энергию ускорителя к концу этого года в попытке все-таки найти шестой кварк».

\*       \*  
\*

В момент, когда эти строки идут в типографию, т. е. в июне 1981 г., шестой кварк все еще не открыт. Но дело не в этом.

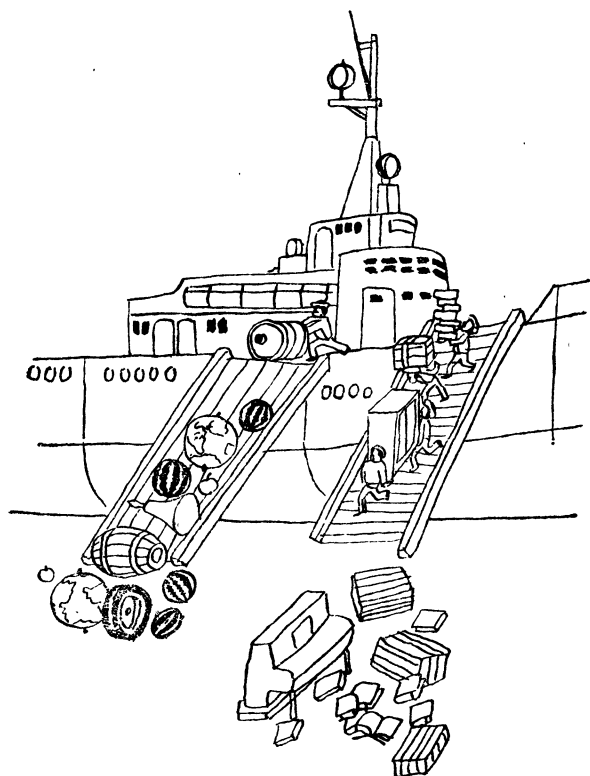
Нам полезно, пожалуй, задуматься над уверенностью, с которой физики предсказывают один за другим новые виды кварков, ищут косвенные подтверждения их существования и удовлетворяются этими косвенными данными. Откуда вообще возникают идеи о все новых и новых необходимых кирпичиках строения адронов? Давайте присмотримся к истории этого этапа изучения строения материи.

Сначала кварков было три. Разумеется, никто их экспериментально не наблюдал, но вся совокупность сведений о поведении элементарных частиц указывала, что трех фундаментальных кирпичиков — кварков — вполне достаточно: все объясняется с их помощью прилично. Но возникают некоторые трудности с построением барионов из трех кварков... надо бы предположить, что наборы кварков бывают трех сортов («цветов»)...

Итак, все 60-е годы кварков в теории существовало три раза по три. Стало быть, девять. Затем опять из общетеоретических соображений, чтобы справиться с трудностями в теории слабых взаимодействий, предположили, что есть еще один тип кварка — очарованный кварк (вернее, три новых кварка — сразу уж считаем, что каждый новый тип кварка является в трех цветах). И это, как мы знаем, эффектно подтвердилось открытием  $\psi$ -частиц в начале 70-х годов.

\*       \*  
\*

Может быть, однако, все это делается для объяснения уже открытых вещей?... Часто в науке занимаются делом вполне полезным и нужным — «приборкой в доме». Беспорядочный завал фактов надо как-то



разложить по полкам. А пока строгой теории нет, обходимся условными принципами распределения.

— Ребята, все круглое кати сюда, а все плоское тащи туда!

Потом будем разбираться, что арбузы, бочки и глобусы попали в одну категорию, а книги, лопаты и ящики с селедкой — в другую.

Но в первом приближении такое упорядочение, подгонка — **фитирование** — дело вполне для теоретика привычное. К тому же открывающее большой простор для произвольных поправок и изменений, чтобы там и сям подправлять картину, если в ней что-то не совсем хорошо.

Но если теория такого типа поддается любым видоизменениям без конца и края, то это уже очень плохо. В самом деле, надо же знать, хороша наша

теория или нет. Если мы будем ее беспрерывно менять, то никогда этого не поймем.

Один современный физик Пьер Нойес заметил по этому поводу: «Мы зачастую не формулировали наши теории таким образом, чтобы их можно было надежно **опровергнуть**. Когда мы просим наших коллег-экспериментаторов проверить одну из наших гипотез, мы прежде всего должны спросить сами себя — определили ли мы возможный исход эксперимента, который мог бы **убедить нас, что наша гипотеза ошибочна?**»

Теория должна быть уязвимой... Если она исправляется бесконечными модификациями и фитированием, то ее сила (и доверие к ней!) падают. Теория, как и живое существо, должна иметь жизнь и смерть. Если же заменять в ней протезами один орган за другим, то получим уже не то существо, которое было вначале.

... Американский физик Дж. Мастерс предложил полушутливое «правило тринадцатого удара», которое следует помнить, читая работу, обещающую слишком много: «если часы пробили 13 раз, то это не только означает, что 13-й удар был неверным. Он порождает сомнения в верности каждого из первых двенадцати ударов».

Так вот, это остроумное соображение, к сожалению, не применимо к теориям, основанным на безостановочном и неуправляемом фитировании.

*В одном городе собирали пожертвования в благотворительный фонд. Пришли и к местному художнику.*

*— Денег у меня нет, но я могу пожертвовать картину ценой в 200 долларов.*

*Однако, когда кончили собирать средства, до нужной суммы не доставало все еще 100 долларов.*

*— Ну, ладно, — говорит художник, — так и быть. Я поднимаю цену моей картины до 300 долларов, теперь вам хватит денег...*

*Этот художник, конечно, совершил очень обычную операцию фитирования.*

Вернемся, однако, к нашим кваркам. Не относится ли предсказание цветных кварков и очарованного кварка, к разряду чистой подгонки — фитирования?

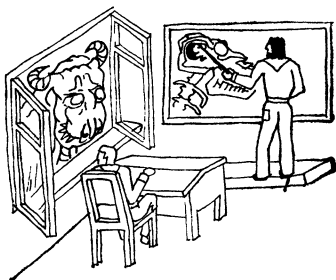
Я так не считаю. Предсказания эти не подправляют старую теорию, а создают предпосылки для создания новой. Может быть, раньше это не вполне осознавалось и самими авторами новых идей в физике частиц, но нам сейчас ясно — все предыдущие идеи, начиная от

кварков образца 1963 г. и кончая глюонами и все новыми частицами ( $D$ ,  $F$ ,  $Y$ , ...), — это продолжающееся строительство новой теории — квантовой хромодинамики.

Между тем продолжают открывать все новые частицы и явно (как  $\tau$ -лептон, о котором мы еще поговорим), и косвенно (как глюоны, с которых мы начали эту главу)...

Скептики долго относились с юмором и недоверием к теории, основанной на неоткрытых и все никак не открываемых кварках. На одном из симпозиумов по современному разделу теории элементарных частиц был произнесен такой тост:

— Жил однажды человек, который был очень крупным специалистом по драконам. Он самым тщательным образом изучил разновидности драконов, их признаки и привычки, умел прекрасно отличать один вид драконов от другого. Но, к сожалению, за всю жизнь ему ни разу не пришлось встретить ни одного дракона. И он не слышал, чтобы кто-то другой видел дракона. Когда же этот ученый приблизился к старости и утомился от вдумчивого изучения драконов, он стал обучать своему опыту молодых людей, чтобы и они так же хорошо разбирались в этой важнейшей области знания — драконологии.



Однако, по-видимому, время скепсиса подошло к концу. Несомненно, мы снова переживаем героическую эпоху в изучении микромира. Открытия стали образом жизни.

\* \* \*

\*

Электрон — одна из самых знакомых ученым частиц. И понятие электрического заряда, который она несет, стало привычным, и малость его массы по сравнению с массами других частиц выглядит естественно... Да, просто-напросто и добыть интенсивный пучок электронов очень несложно: электрический ток, текущий по миллионам километров проводов, — бытовое явление. Электрон объяснял многие явления в соответствующем разделе квантовой теории поля — квантовой электродинамике — очень хорошо. Кроме него, никаких легких частиц (лептонов) для теории не требовалось. Точнее говоря, еще оказалась нужной для объяснения слабых взаимодействий частичка нейтрино, ... и так выстраи-

валось изящное здание, где все элементы были прочно пригнаны один к другому, а на стройплощадке не валялось лишних плит и арматуры. Однако эта идиллия недолговечна, как, впрочем, и все идиллии в мире.

В 30-х годах был открыт  $\mu$ -мезон, отличавшийся от электрона лишь массой и квантовым числом — зарядом. Мю-мезон распадался в электрон с испусканием соответствующих нейтрино и антинейтрино (у  $\mu$ -мезона, как выяснилось, существует свое нейтрино, отличное от электронного). Это создавало чувство неизящности у нескольких поколений физиков...

Говорят, в одной из крупных лабораторий в Европе на стене постоянно висел плакатик:

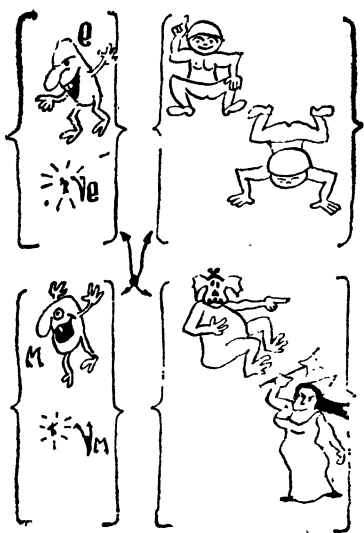
— Подумай: зачем существует мюон?

И размышление над этим вопросом предохраняло в какой-то мере от излишней гордыни ученых, которые, конечно, склонны были надеяться, что вот-вот им удастся построить окончательную теорию, если не для всего микромира, то для какого-то его крупного раздела, например, электромагнитных взаимодействий или слабых.

А мюон не вписывался в схемы, лежащие в основе таких теорий. Картина была весьма несимметричной и поэтому противной: имелось четыре основных лептона (электрон, электронное нейтрино, мюон, мюонное нейтрино) и только три основных адрона (протон, нейтрон и  $\Lambda$ -гиперон). Неизящно.

С открытием трех кварков и переходом к ним роли фундаментальных частиц это неудобное положение мало изменилось: по-прежнему ведь лептонов было четыре, а кварков только три.

Здесь приятным и долгожданным событием стало предсказание и открытие очарованного кварка. Теперь у физиков перед глазами была вполне симметричная схема:





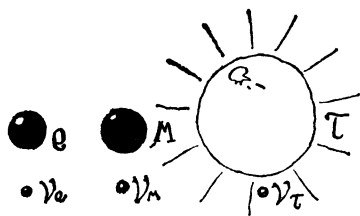
Приводились, разумеется, скорее остроумные, чем глубокие доводы в пользу того, что так и должно быть и количество лептонов должно быть равно количеству кварков. Однако глубокого понимания причин такой симметрии, если она все же имеется в природе, пока не найдено. Скорее, здесь действует психологический феномен: после столь долгого пребывания в несимметричном мире не хотелось бы терять обретенный рай лептон-адронной симметрии. Поэтому открытие новых кварков или лептонов сразу же вызывает подозрение, что другой «сектор» этой симметрии также должен увеличиться. И начинаются поиски.

\*   \*   \*

На ускорителях в Калифорнии и Гамбурге в период с 1975 по 1977 гг. был открыт новый лептон, получивший название  $\tau$ -лептона. Масса его оказалась для лептона чудовищно большой:  $\tau$ -лептон был почти в 4000 раз тяжелее электрона и в 20 раз тяжелее мюона. Изучение распадов  $\tau$ -лептона показало, что этой частице необходимо приписать новое квантовое число. Это присвоение частицам квантовых чисел, как мы уже знаем, — обычный прием в тех случаях, когда нужно обеспечить запрет на какой-либо процесс. В самом деле, если квантовое число надо сохранять, то невозможно для частицы-носителя этого квантового числа распадаться на другие частицы, его лишенные.

Вот и в случае  $\tau$ -лептона явное отсутствие в эксперименте процесса, где  $\tau$ -лептон распадался бы на электрон и фотон, приводит к мысли о том, что  $\tau$ -лептору надо приписать новое, свое квантовое число ( $\tau$ -заряд). Иначе придется придумывать, как сказал один экспериментатор, «неправдоподобно безобразную теорию», почему этот процесс не идет.

Итак, возник ряд, последовательность лептонов (каждый по своим нейтрино — у  $\tau$ -лептона тоже обнаружилось свое) уже из трех пар:



А как же с нашей симметрией лептон—кварк? Она теперь разрушена?

Конечно. Но тут же физики стали искать новые кварки, чтобы эту симметрию восстановить. И вот через два неполных года после открытия  $\tau$ -лептона появились первые намеки на существование нового кварка. Эти работы были сделаны в Батавии, в Национальной лаборатории имени Ферми, а в мае 1978 г. новый резонанс, образованный из кварка и антикварка нового типа, был открыт и объявлен физиками, работавшими на ускорителе в Гамбурге. Этому кварку дали название **красота** (beauty). Но для восстановления симметрии лептонов и адронов необходимо открыть еще один, шестой кварк. Его пока нет, и мы помним, с каким огорчением об этом говорится в корреспонденции из «Нью-Йорк Таймс», которую мы цитировали в начале этой главы.

Нет пока что шестого кварка. А имя ему, между прочим, уже заготовлено. Шестой кварк должен называться **истина** (truth). А истину найти нелегко, не так ли?

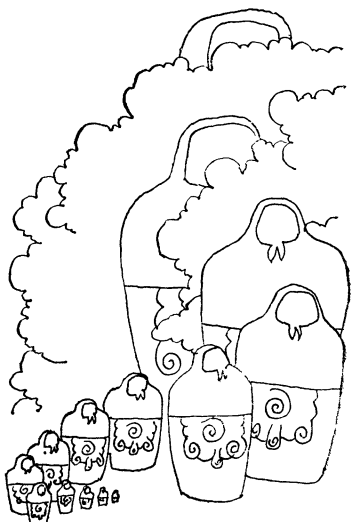
\*            \*  
\*

Будем надеяться, однако, что и шестой кварк будет благополучно найден — пусть даже в косвенных экспериментах. Что дальше?

Отметим прежде всего одно поучительное обстоятельство, связанное с открытием тяжелого  $\tau$ -лептона. Уже в сочетании этих слов «тяжелый лептон» кроется парадокс: мы помним, что «лептон» по-гречески означает «легкий». До открытия  $\tau$ -лептона можно было думать, что точечность («элементарность») лептонов связана с их малой массой. Действительно, массы всех первых четырех лептонов были существенно меньше, чем масса легчайшего адрона —  $\pi$ -мезона. Элементарность (точечность) лептонов сохраняется в эксперименте и теории и сейчас, после открытия  $\tau$ -лептона. Однако существование лептона, который в 14 раз тяжелее пиона и практически равен по массе нуклону, раз и навсегда отделяет концепцию «элементарности» частицы от ее массы.

Итак, возможно, что  $\tau$ -лептон представляет собой начало длинного, может быть, бесконечного ряда тяжелых лептонов, и, возможно, все эти лептоны истинно

элементарны, как мы сегодня уверены в отношении электрона, мюона и тау. Физик, изучающий элементарные частицы, впервые может оказаться в ситуации, уникальной в физике: возникает большое количество объектов, свойства которых нельзя объяснить в терминах гораздо меньшего числа более фундаментальных объектов. Таких «более элементарных» частиц для лептонов мы не можем искать, так как лептоны сами вполне элементарны — точечны.



Так появляется новый вариант структурной бесконечности микромира: не матрешки, вложенные одна в другую и становящиеся все меньше, а разобранные матрешки, стоящие рядом друг с другом и становящиеся все больше и больше! И никто не знает, чем кончится этот рост массы частиц, которые все же сохраняют за собой звание элементарных:

«Появление этой идеи можно рассматривать как самое яркое и значительное событие за всю тысячелетнюю историю существования наших представлений о веществе». (М. А. Марков)

\*       \*

\*

А росту числа лептонов, как мы ожидаем, будет соответствовать и рост числа кварков. Тоже до бесконечности?

- ... Молодой морской офицер сдавал экзамен.
- Что вы будете делать, — спрашивает его адмирал, — если поднимется сильный ветер?
- Брошу якорь, — отвечает офицер.
- А если ветер в десять раз сильнее?
- Брошу десять якорей.
- А если ветер еще сильнее?!
- Тогда я брошу еще якоря.
- Адмирал: Да откуда же вы возьмете все эти ваши якоря?
- Офицер: Оттуда же, откуда вы ваш ветер.



Реализуется ли в природе все то, что должно быть согласно предсказаниям теории? Из требований определенной симметрии элементарных частиц следует ожидать существования частицы с определенными массой, спином и т. д. А ее нет. Нарушение это нашей теории или нет?

Вот если частица появляется не там, где следует из теории, это, конечно, сильный удар по теории, часто даже — уничтожающий. Но если есть просто незаполненная вакансия, как тогда? Имеет ли право природа не реализовать чего-либо дозволенного, или она обязательно должна заполнить все строчки штатного расписания?

Мне кажется, что здесь уже затрагиваются такие непростые вопросы (и не только науки, но и других сфер человеческой деятельности), что следует начать новый параграф или даже несколько.

### **Тезисы о «фантастическом» реализме**

1. Задача и цель науки — открывать новые элементы объективного внешнего мира, коррелировать их с уже известными элементами, находя их место в общей картине мироздания, и, разумеется, искать конкретные пути их включения в социальный опыт человечества. (Это — дело прикладной науки.)

2. Искусство не имеет конкретной цели (за редкими исключениями агитационного, пропагандистского или мобилизационно-патриотического характера). Ближайшая задача искусства — дать отражение внешнего мира, передающее не только поверхностные логические и эмоциональные связи, но и более глубокие соотношения между общественными и индивидуальными свойствами. Эта задача может быть в принципе решена как чисто реалистическими методами (вплоть до натурализма), так и другими способами (пародия, миф, сатира, гротеск, притча и т. п.).

3. Искусство достигает своих целей, комбинируя в различных сочетаниях известные элементы. Наука (фундаментальная) открывает новые элементы мира.

4. Искусство кумулятивно, а наука исторична, т. е. произведения искусства разных эпох одинаково ценны

для нас, эквивалентны, а в науке интерес представляют в основном только последние, новые результаты, если, конечно, не слишком увлекаться приоритетными спорами.

\* \* \*

Сделаем небольшой перерыв в наших рассуждениях, хотя бы для того, чтобы оговорить все вышесказанное — это мнение автора, ни для кого не обязательное и, вполне возможно, решительно не совпадающее с точкой зрения многих читателей. (В этом случае они могут написать свои книги, где изложат свои взгляды, — я почитаю.)

Вообще говоря, вопрос о комбинировании элементов как методе отражения искусством мира не так уж очевиден. На этом пути возникали такие течения, как, например, кубизм, «расчленявший мир и человека на «элементы», занимавшийся произвольным комбинированием этих элементов, не заботясь о связях разрозненных частей целого с подлинной действительностью» (по словам известного советского искусствоведа (Б. Л. Сучкова).

Вот этот момент деформации при отступлении от чисто натуралистического отражения мира, по-моему, важен и для искусства, и для науки. Мы уже встречались в наших заметках со случаями, когда неточные, неполные модели все же вносили существенный вклад в наше понимание мира. Ведь известное утверждение о том, что никогда не будет у нас абсолютного знания, а только бесконечное, асимптотическое приближение к нему и дает нам право на деформацию! Прочитируем снова Б. Сучкова:

«... Деформирует облик действительности и реалистическое искусство, примером чего могут послужить некоторые образы, например, Гоголя (скажем, из «Невского проспекта») или Диккенса.

Но есть предел деформации, за которым уже стоит нереалистическое воспроизведение действительности, как, например, в картинах Брака или Сальвадора Дали».

Стало быть, речь идет именно о **пределах** допустимой деформации. Какие комбинации элементов уже за пределом, и кто это определит? Ведь возможны и такие комбинации, которые отражают символически глубокие

идеи («Нос»), хотя и внешне абсурдны предупреждения (как многие не канонически-реалистические произведения научной фантастики)...

Может быть, имеет смысл говорить не о пределе для комбинаций, а о пределе для дробления на части, на элементы явлений реальной жизни, из которых затем строится наша комбинация? В самом деле, раздробив какое-то явление на слишком мелкие части, мы ведь можем и потерять те специфические для изображаемого уровня организации черты и свойства, которые образуют «душу» этого явления, его, как говорили наши предшественники, жизненную силу — *fors vitalis*.

Дробите воду на капли, дробите ее на молекулы, и она останется водой. Но всего еще один шаг — разобьем молекулы на атомы — и воды больше нет; сколько не перебирай атомы водорода и кислорода, ее уже не будет ни при какой комбинации — разумеется, кроме прежней, единственной: кислород в центре и два водорода под углом в  $105^\circ$  от него...

### **Тезисы о «фантастическом» реализме (продолжение)**

5. Итак, искусство может комбинировать элементы окружающего нас мира как в канонических сочетаниях (реализм), так и в сочетаниях, ненаблюдаемых в жизни («в опыте») явно, но не противоречащих законам природы и общества («фантастический реализм»).

Есть и еще тип комбинаций — это те из них, которые нарушают фундаментальные логические или научные законы (абсурд).

6. И в искусстве, и в науке интерес представляют в основном первые два типа. В научном творчестве чистый реализм — это, скорее, прерогатива прикладной науки, изучающей то, что явно дано нам в эксперименте, что надо не столько искать и предсказывать, сколько объяснять.

«Фантастический реализм» в науке — это поисковые фундаментальные исследования, где с равным основанием исследуются все незапрещенные варианты, а так же и «слегка запрещенные». Вдруг какой-то из законов природы, кажущихся нам точными, немного нарушается? Мы будем знать, что в этом случае произойдет, и разжалование закона природы из ранга абсолютных в относительные не застанет нас врасплох.

7. Не следует думать, что фантастико-реалистические и даже абсурдные комбинации — это игра рафинированного ума и позднее проявление цивилизации. Ничего подобного! В народном творчестве сплошь и рядом встречаются фантастико-реалистические и абсурдные сюжеты. Волшебные сказки или сказки о животных, небывлицы — это все комбинации второго и третьего типов... Иногда, впрочем, встречаются псевдоабсурдные или тривиально-абсурдные сюжеты, когда просто происходит отражение «да» на «нет», а структура во всем прочем остается неизменной. Хотите пример из истории науки? Извольте: все тот же наш старый знакомый флогистон — теплород. Сейчас мы говорим:

— При горении к веществу **присоединяется** кислород. А в теории флогистона считалось, что истина такова:

— При горении **выделяется** теплород.  
Общая же логическая схема прежняя...

### **Тезисы о «фантастическом» реализме (продолжение)**

8. А теперь я попробую убедить вас в наличии связи между «фантастическим реализмом» и эргодической гипотезой в физике. Напомню кратко смысл этого научного положения. Система, которая состоит из многих частиц, взаимодействующих между собой, движущихся, все время меняется, переходит все в новые состояния. Но, хотя этих состояний может быть очень много, их все же не бесконечно много. К тому же мы имеем право рассматривать только те состояния системы, которые удовлетворяют законам сохранения (энергии, импульса и т. д.).

Эргодическая гипотеза состоит в утверждении, что за достаточно большое (возможно, бесконечное) время система обязательно побывает во всех разрешенных для нее состояниях.

Вы знаете известную шахматную задачу: начиная с какого-то поля, пройти конем по всем клеткам доски. Эта задача вполне разрешима; более того, можно даже усложнить ее, запретив в процессе этой скачки коня дважды становиться на ту же клетку. В реальном мире такого ограничения, конечно, нет; система может мно-

гократно возвращаться в какое-нибудь особо притягательное для нее состояние. Важно лишь, чтобы в конце процесса не осталось ни одного не испробованного состояния...

Вот и в «фантастическом реализме», наверное, все сочетания реальных элементов мира, не нарушающие фундаментальных законов, должны когда-нибудь реализоваться! Но если будем просто дожидаться, пока в реальной жизни мы увидим все эти незапрещенные комбинации, то ждать придется, пожалуй, слишком долго. Что нам мешает самим сконструировать, домыслить такие комбинации, если они интересны? Возможно в принципе, в какой-то другой момент времени мы проектируем на настоящее с целью образовать полную систему понятий, с помощью которых осознаем и изучаем мир во всех его вариантах.



Так реализуется ли в природе все, что разрешено?

Иными словами, можно ли распространить эргодическую гипотезу, принятую (но не доказанную) в статистической физике, на всю науку в целом?

Исходя из соображений чистой логики, хотелось бы в это верить: такое устройство мира было бы понятно, хорошо сбалансированно и удобно для изучения. Но опасно полагаться на чистую логику.

*Вот как рассуждал один английский судья, разбирая дело о мелком нарушении общественного порядка.*

*К нему привели пьяницу, который не первый раз уже стоял перед судом по этому же обвинению. И судья захотел разобраться в причинах этого безобразия.*

— Итак, вы говорите, что были пьяны и в этот раз?

— Да, ваша честь, — смиренно ответил подсудимый.

— А что вы пили?

— Джин с содовой водой, ваша честь.

— А в прошлый раз, когда я судил вас, что вы пили?

— Ром и содовую воду, ваша честь.

— А в позапрошлый раз?

— Виски с содовой, ваша честь...

*И судья в строгом соответствии с формальной логикой делает вывод:*

— Итак, я вижу один общий элемент во всех этих трех приговорных случаях. Так как только он повторяется каждый раз, несомненно, он-то и является причиной вашего недостойного поведения. Я приговариваю вас к двум месяцам тюрьмы и категорически предписываю вам в будущем никогда не употреблять более содовой воды.



Все же думается, что шестой кварк будет открыт.

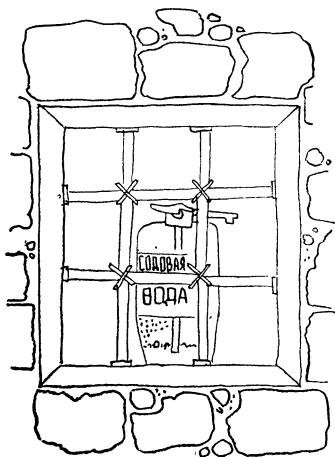
А пока давайте посмотрим, что еще было открыто в физике элементарных частиц в последние годы, и как нам следует относиться к этим новым объектам микромира.

... При высокоэнергетических адронных реакциях рождается, как нам хорошо известно, великое множество всевозможных частиц. Однако интересно знать, как проявляется это обилие частиц, возникающих при столкновениях, то ли в виде единого сгустка, то ли россыпью ничем не связанных отдельных частичек; а, может быть, струями или потоками вырываются вновь рожденные частицы из области столкновения?

Оказывается, что россыпь отдельных частичек — это, скорее, исключение, фон для других процессов более организованных и упорядоченных. Очень высокоэнергетический процесс множественного рождения можно представить как историю существования особого объекта — **файрбола**, — огненного шара.

Такой очень горячий, очень неустойчивый объект разбрызгивает вокруг себя, подобно кипящей капле воды, наиболее энергичные свои частицы. Сам же файрбол, постепенно успокаиваясь и остывая, переходит в новую стадию своего существования: продолжает распадаться уже не случайно и беспорядочно, а по вполне установленному регулярному правилу... Пока не закончит свое существование в виде немногих частиц, нетяжелых и не очень горячих, на которые он окончательно распадется. Частицы эти уже неотличимы от окружающих их таких же частиц... и воспоминание о происшедшем некоторое время назад мощном соударении в микромире, наконец, стирается.

Мы пересказали историю файрбола во времени. А в пространстве? Файрбол движется, причем в направлении, определенном обстоятельствами, при которых



произошло его рождение, движется вдоль «оси соударения». Движущийся фэйрбол воспринимают, как «адронную струю»! Оказывается, что такие адронные струи возникают и их наблюдают в самых разнообразных процессах — и в электрон-позитронной аннигиляции, и в глубоконеупругом рассеянии, и во многих других. Истолкование природы этих струй довольно разнообразно; появились специалисты по их классификации; имеется термин «исчисление струй». . . Одним словом, адронные струи приобрели все права гражданства в физике высоких энергий. Есть модели кварковых струй, глюонных и просто адронных.

Небо адронной физики сегодня расчерчено адронными струями, как небо над нашими городами — следами реактивных самолетов. Кстати, понятия «струя» и «реактивный самолет» по-английски обозначаются одним и тем же словом «jet».



Физики с интересом рассматривают и новые возможности, возникшие после построения самых основных понятий квантовой хромодинамики. Один из объектов, который следует ожидать, если верна квантовая хромодинамика, — так называемый **глюоний**.

Глюоний — это такой мезон, в котором нет кварков. А зачем, в самом деле, кварки? Есть переносчики сильного взаимодействия, глюоны, вот и попробуем строить из них объекты. Главное условие здесь — чтобы построенное состояние было «белым».

Вспомните, ведь глюоны не просто цветные, а даже двухцветные, чтобы связывать цветные кварки. Вот, стало быть, надо постараться так построить из глюонов новый объект, чтобы все квантовые числа, соответствующие цвету, были полностью скомпенсированы. Ясно, что надо делать, ясно, как надо строить, — и соответствующие модели построены. Масса глюония, по разным оценкам (правда, с весьма большой неопределенностью), 1500—2000 масс электрона. Искать в качестве глюония следует лишний скалярный мезон, сверх двух мезонов с определенными квантовыми числами из нонета (девятки)...

Однако это уже тонкости, на лед которых мы не будем ступать. . .

Обращу внимание на то, что снова перед нами возникает вопрос: реализуется ли все, что не запрещено? И снова мы ответа не знаем. Боюсь даже, что ни один конкретный результат эксперимента и даже ни одна серия таких результатов не даст нам окончательного ответа на это. И все же поиск неожиданного, как и в прежние века, остается наиболее интересной и наиболее продуктивной в конечном счете частью фундаментальной науки.

\*       \*

\*

Вот что замечает по этому поводу один из активных физиков-теоретиков из Калифорнии, Джеймс Бьеркен:

«... С риском показаться банальным, чувствую необходимость подчеркнуть, что я вижу наибольшую опасность для современной науки в том, что ее эксперименты становятся слишком резко сфокусированными. В то время как поиски предсказаний ортодоксальной теории будут развиваться, поиски явлений вне ортодоксальной теории будут страдать...»

Что еще более важно, даже находящиеся на границе значимости данные, поддерживающие ортодоксию, будут представляться научному сообществу — и будут со вниманием восприниматься им. А экспериментальные данные сопоставимого или даже более высокого качества, которые не совпадают с ортодоксией, будут подавляться самой же экспериментальной группой. И даже если они будут представлены, их не воспримут всерьез. Я не хочу обидеть экспериментаторов такими заявлениями. Я думаю, что это предубеждение — неизбежное следствие большой науки и естественного консерватизма, возникающего из процессов бюрократии в огромных экспериментальных коллаборациях, включающих множество людей и даже множество научных учреждений. И большие денежные и временные затраты...»

Критика бездумного доверия к установившейся теории совсем не означает, что можно атаковать ее с неподходящими средствами. Случайный поиск — тоже вещь очень нетривиальная.

«Случайный поиск безумных явлений — трудный способ существования...» (Бьеркен).

\*       \*

\*

У нейтрино, кажется, обнаружилась масса. Это уже открытие 80-х годов, лета 1980 г. Многие годы (с начала 30-х г.) считали, что масса покоя нейтрино равна нулю. Отсюда немедленно следовало, что нейтрино, так же как и фотон, летит всегда со скоростью света, а находиться в покое не может.

Однако прямо проверить это исключительно трудно. Нейтрино реально было обнаружено в эксперименте лишь в 1956 г., изучать его параметры всерьез стали только в 70-х годах. И вот постепенно в теории возникла такая ситуация, что нулевая масса нейтрино оказалась даже и не очень желательна. Возникла важная проблема, связанная с нашим Солнцем и с нейтрино...

Наше Солнце — естественный термоядерный реактор. Это представление стало в физике классическим, был описан цикл ядерных превращений, которые должны идти в недрах Солнца, чтобы изящно и последовательно объяснить всю солнечную энергетику. В процессе этих превращений и распадов ядерных частиц должны испускаться и нейтрино. В потоке частиц, падающих на Землю, должно быть много нейтрино. Теоретики посчитали, сколько их должно быть, а экспериментаторы (с большими трудностями) измерили поток солнечных нейтрино. Их оказалось гораздо меньше, чем следовало из расчетов.

Необходимо было от чего-то отказаться: или от представления о Солнце как о термоядерном реакторе, или от каких-то свойств нейтрино... Иначе концы с концами не сходились. Если считать, что источник энергии Солнца — не термоядерный процесс, а что-то иное, то надо указать, что же это иное. Но это не так легко. Проще предположить, пожалуй, что загадка кроется в самих нейтрино.

Допустим, все на Солнце идет в полном соответствии с моделью термоядерного цикла, а нейтрино вылетает столько, сколько нужно. Только они долетают до нас не все: что-то случается по дороге с ними. Происходит так называемая **осцилляция** нейтрино, а попросту говоря, некоторые из них переходят по пути в другие частицы и до нас долетает только небольшая часть первоначально испущенных Солнцем нейтрино. Оказывается, что при таком предположении об осцилляциях нейтрино естественно допустить, что у них должна быть масса. Массу нейтрино стали искать. И похоже, что

нашли... Но вот вопрос — что здесь было первично? Поиски ли экспериментального факта по подсказке теории или экспериментальный результат, соответствующих теорий? Заманчиво каждый раз истолковывать эффективное экспериментальное открытие как подтверждение теории.

Это верно, какую-то из теорий оно подтверждает, но одновременно хоронит другие, казавшиеся их авторам не менее привлекательными...

Истолкование эксперимента (как успех или как опровержение позиции теоретика) очень сильно зависит поэтому от хитроумности позиции самого теоретика, перед которым лежит и обширный набор моделей, и разнообразные логические связи между ними. Надо уметь правильно сформулировать вопрос к природе, чтобы не нарваться на резкий отпор...

*Доминиканский священник захотел покурить в саду и обратился к настоятелю с вопросом: может ли он курить во время благочестивого размышления?*

*— Нет! — с возмущением отвечает настоятель.*

*В той же ситуации иезуит спрашивает:*

*— Могу ли я благочестиво размышлять во время курения?*

*— Ну, разумеется, — был благосклонный ответ...*

\* \*

\*

Вернемся снова к проблемам нашей квантовой хромодинамики... Но теперь в несколько непривычном виде.

Мы держим в руках препринт Европейского центра ядерных исследований № 2778 от 9 ноября 1979 г. Подзаголовок этого препринта таков: «Драма в пяти актах».

И это действительно драматическое произведение с действующими лицами, сюжетом и ремарками... Я хотел бы познакомить вас с некоторыми страницами этого остроумного описания современной ситуации в квантовой хромодинамике, написанного пятью серьезными физиками: Де Рухулой, Эллисом, Петронцио, Препаратой и Скоттом. С некоторыми страницами, ибо несмотря на необычную и веселую форму, это — серьезный научный обзор, тонкости которого превышают уровень этой книги.

Итак, начинаем.

\* \* \*

### Краткое содержание.

Новое учение — квантовая хромодинамика — пытается укрепиться в мире. Ее оппоненты и защитники сражаются, чтобы решить, описывает ли квантовая хромодинамика реальность, можно ли доказать, что она это делает, и не являются ли ее широко разрекламированные чудеса обманом.

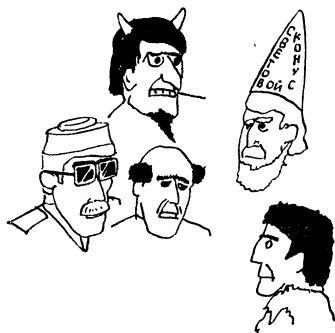
#### Действующие лица.

— Айателлис — пророк квантовой хромодинамики. Как бы по божественному вдохновению он знает (окончательную!) истину в любой момент времени.

— Бискотт — ученик чародея. Бог из машины на 400 ГэВ, которая производит данные, доказывающие самые свеженькие истины пророка.

— Де Оракл — интерпретатор догм и арбитр турниров. Проповедует массам и предсказывает прошлое.

— Джулиано Бруно — еретик. Критикует квантовую хромодинамику извне и снаружи и приводит в замешательство ее слепых последователей.



— Пестилонцио — неверный. Адвокат дьявола, который пытается подорвать квантовую хромодинамику изнутри.

... Возможно, вы догадались, что эта пятерка действующих лиц — псевдонимы реальных авторов, перечисленных выше. И позиции их сформулированы достаточно верно.

Теперь первое действие.

\* \*  
\*

### Действие первое — заря предыстории.

Появляются действующие лица в порядке их перечисления. Айателлис одет в разноцветный сюртук и на нем необычная шляпа. Он на ходу звонит в маленький колокольчик и несет свернутый маленький коврик, на который и садится, скрестив ноги. Бискотт несет большой чемодан, в котором множество компьютерных дан-

ных, прозрачки\* и микрокалькулятор. Все это он вынимает и раскладывает вокруг себя. Де Оракл одет в нечто, похожее на рваную простыню. На Джулиано Бруно коническая шапка с надписью «световой конус». Спереди на ней написано: «будущее», а сзади — «прошлое». Пестилонцио же с рогами и в черном одеянии, из-под которого тянется длинный черный хвост. В руках у него разноцветные вилы.

«Заря предыстории» — 1967 г.!

— Айателлис (как бы охваченный вдохновением встает со своего коврика, звоня в колокольчик):  
«Внемлите! Новый пророк восстал на Западе и открыл нам **глубокую и неупругую истину!** \*\*

Открылось нам, что на очень маленьких расстояниях протоны имеют точечную структуру (партоны), и это впервые проявилось в лептон-адронных рассеяниях с большой передачей импульсов.

Хорошо известно каждому новичку, изучающему эти вопросы первый год...»

(... Далее идут много страниц формул на среднеаспирантском уровне, которые мы здесь, естественно, опускаем. У нас не семинар.)

Время от времени Айателлис обращается к экспериментальному коллеге за поддержкой — эту поддержку получает, не забывая восклицать при этом похвалы в адрес истинно правоверных, кому открываются **глубокие и неупругие истины...** И, конечно, звонит в колокольчик.

Однако тут разгорается жестокая дискуссия, в которой еретик Бруно отрицает вообще смысл партонов и утверждает, что эта модель противоречит квантовой

---

\* Прозрачки — это листы целлофана, на которых пишутся фломастером графики и формулы, а затем с помощью специального аппарата проецируются на экран или на стену. Эта техника практически заменила старую доску с мелом и нарисованные на плакатах формулы и тексты. Теперь типичный образ конференции теоретиков — это зал в полумраке, и на стене большая проекция листа с цветными кругами, линиями, штрихами, формулами... И по этому экрану ходит тень докладчика, которому периодически кричат из зала коллеги: «Отодвиньтесь! Плечом заслоняете!»

Само же слово «прозрачки», если я не ошибаюсь, — это терминологический вклад болгарских физиков, придумавших хорошо звучащее для славян слово вместо иностранного «transparencies».

\*\* Это намек на глубоконеупругие процессы, которые изучали в Калифорнии на SLAC'e и привели к важным открытиям в физике элементарных частиц. Об этом Айателлис и говорит далее.

теории поля, ибо в партонной модели сочетаются в чудовищном противоречии динамика сильносвязанных состояний с предположением о пренебрежимой малости «сильных взаимодействий» (иначе не будет точечности партонов!).

И интерпретатор догм де Оракл делает вывод:

... «Строго говоря, из этого противоречия можно сделать лишь один вывод: *Теория поля мертва*.

Некоторые люди с Дикого Запада (это значит — из Калифорнии) действительно так и решили. Но я готов сделать два оптимистично-оракульных предсказания:

1) более глубокое изучение глубоконеупругих процессов и явлений, связанных с ними, дает нам фундаментальное понимание ключевых свойств Природы. Прогресс в этом изучении очень нужен нам, ибо, в конце концов, физик подобен велосипедисту: если он останавливается, то падает...

2) теория поля, подобно героям комиксов, никогда не умирает...

— Джулиано Бруно: ... или никогда не вырастет...

— Де Оракл: Крестоносцы с Восточного побережья, выступившие в защиту теории поля, скоро принесут возмездие.

\*       \*  
\*

**Действие второе.** Пришествие калибровочной инвариантности.

**Отступление.** Разъясним некоторые странные слова. Инвариантность — это, как известно, свойство тех или иных законов природы оставаться неизменными при изменении обстоятельств физического процесса или физического описания: обстоятельства меняются, а закон остается неизменным даже по форме, не только по существу. Это свойство хороших, математически корректно выраженных законов очень удобно и часто используется для вывода новых предсказаний физики и новых расчетов.

Инвариантность бывает разных видов, относительно всевозможных изменений физической картины. Например, вся специальная теория относительности — это не что иное, как доказательство инвариантности законов природы относительно определенных преобразований пространственных координат и времени (**преобразование Лоренца**). Если возьмем другой вид преобразова-



ний тех же координат и времени, то получим классическую механику Ньютона... И так далее. Отсюда видно, к каким революционным изменениям в науке может приводить открытие нового вида инвариантности. Вот физики и ищут в природе, в эксперименте намеки на новые виды инвариантности, справедливо ожидая, что толк из этого обязательно будет.

В квантовой физике состояние системы описывается особой величиной — волновой функцией. Знает физик волновую функцию — знает все о системе; больше и не надо ему ничего... Откуда он узнает эту волновую функцию? Конечно, решив основные уравнения теории. А они решаются с огромным трудом. Для многих (увы, часто самых интересных) случаев пока что и совсем не решаются. Значит, надо упрощать задачу, искать намеки на истинное значение функции, использовать, скажем, свойства симметрии. Симметрия, однако, это и есть инвариантность относительно чего-нибудь — отражения, преобразования и т. д., и т. д...

Опять мы приходим к поискам инвариантности. И вот оказывается, есть новая симметрия для волновой функции! Новая, богатая следствиями, проверяемая экспериментально! Если волновую функцию, описывающую фундаментальные частицы, умножить на определенную величину (некую комбинацию) квантовых чисел этих частиц, то теория не изменится.

Внешне это аналогично как бы изменению масштаба некоторых величин — заряда, странности или других квантовых чисел, и такую инвариантность именуют поэтому **масштабной** или калибровочной.

\* \*

\*

**Итак, действие второе.**

— Айателлис (как обычно, поднимается как бы охваченный вдохновением): О, вы, маловерные! Слишком рано утверждать, что теория поля умерла. Она просто нуждается в перевоплощении. И вот, смотрите, новый пророк восстал в Голландии \*, и он учит нас, как можно совершить чудо. Он учит нас способу производить достоверные расчеты с помощью калибровочных теорий...

... Квантовая хромодинамика — это одна из калибровочных теорий, и простейший тип калибровочных тео-

---

\* Г. Т. Хуфт, физик из Амстердама.

рий (пишет формулы) носит наименование абелевых теорий.

Достойные патриархи прежних поколений научили нас искусству вычислений с помощью абелевых калибровочных теорий; а безбородый пророк тюльпанных полей говорит нам теперь, как вычислять в рамках неабелевых калибровочных теорий. Говорю вам истинно, что велика будет популярность этих неабелевых теорий! И скажу вам, почему. Если вы заглянете в оксфордский словарь английского языка, то найдете, что абелиане\* были сектой шестого века в Северной Африке; и проповедывали они целомудрие в браке... Ясно, что абелиане (и их теории) вымерли сами собой, а неабелевые теории приобрели в народе гораздо большую популярность...

Группа крестоносцев в Соединенных Штатах сделала расчеты с помощью этих теорий и проповедует нам, что сильные взаимодействия описываются именно такой неабелевой калибровочной теорией.

Эта теория обладает изумительным свойством: она допускает асимптотическую свободу (чудо из чудес!) — чем меньше расстояние между кварками в частице, тем свободнее они движутся!

(Тут Бискотт начинает показывать графики, Айателлис доказывает, что все они прекрасно объясняются квантовой хромодинамикой, и беспрерывно раздается звон колокольчика...)

Действия третье, четвертое и пятое нашей драмы очень любопытны для специалистов. Мне приходилось видеть теоретиков, которые весело смеялись над этими страницами, находя в них юмористические (по их мнению) формулы и комичные (как они полагают) графики. Но этот юмор требует все же достаточно долгой предварительной подготовки — кроме высшего образования физика-теоретика еще лет десять—пятнадцать работы в физике элементарных частиц... Поэтому мы вынуждены переходить к финалу, в котором говорит — де Оракл: «... Квантовая хромодинамика — это теория, и поэтому она не умрет, как до нее умирали

---

\* Абелиане, секта, действительно существовали... Но Айателлис, как это свойственно всем пророкам, приносит правду в жертву эффектности и демагогии... Абелевы теории названы так в честь Нильса Хенрика Абеля, норвежского математика совсем не шестого века, а девятнадцатого.

другие предлагаемые «теории» сильных взаимодействий. ... Она умрет по-другому...

Хотя квантовая хромодинамика еще не полностью понята и не полностью сконструирована, альтернатив ей нет...»

А восторженный Айателлис добавляет:

— **Айателлис:** Заключение ясно! квантовая хромодинамика, безусловно, правильна и ее чудеса убедительно доказаны экспериментальными данными! (А если не доказаны, то скоро это будет сделано.)

Поэтому уже не требуется мощного духовного подъема, чтобы уверовать в квантовую хромодинамику и мне, пожалуй, следует поискать новый культ, более экзотический, чтобы исповедовать его.

Я решил поэтому, что, пожалуй, поработаю над великой объединяющей теорией сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. Эта теория многое проясняет и создает много забавных новых тайн.

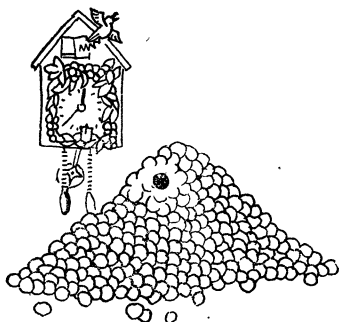
Одно из чудес, которые предсказывает Великая теория — это глубокая нестабильность всего вещества: протоны должны иметь конечное время жизни —  $10^{30 \pm 2}$  года. Это поднимает много интересных теологических вопросов, о которых я намерен поразмышлять. Например:

— Сделан ли бог из протонов?

— **де Оракл:** Айателлис надеется на это, так что он сможет (после распада) занять вакантный престол.

\* \* \*

Правда ли, что в единых теориях протон действительно нестабилен? Да, правда, и цифра, приведенная Айателлисом, тоже верна. Но, между прочим, наш участок Вселенной существует (после Большого Взрыва) всего  $10^{12-13}$  лет, т. е. в миллиарды миллиардов раз меньше, чем нужно для распада протона. Значит ли это, что ни один протон еще не распался с начального



момента и мы не можем надеяться обнаружить такой распад экспериментально (слишком рано)?

К удовольствию экспериментаторов это не так, и закон здесь, как почти всегда в квантовой физике, вероятностный. Можно выбрать два способа обнаружения нестабильности протона:

1) взять один протон и ждать, сидя возле него,  $10^{32}$  лет. Протон может распасться и раньше, но не исключено, что нам придется отсидеть именно весь этот срок. Таковы вероятностные порядки;

2) можно взять множество протонов и наблюдать за ними всеми сразу; и тогда время нашего ожидания уменьшится во столько же раз, во сколько увеличится количество протонов.

Конечно, ожидать миллиарды миллиардов лет нам не хотелось бы. И физики планируют (вполне реально, с расчетами физическими и финансовыми) эксперимент второго типа — огромный куб вещества будет обставлен со всех сторон приборами, которые должны отсеять неинтересные для нас сейчас миллионы событий в микромире и выделить только акты распада протона. Если они существуют, ибо пока что все это — лишь очень привлекательная гипотеза... Первые установки, на которых реально начнут искать распады протона, вступят в строй в первой половине 80-х годов в СССР, США и в Европе. Будем ждать больших новостей.

\*                      \*

\*

Хотя, вообще говоря, желательно держаться за прежние наши представления до последней возможности (мы об этом уже говорили).

Интересно, что сейчас по замечанию академика М. А. Маркова старшее поколение физиков-теоретиков «в известном смысле развращено» привычкой преодолевать возникшие трудности за счет фундаментальных изменений теории, и здесь чаще можно услышать именно высказывания радикального характера.

Более молодое поколение физиков деловито и небезуспешно расширяет область применимости современной теории. И теория, действительно, часто оказывается «не так уж плоха»...

И снова в последний раз мы в старой библиотеке сэра Генри Кэвендиша среди людей, искавших в разные эпохи истину так, как они ее представляли.

**Кэвендиш:** Мы многое обсудили сегодня, хотя и не всегда были едины в том, как понимать услышанное... Но вот я смотрю на вас, пришедших из разных веков, и думаю: пройдет время, и появятся новые испытатели природы, которые откроют еще больше, чем те поистине удивительные явления, о которых говорили мы сегодня... Откроют и мощью своих приборов и напряжением ума, угадывающего в мире его математическую строгую основу... Не так ли?

**Дирак:** Наши математические усилия позволяют пока понять во Вселенной лишь немного. Но развивая все более совершенные математические методы, можно надеяться на лучшее понимание Вселенной. Математические исследования дают надежду угадать, каким будет аппарат будущей теоретической физики.

Рано или поздно появится новый Гейзенберг, способный уловить существенные особенности новой информации и открыть метод ее использования подобно тому, как ранее экспериментальные данные по спектрам были взяты Гейзенбергом для построения матричной механики.

**Научный сотрудник:** Только не увлекайтесь, будущие коллеги наши, построением теорий ради теорий! Ибо можно так далеко уйти от исходного предмета исследований, что потом трудно будет восстанавливать дорогу назад...

М. А. Марков в 1970 г. заметил по частному поводу нелокальных теорий поля: «... все эти теории развивались главным образом, работая на себя, — как это часто бывает — согласно известному закону Паркинсона, в большом, но малоуспешном бизнесе...» Конечно, это замечание имеет более общий характер...

Рассказывают об одном профессоре, который имел три пары очков: первые — для дали, вторые — для чтения, а третьи — для поисков первых двух пар, все время куда-то исчезающих... Три пары — это еще терпимо, но что делал бы бедный профессор, если бы количество очков все увеличивалось бы, и большинство их было бы нужно теперь не для чтения или разглядывания мира, а для поисков одной из пар очков, нужных в свою очередь для поисков другой пары? Незавидная ситуация. К счастью, в теоретической физике это пока что отдаленная угроза, и большинство теорий достаточно ощущают свою связь с наблюдаемым миром.

**Кэвендиш:** Вот что приходит нередко мне в голову, когда я размышляю над будущим естествоиспытания. Будет ли бесконечным путь науки? Будут ли появляться в нашей библиотеке все новые открыватели истин не менее великих, чем те, что стали известны в прошлые века?

**Фейнман:** Мне кажется, что в будущем произойдет одно из двух. Либо мы узнаем все законы, т. е. будем знать достаточно законов для того, чтобы делать все необходимые выводы, а они всегда будут согласовываться с экспериментом, на чем наше движение

вперед закончится. Либо проводить новые эксперименты будет все труднее и труднее и все дороже и дороже, так что будем знать о 99,9% всех явлений, но всегда будут такие явления, которые только что открыты, которые очень трудно наблюдать и которые расходятся с существующими теориями. Так только вам удалось объяснить одно из них, возникает новое, и весь этот процесс становится все более медленным и все менее интересным. Так выглядит другой вариант конца. Но мне кажется, что так или иначе, но конец должен быть.

**Планк:** Прошу простить моих коллег за напоминание о разговоре, может быть, излишне часто цитируемом, но его уместно напомнить сейчас уважаемому профессору Фейнману.

... Мой учитель Жолли в конце XIX века предостерегал меня от занятий теоретической физикой, поскольку, по его мнению, все великие физические открытия уже сделаны: «Конечно, в том или ином уголке можно еще заметить или удалить пылинку, но система, как целое, стоит прочно, и теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, каким уже столетия обладает геометрия». Мой достойный учитель несколько поспешил со своей оценкой... мы знаем, что перед физикой именно в это время открывались двери в новый, совершенно непредвидимый никем мир принципиальных переворотов...

**Фейнман** (упрямо): И все же я считаю, что нам необыкновенно повезло, что мы живем в век, когда еще можно делать открытия. Это — как открытие Америки, которую открывают раз и навсегда. Век, в который мы живем, — это век открытия основных законов природы, и такое время уже никогда не повторится.

Это удивительное время, время волнений и восторгов, но ему наступит конец.

**Вигнер:** Я согласен с этим. Нетрудно представить себе, что наступит и такое время, когда изучающий физику утратит интерес или будет попросту не в силах пробиваться сквозь уже накопившиеся слои к переднему фронту науки, к самостоятельному исследованию...

Тогда, между прочим, и число аспирантов-физиков резко упадет...

**Научный сотрудник:** Уже упало; и не только аспирантов, но и студентов. Конкурс при поступлении на экономические или географические факультеты намного выше, чем на физические. Не говоря уже об институте внешней торговли... Может быть, действительно, мы живем в эпоху, когда все великие открытия уже сделаны и наш поезд близок к прибытию на конечную станцию?

**Дж. Дж. Томсон:** Но великое открытие — это не конечная станция, а скорее, дорога, ведущая в области, до сих пор не известные. Мы взбираемся на вершину пика, и нам открывается другая вершина, еще более высокая, чем та, которую мы когда-либо видели до сих пор, и так продолжается дальше.

Вклад, сделанный в понимание физики одним поколением, не становится меньшим, или менее глубоким, или менее революционным при смене поколения.

**Вигнер:** Но все же Вы, наверное, согласитесь, что знания, добавляемые нами в сокровищницу науки, становятся относительно все менее весомы? Ряд сходится, не так ли?

**Дж. Дж. Томсон:** Я далеко не уверен в этом. Мне кажется, напротив, что сумма нашего знания не похожа на то, что математики называют сходящимися рядами, ... где изучение нескольких

членов позволяет понять общие свойства целого. Физика соответствует, скорее, другому типу рядов, рядам расходящимся, где добавляемые члены не становятся все меньше и меньше и где нельзя считать, что выводы, к которым мы пришли при изучении нескольких известных членов, совпадут с теми, которые мы сделаем, когда наши знания будут больше...

**Научный сотрудник:** Бесспорно, это так. Ряды расходятся, и перед ними бесконечный путь...

... Но как быть с инфракрасными расходимостями в квантовой хромодинاميке?...

## Э п и л о г

### ЕЩЕ О ЖИЗНИ, СМЕРТИ И НЕКОТОРЫХ ТРУДАХ СЭРА ГЕНРИ КЭВЕНДИША

Вот погасли последние свечи в старой лондонской библиотечной комнате. Ушли тени ученых прошлого и будущего, растворились в сумраке осеннего вечера, и тихо догорает огонь в камине. Сэр Генри Кэвендиш медленно поднимается по дубовой лестнице к себе, задумавшись, не оглядываясь на нас. Давайте на прощанье вспомним еще несколько эпизодов его своеобразной жизни.

Род Генри Кэвендиша прослеживается до нормандских предков, поселившихся в Англии во время Вильгельма Завоевателя в XI веке. Один из его предков, сэр Джон Кэвендиш, был Лордом-Верховным Судьей в правление короля Эдуарда III. Но, пожалуй, истинным Верховным Судьей в роду Кэвендишей и в науке своего времени был сэр Генри Кэвендиш, наш знакомый.

Молодой Генри Кэвендиш учился в Кембридже и добросовестно посещал лекции и занятия Питерхауз-колледжа до февраля 1753 г., когда он «покинул колледж, не получив степени». Почему же Генри Кэвендиш не получил степени бакалавра (диплома о высшем образовании, по-современному)? Причины этого с полной достоверностью неизвестны. Вероятнее всего, Кэвендиш не получил диплома, потому что при этом требовалась декларация о принадлежности и соблюдении обрядов англиканской церкви. А сэр Генри всю жизнь не свя-

зывал себя с церковью и никогда не посещал никакого храма («или другого места поклонения» — добавляют биографы).

В Королевское общество (Академию наук Англии) Кэвендиш был избран очень молодым, в 29 лет. Он регулярно обедал в клубе Королевского общества в Лондоне, и отец столь же регулярно снабжал его пятью шиллингами — ни пенни больше — для платы за обед...

Первые сорок лет своей жизни Генри Кэвендиш прожил в относительной бедности и относился к этому спокойно и равнодушно, потом стал миллионером (от кого из родственников он получил богатое наследство, неизвестно до сих пор — пропали архивы). К богатству своему он относился тоже вполне равнодушно. В бедности и богатстве сэр Генри был инвариантен, предвосхитив тем самым одно из важнейших свойств физики — любимой своей науки. В физике ценность этого свойства выяснилась лет на полтора позже.

\*       \*

\*

Друзей у Кэвендиша было мало, и друзья у него были довольно своеобразными. Один из них — Джон Митчелл, математик и геолог, был профессором Колледжа Королевы в Кембридже. Между прочим, именно Джон Митчелл сконструировал точнейшие для своего времени крутильные весы, предназначенные для измерения гравитационного притяжения. Но сам измерять не стал, оставил весы Кэвендишу.

Точность эксперимента, проведенного Кэвендишем на этом приборе, была поразительна. Генри Кэвендиш использовал, может быть, впервые в истории прецизионных измерений дистанционное управление и наблюдение: он наблюдал за шкалой весов в телескоп из соседней комнаты, а освещал шкалу через окошечко ящика с помощью линзы. Другого света в комнате не было.

Вот какое сравнение может продемонстрировать тонкость измерений Кэвендиша: пусть на весы поставлено все население Британских островов, кроме одного мальчика. Тогда измеряется изменение, которое произойдет, если на весы встанет этот мальчик. А точность экспериментатора такова, что он способен заметить, снял ли мальчик ботинки, прежде чем становиться на весы...



Так сэр Генри Кэвендиш измерил среднюю плотность Земли; результат его измерений —  $5,48 \text{ г/см}^3$ ; это весьма близко к нынешнему значению, полученному на гораздо более мощной аппаратуре. А у Кэвендиша, естественно, никакой электроники, или криогеники, или вакуумных насосов не было...

Но еще более загадочно вот что: в основном (теоретическом!) труде Ньютона «Математические начала натуральной философии», изданном в 1687 г., есть такая фраза: «Все вещество Земли таково, что оно имеет среднюю плотность, которая от пяти до шести раз больше, чем если бы вся Земля состояла полностью из воды». Кто может объяснить, как об этом догадался Ньютон?

Кэвендиш, как мы знаем, открыл, что в воздухе кроме кислорода и азота присутствует и еще какой-то газ. Этот излишек (1%) был фактически открытием присутствия аргона в воздухе. Через сто лет, когда это открытие аргона было окончательно осуществлено лордом Рэлеем и Рамзеем; они очень изумлялись работам Кэвендиша: «Работая с почти микроскопическими количествами вещества и проводя опыты, тянувшиеся целыми днями и даже неделями, он смог установить один из самых важных фактов в химии...»

Кэвендиш был также очень компетентным математиком и знал очень фундаментально анализ бесконечно малых... Вероятно, во время длительных опытов сэр Генри не тратил даром времени.

Если же говорить серьезнее, то главным качеством Кэвендиша-ученого было свойство, необходимое для крупного ученого в первую очередь.

Он обладал в очень сильно выраженной степени примечательным даром знать почти интуитивно, какие из научных проблем вообще заслуживают исследования.

Стратегия в науке важна не менее, чем в военном деле. Сегодня, когда наука стала делом миллионных масс людей, это особо верно.

\* \* \*

Генри Кэвендиш умер 24 февраля 1810 г. Он похоронен в церкви «Всех святых» в Дерби, и на его могиле нет никакой надписи.

В память о сэре Генри его потомки основали науч-

ное Общество Кэвендиша и Кэвендишскую Лабораторию экспериментальной физики в Кембриджском университете.

Через 103 года в Лаборатории Кэвендиша в Кембридже было открыто атомное ядро.

## Заключение

Я хотел бы, чтобы читатель простил мне многое: экстравагантную форму (если она покажется такой), недоговоренность в одних местах и излишнюю разговорчивость в других, мелкие (я надеюсь) неточности и неправильности.

Но предмет книги сложен сам по себе, а объяснение его на нематематическом уровне тоже не вполне тривиальная задача. Тем более, что мы сейчас находимся посреди этапа создания теории субэлементарных частиц, и я иногда не знал, что стоит включать в книгу, а что умрет еще до выхода ее.

*Мальчик задает вопросы уставшему отцу вечером и сильно надоел.*

*«Папа, что ты делаешь целый день у себя в конторе?»*

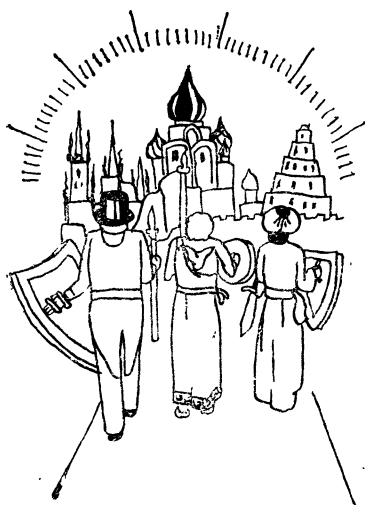
*«Ничего», — буркнул, не думая, отец.*

*«А как же ты тогда узнаешь, что работа окончена?» — подумав, спрашивает наивный и любознательный мальчик.*

Но разве бесплодны попытки ученых, исследующих все более глубокие уровни материи? Разве ошибки, и неясность могут оставить неуклонное наступление

человеческого интеллекта на объективный мир?

«Природа не боится идеологов, пытающихся рассматривать ее через искажающие причины своих предвзятых фантазий, часто жестоко над ними издевается, но встретившись с пронизательным взглядом философа-реалиста и прямо им спрошенная, смиряется и отвечает ему, как говорил Лобачевский, «непременно и удовлетворительно»» (Академик В. А. Стеклов, 1921).



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 1  
(аннотация)

3

Предисловие 2  
(объяснительное)

4

Пролог  
О Генри Кэвэндише  
и жителях  
планеты Трансфамидор

8

Глава 1  
Зеркало Тролля (модели  
частиц)

18

Глава 2  
Хроника  
фронтального наступления  
(квантовая  
теория поля)

45

Глава 3  
Пикник  
среди бесконечности  
(теория множеств)

81

Глава 4  
Искры в ручье (новые частицы)

119

Эпилог

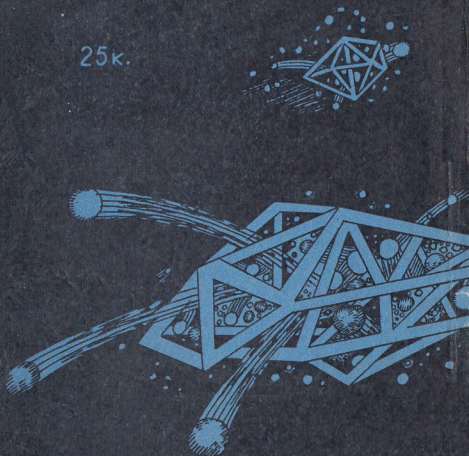
Еще о жизни, смерти  
и некоторых трудах  
сэра Генри Кэвэндиша

149

Заключение

152

25к.



ЭНЕРГОИЗДАТ