


А.С. КОМПАНЕЕЦ



ФИЗИКА
АСТРОНОМИЯ
 новое в
 жизни  **1967**
 науке **10**
 технике
 IX СЕРИЯ

**Может ли
 окончиться
 физическая
 наука** 

А. С. Компанеец,

доктор физико-математических наук,
профессор

**МОЖЕТ ЛИ
ОКОНЧИТЬСЯ
ФИЗИЧЕСКАЯ
НАУКА?**

Издательство «Знание»
Москва 1967

Почему полагают, что физическая наука никогда не может кончиться

В учебниках физики, в большинстве случаев, поставленный вопрос не обсуждается. Считают, что для его решения надо обратиться к истории физики, и тогда становится совершенно очевидным: процесс развития физической науки не может прийти к своему завершению. Надо заметить, однако, что в данном случае ответ был дан раньше, чем сформулирован с достаточной четкостью вопрос: что понимать под развитием физики?

Например, в настоящее время успешно развивается физика твердого тела, очень интересная сама по себе и по тем удивительным приложениям, которые она имеет в технике. Несомненно, успехи физики твердого тела углубляют наши знания о природе, помогают нам полнее овладеть силами природы. И тем не менее никто не ожидает, что в результате изучения твердого тела изменятся наши фундаментальные представления о пространстве и времени или о свойствах движения вообще, как это произошло при появлении квантовой механики или теории относительности.

На чем основано такое мнение? На том, что ныне изучаемые свойства твердых тел определяются электронными оболочками атомов и молекул и мало связаны с физикой ядра атома. Но движение электронов очень точно описывается законами квантовой механики, которые в этой области не нуждаются в уточнении. Выступая в самых различных комбинациях, свойства электронных оболочек приводят к неисчерпаемому многообразию свойств твердого тела. Подобно этому 32 буквы алфавита, которые выучивает первоклассник, составляют основные элементы всей нашей письменности, способной вместить неограниченную информацию.

Но мы упоминали об атомном ядре. Законы движения частиц, его составляющих, известны пока только в зачатке. Они не укладываются в привычную нам классическую или квантовую схему. Почти невозможно сомневаться в том, что формулировка законов движения применительно к ядру принципиально изменит наши общие представления о природе, как это было каждый раз, когда физическая наука вторгалась в новую область. Вопрос состоит в том, будет ли число таких принципиально новых поворотных пунктов развития физики конечным или бесконечным. Обычно категорически утверждают последнее.

Разумеется, это нельзя вывести из имеющихся физических законов — приходится прибегать к аргументации другого ро-

да. Чаще всего, как уже говорилось, используются исторические примеры. Так, профессор Е. Л. Фейнберг в статье «Обыкновенное и необычное» («Новый мир», 1965, № 8, стр. 209) цитирует аббата Аюи, писавшего в самом начале прошлого века: «Изучение электричества, обогащенное трудами стольких знаменитых физиков, дошло, казалось, до такого предела, когда не может уже быть заметного движения вперед...» и т. д. Выделенное разрядкой слово «казалось», по нашему мнению, должно означать, что сам Аюи как раз так не думал, а предполагал некоего наивного читателя, ошеломленного бурным развитием физики того времени. Иными словами, дело идет скорее всего о риторическом обороте речи, а вовсе не об утверждении.

Из приведенной цитаты, по-видимому, не следует, что в начале XIX века кто-либо всерьез считал физику завершенной. Далее Е. Л. Фейнберг пишет: «В конце XIX века, после создания теории электромагнетизма, термодинамики, волновой оптики и кинетической теории газов, великий физик (а не малоизвестный Аюи¹) лорд Кельвин тоже говорил, что будущее физики состоит только в уточнении созданных учений, составляющих величественное целое».

При непосредственном ознакомлении со старой научной литературой видно, что точка зрения Кельвина отнюдь не была господствующей (Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. М., «Мир», 1965, т. 4, тр. 41): «Часто приходится слышать, что физики конца XIX столетия были уверены в том, что им известны все существенные законы природы и дело стоит лишь за тем, чтобы получить нужные числа с максимальным числом десятичных знаков. Кто-то это сказал, а остальные повторяют. Но если покопаться в физических журналах тех лет, то станет ясно, что почти каждый из них в чем-нибудь да сомневался».

Таким образом, в XIX веке вряд ли очень многие физики считали свою науку завершенной. Разумеется, и мы далеки от этого; просто лучше не ссылаться на заблуждения предков, аргументируя в пользу того или иного мнения.

Есть, конечно, и некоторые, но не решающие, объективные, научные аргументы в пользу того, что развитие физических представлений о мире не может прийти к концу. В настоящее время мы не знаем ни одного общего закона физики, о котором можно было бы сказать, что он не допускает уточнений. Вполне возможно, что так будет всегда. Поэтому

¹ Надо иметь в виду, что на самом деле Аюи — основоположник научной кристаллографии и никак не заслуживает столь пренебрежительного эпитета. Даже если эти строки написал не он сам, а его брат, племянник или просто однофамилец, то следовало бы осторожнее обращаться с именем.

надо разобраться в смысле того, что следует понимать под уточнением закона.

Часто говорят, что физический мир — одно неразрывное целое, и наука произвольно делит его на части, чуть ли не в угоду факультетским учебным программам. Пример физики твердого тела, который мы уже приводили, показывает, что на самом деле верно скорее диаметрально противоположное утверждение: разные области физики должны изучаться раздельно не только потому, что так удобнее, а главным образом потому, что взаимосвязь между ними очень слабая. В частности, свойства атомного ядра элемента, из которого построен кристалл, не имеют отношения к динамике кристаллической решетки или к поведению электронов в кристалле (разумеется, атомный вес и номер элемента в системе Менделеева имеют первостепенное значение в этих вопросах, но в учение о кристалле они входят как чисто внешние параметры. Даже магнитные свойства ядер могут трактоваться в физике кристаллов просто как данные. Вопрос о происхождении ядерного магнетизма может быть здесь оставлен в стороне).

Законы физики твердого тела, безусловно, имеют приближенный характер, помимо всего, и потому, что они не учитывают каких-то внутренних движений, совершающихся в ядрах. Но подобное приближение в большинстве случаев оправдывается постановкой задачи, если изучаются те свойства кристалла, для которых детальное строение атомного ядра несущественно. Даже в тех случаях, когда нас специально интересует поведение ядра, взятого не в отдельности, а помещенного в кристалл, мы фактически изучаем влияние кристалла на ядро, а не наоборот. Таким же образом движение Земли вокруг Солнца влияет на климат, а не климат — на движение Земли. Если бы мы попытались учесть влияние перемещения воздушных масс на обращение Земли по орбите, могла бы возникнуть какая-то поправка в далеком знаке после запятой, но она не имела бы никакого значения для развития наших представлений о Вселенной.

Как известно, механика Ньютона, которой подчиняется движение Земли, в настоящее время существенно уточнена квантовой теорией. Но квантовые поправки к небесной механике пренебрежимо малы, и в такой же мере не существенны сейчас, как они не были существенны до того, как мы их узнали. Следовательно, уточнение физического закона вовсе не обязательно должно учитываться в любом случае. Квантовая механика была создана потому, что появился объект ее изучения: электрон в атоме и кристалле; применять ее к солнечной системе не следует по совершенно объективным причинам, а не из-за сговора ученых.

Таким образом, принципиальное значение имеют только

те уточнения физических законов, которые связаны с переходом к новым объектам изучения. Так, теория относительности возникла при изучении электромагнитного поля, квантовая механика — при изучении атома. Качественное различие между старыми и новыми объектами науки естественно привело к необходимости пересмотра основ. Если число объектов изучения, которые встанут перед физикой, действительно бесконечно в природе, то принципиально новому в науке тоже не будет конца, но об этом надо спросить, по возможности, природу, а не ученых мужей.

А чтобы спросить природу, надо правильно поставить вопрос. Иначе говоря, надо определить, что до сих пор изучала физика и что она будет изучать в дальнейшем. Трудно надеяться, что будет найден однозначный ответ, но, быть может, возникнут какие-нибудь наводящие указания.

Взаимодействия

Любой физический закон так или иначе говорит о взаимодействии объектов или выводит из него следствия. Так, второй закон Ньютона дает фундаментальнейшее определение силы, которое затем используется в той или иной форме во всех областях физики. Например, закон Кулона о силе, действующей между двумя электрическими зарядами, переносит это фундаментальное понятие в электростатику, закон Био-Савара дает определение силы в науке об электромагнетизме; квантовая механика тоже не отвергает понятия силы, хотя совершенно иначе, чем классическая, связывает ее с движением. Даже если в ядерной физике понятие силы станет совсем неправомерным, способ учета взаимодействий будет как-то уточнен, но все равно, понятие взаимодействий останется фундаментальным.

Иначе говоря, физика изучает взаимодействия в неживой природе. Граница между живым и неживым, по-видимому, проводится весьма резко благодаря огромному объему информации, заложенному в каждом живом объекте, так что нет оснований считать здесь деление искусственным.

Следовательно, уязвимость определения физики в том, что в основу положены взаимодействия. Если это станет неприменимым, изменится самый предмет физики, и вопрос о конце ее развития потеряет смысл. Но это высказывание слишком неопределенно, чтобы стоило придавать ему значение. Все-таки существо физики со времен Галилея и Ньютона неизменно: ведь перед нами все тот же предмет — природа. Скорее может измениться, и уже много раз менялось, определение умозрительной науки — математики.

Физика слишком тесно связана с окружающим миром, чтобы могла стать иной ее основная задача. Следовательно, и не лишен содержания вопрос: конечен или бесконечен процесс познания этого предмета? Ясно, что если никак не пытаться определить задачи науки, не имеет смысла говорить о конечных перспективах ее развития.

Перечислим взаимодействия, известные в настоящее время; мы имеем в виду так называемые элементарные взаимодействия, которые пока не удается свести одно к другому или к более общим классам. В этом смысле, например, упругая сила не относится к элементарным взаимодействиям, так как она в конечном счете объясняется электрическими взаимодействиями атомов и молекул.

Здесь мы дадим только совсем краткую характеристику элементарных взаимодействий, с тем чтобы рассмотреть каждое из них подробнее в дальнейшем.

1. Гравитация (тяготение). Общие динамические законы Ньютона не могли бы применяться к движению планет, если бы Ньютон не дополнил их законом всемирного тяготения, описывающим тот конкретный вид взаимодействия, который ответствен за ускорения космических тел. Но тяготение действует не только в космических масштабах: оно притягивает все тела, в частности яблоки, к Земле. Легенда, или полублегда о яблоке, падение которого привело Ньютона к открытию¹, имеет внутренний смысл, символизируя глубокую веру во всеобщность закона тяготения. В нем хотели видеть первопричину вообще всех взаимодействий в природе. Что это во всяком случае не так, стало ясно после того, как получило развитие учение об электромагнетизме.

2. Электромагнитные взаимодействия. В XVIII веке Кулон опытным путем установил элементарный закон взаимодействия между электрическими зарядами. Внешне закон Кулона сильно напоминает ньютонский закон тяготения: тоже обратная пропорциональность квадрату расстояния и произведение каких-то количеств в числителе. Современникам Кулона и многим позднейшим поколениям физиков это, вероятно, казалось глубоко обнадеживающим с методологической точки зрения. Можно было надеяться со временем свести электрическую силу к гравитационному притяжению между электрическими «жидкостями». Правда, здесь не все с самого начала выглядело благополучно: электрические силы не только притягивали, но и отталкивали тела. Кроме того, наэлектризованный бузинный шарик притягивался к совсем небольшому, тоже наэлектризованному телу, вопреки гравитационному

¹ Яблоко занимает видное место в мифотворчестве: вспомним Адама и Еву или суд Париса.

действию Земли: таким образом, электрические силы по существу могут оказаться гораздо больше сил тяготения.

Еще больше отличалась от гравитации магнитная сила. Если электрические заряды разных знаков, по крайней мере, можно было разделить, то магнит всегда имел оба полюса. Когда его разрезали, каждая половинка снова получала два полюса.

В 1820 г. Эрстед открыл, что электрический ток производит магнитную силу. Вскоре после этого стало ясно, что движущийся электрический заряд приобретает свойство производить магнитную силу в дополнение к своей электрической силе.

Ничего подобного тяготение не обнаруживает: по закону Ньютона неподвижные и движущиеся тела действуют друг на друга совершенно одинаково: сила зависит только от расстояния между телами в данный момент, но не от их движения. Кроме того, по закону Био-Савара, магнитная сила не направлена по линии, соединяющей элемент тока и магнитный полюс. Словом, постепенно сделалось ясно, что между гравитационным и электромагнитным взаимодействием нет ничего общего: одно никак не объясняет другое.

Но и не такие еще неожиданности подстерегали физику по мере развития науки об электромагнетизме. Благодаря работам Максвелла выяснилось, что электромагнитное взаимодействие не передается от одного заряда к другому мгновенно, а распространяется со скоростью света. Иначе говоря, Максвелл доказал, что свет — электромагнитное явление. Была решена загадка, мучившая физиков 200 лет: раскрыта природа света.

Электродинамика шла от победы к победе. После того, как была открыта электронная структура вещества, построена планетарная модель атома Бора — Резерфорда и найдены квантовые законы движения электронов в атомах, стало казаться, что вообще все в мире управляется электромагнитными силами (кроме особой области движений, подвластных гравитации. Да и то многие надеялись если не свести тяготение к электромагнетизму, то, по крайней мере, объединить их в одной теории).

Но в 1932 г. Чадвик открыл нейтрон — частицу, не имеющую никакого заряда и тем не менее прочно связанную в атомном ядре.

3. Ядерные силы. Гейзенберг сразу понял, что так называемое «электромагнитное мировоззрение», т. е. уверенность во всеобщем действии сил электромагнетизма, навсегда ушло из физики с открытием нейтрона. Ядерные силы связывают между собой протоны и нейтроны, в количестве до 200 частиц и больше, не только независимо от электрических зарядов, но и преодолевая электростатическое отталкивание между од-

но именно заряженными протонами. Иначе говоря, в физике появился особый, чисто ядерный тип взаимодействия, третья сила после гравитации и электромагнетизма. Причем сила совсем особой природы: она действует только на совсем малые расстояния, порядка размеров ядра (10^{-13} см), но в области своего действия превосходит все по величине.

Ядерные силы имеют отношения не только к вопросу о строении атомных ядер. Они проявляются при взаимных превращениях очень многих элементарных частиц. Тщательное изучение вопроса показало, что есть превращения двух существенно разных классов: одни идут, если им не препятствуют какие-либо причины, по крайней мере, в 10 млрд. раз быстрее других. Столь большая разница по величине наводит на мысль о разной природе взаимодействий, приводящих к взаимному превращению. И, действительно, выяснилось, что наряду с сильными взаимодействиями, типа ядерных сил, в природе есть еще один, четвертый тип взаимодействия.

4. Слабые взаимодействия. Со времен открытия радиоактивности было известно, что многие ядра способны испускать электроны. Когда из положительно заряженного ядра вылетает отрицательно заряженный электрон, ядро, по закону сохранения электрического заряда, должно получить один элементарный положительный заряд, иначе говоря, продвинуться на одну клетку вперед в таблице Менделеева. Прямые химические опыты подтвердили это заключение. Но кроме закона сохранения заряда, каждое превращение в природе должно подчиняться еще одному важнейшему закону сохранения — сохранению энергии. Нельзя ли проверить прямым опытом, что этот закон тоже выполняется при вылете электронов из ядра?

Если окружить радиоактивное вещество, испускающее электроны, слоем свинца, то все электроны задержатся в нем. Их кинетическая энергия пойдет на нагревание свинца и может быть измерена в калориметре. Но и энергия ядра — точно известная величина. По закону Эйнштейна, она равна массе ядра, умноженной на квадрат скорости света. Таким способом можно точно определить энергию обоих ядер: материнского и дочернего. В результате путем прямого измерения подводится энергетический баланс распада. Но баланс не сошелся: в свинце оказалось меньше энергии, чем выделилось из ядер! Между тем ни один электрон не ускользнул из него. Впервые в истории физики опыт не подтвердил закон сохранения энергии. Это было в 1930 г.

Положение спасла физическая теория. Почти сразу же Паули предположил, что недостающую энергию уносит какая-то незаряженная частица, которая не взаимодействует с электронами и ядрами свинца и поэтому свободно проходит сквозь него, не растрчивая ничего на нагревание. Но это,

разумеется, только гипотеза, а не теория: физическая теория предполагает строгую количественную формулировку законов, управляющих процессом. Эту задачу решил Ферми в 1934 г.

Нейтральную паулиевскую частицу Ферми окрестил на итальянский лад нейтрино, что означает «маленький нейтрон». Ведь «большой» нейтрон был за это время открыт Чадвиком. Еще удачнее, чем имя, Ферми подобрал закон взаимодействия нейтрино с остальными частицами, принимающими участие в распаде.

Со времени первой работы Ферми предложенный им закон был только слегка видоизменен, а процесс измерительной техники привел к полному согласию теории с экспериментом в этой области. Таким образом, ясно, что теория Ферми не умственный выверт, придуманный специально для спасения гибнущего закона сохранения энергии. Фактически Ферми «на кончике пера» открыл новый класс взаимодействий.

Впоследствии оказалось, что такие взаимодействия не обязательно сопровождаются вылетом нейтрино. Например, существует особое состояние ядерной частицы, в котором она называется лямбда-гипероном. Из этого состояния она переходит в обычное, испуская другую элементарную частицу — пи-мезон. Если бы это превращение происходило под действием ядерных сил, то оно отнимало бы около 10^{-22} сек. На самом деле по причинам, в которые мы входить не будем, сильные взаимодействия здесь не срабатывают, уступая место слабым. Превращение идет гораздо медленнее: за 10^{-10} сек. Соотношение времен показывает, насколько слабые взаимодействия меньше ядерных, и оправдывает предложенное название первых.

Мы дали краткий очерк развития физики от Ньютона до наших дней и обнаружили, что при всем многообразии явлений физика знает всего четыре класса взаимодействий.

Если в природе бесконечно много классов разных взаимодействий, взаимно не сводящихся, то предмет физики неисчерпаем. Но перечисленные четыре класса охватывают колоссальный интервал энергий — по меньшей мере 45 порядков величины между гравитационным и сильным взаимодействием. Качественное различие между разными классами огромно. Законы взаимодействия распространяются уже теперь на всю Вселенную и на эфемерные частицы, живущие 10^{-22} сек (они распадаются из-за сильных, а не слабых взаимодействий). Поэтому не исключено, что эксперимент показал нам проявления всех реально существующих взаимодействий, и наша задача свести их воедино. Кто с этим заранее не согласен, может не читать дальше.

Какой-нибудь фантазер мог бы сказать так: электрон — это Вселенная, состоящая из галактик, вроде Млечного Пути,

галактики состоят из звезд, одна из них — как Солнце, около нее Земля, уменьшенная копия нашей, и на ней человечки, состоящие из атомов, в атомах — опять электроны и так до бесконечности. Разумеется, эта картина мира не лучше испытанных трех китов древности. Вместо многообразия мира — монотонность, непонимание качественного различия между явлениями, масштабы которых различны.

Сложность элементарных частиц состоит не в их делимости, а в законах, которые управляют их взаимодействиями и превращениями.

Не будем, однако, действовать на эмоции читателя. Постараемся высказать основные предположения и сделать из них логические выводы.

Итак, пусть число классов всех взаимодействий конечно. Но и сделав это допущение, мы не обязательно придем к выводу, что предмет физики может в один прекрасный день исчерпаться. Надо рассмотреть еще два вопроса: 1) можно ли знать все о каком-либо классе сил? 2) можно ли знать все о взаимосвязи сил различных классов?

Если говорить сперва только о гравитации, то на первый вопрос, как это ни странно, надо дать положительный ответ. Как известно, решающий успех был достигнут еще Ньютоном, но то, что следует называть природой тяготения, сумел раскрыть только Эйнштейн в созданной им общей теории относительности. Ее краткому изложению посвящен следующий раздел.

Действие на расстоянии

История научных взглядов на возможность действия на расстоянии отражает эволюцию физических взглядов в целом. Аристотель вообще не допускал, чтобы сила могла передаваться на расстояние. По его мнению, тела могли действовать друг на друга только придя в соприкосновение, как схватившиеся борцы. Ученики Аристотеля отказывались верить, что притяжение Луны вызывает приливы в океанах: для них это было таким же суеверием, как для нас — убеждение во взаимосвязи Луны со здоровьем человека. Начисто отрицая всякое действие на расстоянии, Аристотель и его приверженцы не могли, конечно, сформулировать понятие о силе тяготения.

Это сделал через две тысячи лет Ньютон, разумеется, с помощью накопленных за тысячелетия данных наблюдательной астрономии. На основе найденных им общих законов динамики и закона тяготения Ньютон построил количественную,

невероятно точную не только по тем временам теорию движений небесных тел.

Этот великий триумф научного знания совершенно изменил мировоззрение культурного человечества и поселил в нем веру во всемогущество науки. Но так как иной физической науки, кроме механики, еще не было, в ней стали видеть первообраз всякой истинной, настоящей и будущей, естественной науки. В XVII веке говорили, что объяснить какое-нибудь явление — это значит свести его целиком к механике, а иначе ничего-де понять нельзя. Некоторые рецидивы этих представлений встречаются и в наше время.

Чтобы понять, как действуют часы, на самом деле надо разобратить их на винтики, колесики и пружинки. Это можно сделать и мысленно не только потому, что жаль разнимать часы, но и потому, что мы заранее уверены в реальности и доступности для обозрения всех этих составных частей — они тут, перед нами, в натуре или на точном чертеже. Мы также знаем силу, которая заставляет часы идти: например, у часов с гирей — это сила тяжести.

Но что же такое сила тяжести? Можно ли ее разложить на колесики и винтики? Очевидно, нет. Вопреки Аристотелю притяжение действует на расстоянии. Никакого передающего механизма между Солнцем и Землей или между Землей и падающим на нее телом не видно. Нужно ли тогда объяснять тяготение механически подобно тому, как опьянение объясняли тем, что спиртные пары давят изнутри на череп?

Ньютон прекрасно понимал, что любая механическая модель силы тяготения несравненно сложнее самого закона и породит труднейшие проблемы. Поэтому на вопрос, какова «причина» тяготения, творец его закона ответил коротко и просто: «гипотез я не строю».

Многих современников Ньютона такой ответ не устраивал. Например, Декарт учил, что планеты увлекаются в свое круговращательное движение какими-то вихрями, исходящими от Солнца. Никто не видел вихрей в межпланетном пространстве, но даже воображаемый вихрь — что-то кажущееся реальным, а что такое «сила» тяготения? Зато из гипотезы о вихрях не следовало ровно ничего, а механика Ньютона приводит к количественному объяснению планетных движений. Поэтому сторонникам Декарта в конце концов пришлось признать превосходство ньютоновского учения. Здесь большую роль сыграл популяризаторский гений Вольтера.

Конечно, если это требовалось, то и Ньютон не отказывался от гипотез: например, для объяснения природы света он допустил, что свет переносится в виде отдельных частиц, или корпускул (точнее, принял гипотезу древних натурфилософов). Но здесь надо было свести сложное к более простому

и связать единой гипотезой по крайней мере два закона — отражения и преломления света. Чтобы свет, попадая в стекло или в воду, отклонялся в сторону перпендикуляра к плоскости раздела, надо было допустить, что скорость corpusкул в воздухе меньше, чем в более плотной среде.

Впоследствии оказалось, что имеет место обратное: в воздухе свет распространяется быстрее. Тем самым корпускулярная теория света опровергается. Но это не значит, что она никогда совсем не имела смысла: наоборот, в ней заключалось вполне определенное высказывание, которое допускало опытную проверку, но не выдержало ее.

Совершенно иначе обстоит дело с законом тяготения: сказать, что тяготение передается в пространстве какими-то частицами, которые нигде больше не проявляются, все равно, что не сказать ничего. Ясно, что если бы «частицы» тяготения нужны были Ньютону, он легко додумался бы до них сам: ему приходило в голову и кое-что посложнее.

Тем не менее пришло время, когда действие на расстоянии перестало удовлетворять ученых и по-новому был поставлен вопрос о природе, или, если угодно, «причине» тяготения.

Как мы уже говорили, закон Кулона привлекал поначалу физиков потому, что весьма напоминал закон Ньютона — образец всякого действия на расстоянии. Но в конце концов оказалось, что электромагнитная сила передается не мгновенно, а распространяется со скоростью света. Возможность моментального воздействия на расстоянии снова стала под вопрос.

В высшей степени удивительно, что Эйнштейну удалось построить новую теорию тяготения, не опираясь на какие-либо опытные факты, противоречившие закону Ньютона. Наоборот, необходимость таких фактов Эйнштейн предсказал из своей теории, и они подтвердились. По сравнению со своими предшественниками Эйнштейн был вооружен новыми идеями, которые в большой мере создал он сам.

Но, конечно, ему решающим образом помогли работы великих математиков прошлого века: Гаусса, Лобачевского, Больяй и Римана, которые пересмотрели основы геометрии. До них постулаты геометрии определяли, как самоочевидные истины, хотя утверждение о том, что через точку вне прямой можно провести только одну параллельную к ней, и пытались доказать тысячами. Иначе говоря, этот постулат Евклида (пятый) хотелось бы вывести из первых четырех, не принимая на веру.

Лобачевский попробовал провести доказательство от противного: отказаться от пятого постулата и строить систему геометрии до тех пор, пока не возникнет противоречие. Но никаких абсурдных положений у него не возникло. Тогда ста-

ло ясно, что геометрия, не основанная на пятом постулате, ничем не хуже, с точки зрения чистой математики, чем евклидовская. Но хотелось бы знать, какая геометрия «истинна», не с точки зрения математических аксиом, а по отношению к физической реальности. Так ставили вопрос уже творцы неевклидовой геометрии, но только Эйнштейну удалось связать геометрию и физику.

Прежде всего оказалось, что постулаты евклидовской геометрии не точно, а приближенно отражают свойства реального мира и должны быть уточнены при переходе от земных объектов к космическим, имеющим больший масштаб.

С физической точки зрения, бессмысленно отделять пространство и время от движущихся материальных объектов, включая и электромагнитные поля. Пространство и время — не заранее заданный фон, на котором разыгрываются изменения в материальном мире, а неразрывное с ним целое. Если до Эйнштейна иногда говорили, что пространство и время «условия существования материи», то с таким же правом можно утверждать и обратное — материя — условие существования пространства и времени. Уравнения Эйнштейна построены так, что из них геометрические свойства мира определяются вместе с движением материи, заранее ни то, ни другое не считается заданным.

Пространство с евклидовскими свойствами получается из уравнений Эйнштейна только для «пустого» мира, свободного от материи. Ясно, что не такие решения могут интересовать физику.

В геометрии Евклида через всякие две точки можно провести одну, и только одну, прямую, которая короче всякой другой линии, проведенной через эти две точки. Оказывается, что и в мире Эйнштейна имеются кривые, обладающие свойством евклидовских прямых: через каждую пару точек они проводятся единственным способом и короче любых других линий, проведенных через те же точки. Мир Эйнштейна — четырехмерный (три пространственных измерения + время). Чтобы пояснить характер кратчайших кривых, удобно рассмотреть их на двумерной модели — сферической поверхности. Например, на Земле кратчайшим расстоянием между точками является отрезок дуги большого круга, что всегда учитывается при дальних перелетах. Такие самые короткие линии называются геодезическими, их можно определить однозначным образом не только для двумерной поверхности, но и для четырехмерного мира.

Теперь мы можем объяснить, в чем смысл эйнштейновского закона тяготения: он состоит в отказе от всякой «силы». Все тела движутся свободно по мировым геодезическим линиям. В механике Ньютона свободное тело двигалось по пря-

мой, у Эйнштейна оно столь же непринужденно движется по геодезическим линиям четырехмерного мира.

В свою очередь форма геодезических линий определяет геометрию мира. Например, если сказать, что в двумерном мире все геодезические линии суть окружности одного и того же радиуса, то ясно, что перед нами поверхность шара. Теория Эйнштейна устанавливает связь между движением материи и геометрией мира. Но здесь уже имеется в виду не «пробное» тело, которое перемещается по заранее заданной геодезической искривленного мира, а то «тяжелое» тело, которое ответственно за гравитацию.

Например, в солнечной системе под ним надо приближенно понимать само Солнце, а пробными телами считать планеты. Надо подчеркнуть, что в точном понимании уравнений Эйнштейна нет деления на гравитирующее тело и то, которое движется в мире, искривленном гравитацией: вся материя одинаково участвует в движении и определяет геометрию. Она, в свою очередь, создается движением. Грубо говоря, имеется система из двух уравнений с двумя неизвестными: геометрией и движением тел. Ни одно из уравнений не может быть решено без другого.

Может показаться странным, как это в геометрии Эйнштейна кратчайшими линиями становятся эллипсы, по которым планеты вращаются вокруг Солнца: ведь даже на глаз заметно, что эллипсы длиннее прямых. Но не надо забывать, что движение происходит не только в пространстве, но и во времени.

Когда планета, например Земля, возвращается в ту же точку орбиты, где она была год назад, то в четырехмерном мире оба положения разделены промежутком в год, так что орбита — не замкнута. Три пространственные координаты обеих точек совпадают, зато временные — сильно разделены. От одной точки до другой Земля свободно двигалась в искривленном четырехмерном мире, проекция этой траектории на трехмерное пространство имеет вид эллипса. Таким же образом проекция трехмерной незамкнутой винтовой линии на плоскость, перпендикулярную оси винта, дает замкнутую кривую — окружность.

Закон тяготения Эйнштейна свободен от дальнего действия. Можно показать, что всякое изменение состояния материи посылает как бы сигнал, влияющий на геометрические свойства мира. Но сигнал передается не мгновенно, а распространяется со скоростью света.

Эйнштейновская теория тяготения точнее Ньютоновской. Так, из уравнений Эйнштейна следует, что траектории планет не идеальные эллипсы, а только очень похожи на них. Каждый отдельный оборот — почти в точности эллипс, но большая полуось медленно поворачивается в пространстве,

так что в конце концов траектория напоминает розетку с густыми лепестками. Большая полуось Меркурия поворачивается на $43''$ в столетие. Это было известно из астрономических наблюдений, но до Эйнштейна никому не приходило в голову, что столь небольшое отклонение от законов Ньютона объясняется только ценой полного пересмотра основ механики.

Разумеется, математически теория Эйнштейна выглядит сложнее, чем закон Ньютона, но физически она неизмеримо проще. Отказ от произвольного понятия «силы», замена его свободным движением по инерции равнозначны тому, чего искали столетиями: объяснению гравитации. Но объяснение совершенно неожиданное, с точки зрения доэйнштейновских представлений механики: вместо наивного механического воздействия каких-то воображаемых промежуточных агентов — смелое обобщение, взлет физической мысли.

При изучении общей теории относительности поражает ее стройность и взаимосогласованность отдельных частей. Ни один вопрос, конечно, разумный, не остается без ответа, нигде нет трудностей или неясностей даже в малейших деталях. Если бы вся теоретическая физика достигла такой завершенности, то, пожалуй, наступил бы седьмой день творения для ученых. Увидев, что созданное хорошо, они могли бы отдохнуть от принципиальных вопросов и навсегда посвятить себя приложениям.

Может ли наступить этот день, зависит от того, по нашему мнению, конечно или бесконечно число классов взаимодействий в природе; но мы увидели, что для гравитационных взаимодействий, по крайней мере взятых в отдельности, теория может быть исчерпана. Прежде чем рассматривать другие взаимодействия, мы расскажем о некоторых интересных следствиях из эйнштейновского закона тяготения, а также о праздных попытках «усовершенствовать» Эйнштейна на уровне аристотелевских представлений. Последнее будет сделано для того, чтобы стало ясно, почему не всякое «развитие» означает прогресс.

Уравнения гравитации Эйнштейна не всегда приводят только к малым поправкам в решениях ньютоновских уравнений. Есть проблема, к которой вообще нельзя подступиться иначе, как на основе теории Эйнштейна: это проблема строения Вселенной. Попытки исследования в этой области на основе старого, ньютоновского закона тяготения приводят к внутренним противоречиям: приходится допускать, что материя сосредоточена только в некоторой конечной области Вселенной и со всех сторон окружена безграничным пустым пространством.

Если считать, что вся безграничная Вселенная заполнена материей, то притяжение отдаленных масс, действуя по закону обратных квадратов, должно возрастать с расстоянием

до этих масс. Ведь число их растет прямо пропорционально кубу расстояния, если допустить, что они распределены повсюду. Бесконечно большая сила должна была бы разорвать любое тело, чего, как мы знаем, на самом деле не происходит.

В 1923 г. А. А. Фридман показал, что материя, равномерно распределенная в пространстве, не приводит к бесконечному возрастанию гравитационных сил, если пользоваться уравнениями Эйнштейна. Существенно, однако, что решение Фридмана — нестатическое: иначе говоря, плотность материи в пространстве не остается неизменной, а либо растет во времени, либо падает. В космических масштабах это означает, что галактики, наблюдаемые с Земли, либо приближаются к ней, либо удаляются от нее.

В 1927 г. астроном Хаббл открыл, что имеет место как раз последнее: чем дальше от нас находится некоторая галактика, тем больше лучевая скорость ее удаления. В настоящее время известны объекты, которые удаляются от нас со скоростью, составляющей 80% от скорости света. Когда Хаббл сделал свое открытие, Фридмана не было в живых, на соответствие его решений с наблюдениями Хаббла обратил внимание Леметр.

Анализ, проведенный Леметром, привел к удивительному результату: при некотором значении средней плотности материи во Вселенной существует наибольшее расстояние между двумя точками во Вселенной, в таком же смысле, как на земной поверхности максимально расстояние между полюсами, или, вообще, антиподами. Применительно к поверхности Земли это отражает то очевидное обстоятельство, что ее площадь — конечна. Подобным же образом Вселенная, в которой есть предельное расстояние между точками, имеет **конечный** объем! Но так же, как земная поверхность не имеет края, так и Вселенная отнюдь не имеет границ. Нелепо спрашивать, что находится вне объема Вселенной — не существует **вне**.

В настоящее время нет вполне достоверных данных о плотности материи во Вселенной. То значение, которое сейчас наиболее достоверно, отвечает бесконечному объему Вселенной. Оно несколько меньше предельного леметровского значения, при котором получается конечный объем. Но если астрономические данные покажут, что плотность на самом деле больше, чем мы теперь полагаем, придется признать, что объем Вселенной — конечен. Причем в сей Вселенной, а не доступной нам части, как иногда пишут боязливые авторы.

Но независимо от конечности или бесконечности объема, решение Фридмана приводит к конечному времени существования Вселенной. Именно нас отделяет около 10 миллиардов лет от момента, когда плотность материи была бесконечна,

при любом ее значении теперь (т. е. независимо от того, конечен или бесконечен объем). Можно спросить: что же было до этого? Ответ: до этого не было.

Большой промежуток времени не может быть физически определен, как на земной поверхности не существует точки отстоящей более чем на 20 000 км от любой данной точки. Наибольший промежуток времени получается потому, что само время нельзя рассматривать отвлекаясь от движения материи; как мы уже говорили, в эйнштейновской теории тяготения они составляют неразрывное целое. Если материя распределена в пространстве в среднем однородно (среднее берется по участкам космоса, содержащим по многу галактик), то время ее существования обязательно оказывается конечным. В противном случае пришлось бы допустить, что время протекало независимо от движения материи, что не имеет физического смысла.

Мы затронули космологическую проблему отчасти для того, чтобы показать недостоверность чисто умозрительных выводов о природе. Веками лучшие умы полагали, что нельзя сомневаться в бесконечности мира, в пространстве и во времени. Оказалось, что перед нами не аксиома, а естественнонаучная проблема. Вероятно, она получит окончательное решение в недалеком будущем с помощью данных наблюдательной астрономии в эйнштейновской теории тяготения. Не исключено, что схема Фридмана — Леметра значительно усложнится или получит качественные изменения, но важно, что проблема строения мира как целого будет полностью решена.

Таким же образом мы полагаем, что и к вопросу о познаваемости физического мира надо подходить осторожно. Нельзя категорически утверждать, что полное знание всех физических законов никогда не наступит.

Но несомненно, что если момент полного знания и придет, всегда найдутся деятели науки, которые пожелают внести свой вклад в уже установленное. Опыт показывает, что по разным причинам полемика с ними неэффективна.

Лет 15 назад, еще при жизни Эйнштейна, один ученый муж обвинил его в классовой ограниченности и провозгласил себя творцом единственно правильной теории тяготения. В настоящее время сей муж несколько смягчился и, выдавая ту же «теорию», милостиво признает Эйнштейна своим предтечей.

«Теория», применяя слова поэта, проста, как мычание: все тела испускают какие-то частицы тяготения, которые, падая на другие тела, вызывают силу притяжения. И как до этого никто до сих пор не додумался?

Надо сказать, впрочем, что с методической целью некоторые авторы применяют квантовую механику к гравитацион-

ному полю. Тогда получаются приближенные квантовые решения, в которых гравитация распространяется в виде **отдельных квантов**, наподобие световых. Квантов гравитации, или гравитонов, никто не наблюдал по причинам, которые мы разъясним ниже, но сама процедура их теоретического вывода не содержит формальных ошибок, хотя и представляет пока что чисто академический интерес.

Но тот ученый муж, который претендует на объяснение гравитации на новой основе, фактически не использует никаких достижений современной науки: ни теории Эйнштейна, ни квантовой теории, из которых более скромные авторы получают свои корректные, хотя и бесполезные гравитоны. Новый гравитационист, по существу, находится на уровне атомистических представлений древних греков: замена слов, которые были бы понятны и античным философам, на «квант» или «гравитон» еще не создает научной основы для «теории».

Конечно, в научном мире эта «теория» не имеет хождения, несмотря на то, что труды ее автора опубликованы в серьезных журналах и даже в виде монографий.

О силе взаимодействия

Мы очень много говорили о совершенстве теории тяготения, созданной Эйнштейном. Оно проявляется во всех случаях, где заведомо необходимо применять закон тяготения, т. е. при изучении астрономических и космологических объектов. Встретится ли надобность в точной теории гравитации еще где-либо, например, в учении об элементарных частицах, которое особенно быстро развивается в настоящее время?

Большинство теоретиков считает, что гравитация не имеет никакого отношения к структуре элементарных частиц. Если это так, то теория Эйнштейна в принципе завершена и действительно может служить примером полной законченности, не нуждаясь в существенном усовершенствовании (кроме, возможно, развития математического аппарата). Надо только стараться собрать как можно больше астрономических данных, чтобы применить готовую теорию к космологической проблеме.

Конечно, нельзя надеяться на этом пути прийти к законченной картине мира: остается ведь область атомного ядра и элементарных частиц. Но если, как думают, гравитация не имеет к ним отношения, то в своей области теория Эйнштейна завершена настолько, что может служить как бы эталоном для всякой будущей теории, претендующей на полную формулировку всех законов своего объекта изучения. В дальнейшем будет показано, что можно установить определенные

количественные критерии для суждения о совершенстве теории.

Меньшинство полагает, что гравитация имеет непосредственное отношение к элементарным частицам. Тогда теория Эйнштейна должна быть углублена и обобщена. В частности на нее необходимо перенести квантовые законы движения. Кроме того, гравитацию надо будет объединить с другими видами взаимодействия, т. е. построить некую единую теорию поля. Только к этой теории и можно будет применять критерии законченности. Нас, в конечном счете, интересует общая законченность физической теории, поэтому мы не будем выбирать определенную точку зрения на роль гравитации в проблеме элементарных частиц, а выскажем в своих местах соображения в пользу разных гипотез.

Итак, постараемся, насколько возможно, характеризовать каждое взаимодействие какой-то величиной, построенной так, чтобы удалось сравнивать разные классы взаимодействий между собой. Естественно полагать, что такая величина даст определенную меру интенсивности, или, проще, силы взаимодействия. Здесь термин «сила» употреблен не в том смысле, как во втором законе Ньютона, а скорее так, как понимают выражение «сильное чувство». Мы увидим, что и в этом смысле физические взаимодействия можно классифицировать.

Оказывается, что тяготение намного слабее всех остальных взаимодействий. Конечно, оставаясь в рамках одного только тяготения, об этом судить невозможно: его попросту не с чем сравнивать. Но мы покажем, что именно, по крайней мере, надо будет сравнивать. Как известно, сила притяжения двух масс пропорциональна их произведению и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Если поделить величину, имеющую размерность квадрата массы (т. е. произведение масс) на квадрат длины, то вовсе не получится величина с размерностью силы (масса \times ускорение). Между тем обе стороны любого равенства непременно должны измеряться в одинаковых единицах, в этом на горьком опыте убедился каждый ученик и студент. Следовательно, в выражение гравитационной силы должен входить размерный коэффициент пропорциональности. Он обозначается буквой γ .

Какие же единицы измеряют γ ? Это нетрудно вывести из требования, поставленного только что: надо, чтобы γ приводила обе стороны равенства к одной и той же размерности. Слева стоит сила, то есть произведение из массы на ускорение. Справа — γ , умноженная на квадрат массы и деленная на квадрат длины. Размерность ускорения, как некоторые, быть может, помнят, есть длина, деленная на квадрат времени. Следовательно, имеем

$$\frac{\text{масса} \cdot \text{длина}}{(\text{время})^2} = \gamma \frac{(\text{масса})^2}{(\text{длина})^2}$$

Для того, чтобы размерность обеих сторон равенства со-
впала, надо взять такую мудреную единицу для γ :

$$\frac{(\text{длина})^3}{(\text{время})^2 \cdot \text{масса}}$$

Например, если длина измерена в сантиметрах, время — в секундах, а масса — в граммах, то $\gamma = 6,6 \cdot 10^{-8}$. Делая глупое предположение, что γ по непонятным причинам изменилась, надо будет считать, что во столько же раз изменится и сила тяготения между любыми двумя телами в природе. Тем самым мы просто хотели сказать, что γ измеряет силу гравитационного взаимодействия. Так как закон тяготения универсальный, «всемирный», величина γ относится к так называемым мировым постоянным: она взята, так сказать, из природы, а не по соглашению между людьми, как сантиметр, грамм и секунда. Но теперь мы видим, что между ними можно образовать комбинацию с размерностью (сантиметр)³ (секунда)⁻² (грамм)⁻¹, которая от произвола при выборе единиц не зависит.

Как известно, изготовление и хранение эталонов — дело хлопотное. При изготовлении эталона метра был проявлен характерный для той эпохи преобразований оптимизм, в результате которого эталон оказался вовсе не равным одной сорокамиллионной земного меридиана. Поэтому теперь метр сравнивается не с этой воображаемой длиной, а с парижским образцом, хотя по замыслу творцов метрической системы земной меридиан должен был хранить эталон длины. Длина парижского метра сама по себе медленно меняется из-за процессов рекристаллизации в его материале. Ясно, что гораздо удобнее иметь эталоны физических величин, заключенные в самих законах физики.

Как раз таким эталоном и является γ . Допустим, что она принята за единицу, а сантиметр желательно исключить из основных единиц измерения, оставляя грамм и секунду (в дальнейшем удастся избежать их тоже). Чему будет равна производная единица длины при $\gamma = 1$? Из размерности γ сразу видно, что эту единицу надо взять в отношении $(6,6 \cdot 10^{-8})^{1/3}$ меньшей, чем сантиметр, т. е. около четырех тысячных сантиметра.

Таким образом, начиная с Ньютона в физике существовал природный эталон, или универсальная, или мировая постоянная, которая позволяла иметь на одну произвольную единицу измерения меньше. С того же времени была известна еще одна величина с такими же свойствами: скорость света в пустоте c . Ее измерил в 1675 г. Рёмер, заметив, что

затмения спутников Юпитера запаздывают по мере того как Земля удаляется от него, и наступают с опережением когда планеты сближаются. До Эйнштейна обе постоянные γ и c , существовали разобщенно, в разных областях физики. Но в теорию тяготения Эйнштейна входят и γ , и c . Мы уже говорили, что гравитационные возмущения передаются согласно эйнштейновской теории со скоростью света. Поэтому здесь можно обойтись только одним произвольным эталоном, например массы. Длина и время исключаются следующим образом. Из размерности γ видим, что

$$\frac{\text{длина}}{\text{масса}} = \frac{\gamma}{(\text{длина})^2 \cdot (\text{время})^{-2}} = \frac{c^2}{\gamma}.$$

Если теперь принять γ и c за единицы измерения, а грамм оставить прежним, то новая единица длины составит $6,6 \cdot 10^{-8}/9 \cdot 10^{20} = 0,703 \cdot 10^{-28}$ см. Единица времени при этом окажется в $3 \cdot 10^{10}$ раз меньше, то есть будет равна $0,234 \cdot 10^{-33}$ сек. Вопрос об удобстве таких единиц измерения можно спокойно оставить в стороне. Важно, что они существуют в принципе, а вскоре мы покажем, что их гораздо больше, чем надо для хранения эталонов.

Мы получили очень маленькие, по сравнению даже с атомными или ядерными масштабами, производные единицы длины и времени, выбирая гравитационную постоянную и скорость света в качестве эталонов. Отсюда можно было бы косвенно заключить о слабости гравитационного взаимодействия по сравнению с прочими взаимодействиями. Но следует быть осторожным: ведь единица массы, грамм, пока еще осталась произвольной. Покажем, как исключается и этот произвол. Тогда удастся произвести более прямое сравнение гравитации с другой силой, электромагнетизмом, чем это можно сделать, рассуждая о бумажных шариках или железных опилках.

Было немало желавших усовершенствовать эйнштейновскую теорию тяготения, и прежде всего к этому стремился сам ее великий автор. 35 лет своей жизни он без усталости трудился над тем, чтобы синтезировать теорию тяготения с теорией электромагнитного поля, вывести их из одного физического начала. Приступая к этому гигантскому труду (около 1920 г.), Эйнштейн полагал, что в природе нет иных взаимодействий, кроме сил тяготения и электромагнитных сил. Поэтому поставленная, но далеко не решенная им проблема именовалась «единой теорией поля».

Эйнштейн надеялся, что ему удастся вывести такие уравнения, из которых автоматически будет вытекать существование элементарных частиц, как некоторых узлов или сгустков поля. Но природа оказалась сложнее. Так как большин-

ство элементарных частиц подвержено действию ядерных сил, которые примерно в сто или тысячу раз превосходят электрические силы между двумя протонами в ядре, нет оснований надеяться, что природа таких частиц может быть понята на основе одних только электромагнитных сил.

Но и само соотношение между гравитацией и электромагнетизмом, без привлечения ядерных сил, позволяет понять, в чем трудность единой теории поля. Поначалу речь будет идти о том способе подхода к проблеме, который избрал Эйнштейн: без учета квантовой теории. В дальнейшем будут указаны некоторые видоизменения, вносимые в единую теорию поля при учете квантовых закономерностей.

Известно, что в учении об электромагнитном поле есть два разных понятия: само поле как таковое и электрический заряд. Надо сказать, что вполне законченный вид имеет теория «пустого» поля, свободного от зарядов. Очевидно, что это не вся теория, а только ее часть. Какие же трудности не преодолены во второй части?

Носителем заряда является элементарная частица, электрон. Мы сразу оставляем протон вне рассмотрения, так как в нем проявляется поле ядерных взаимодействий. Не имеет смысла говорить о его теории на основе одних только электромагнитных свойств: в этом отношении он гораздо сложнее электрона.

Но и электрон не просто электрический заряд. Это частица со многими индивидуальными свойствами, со своим особым характером. Он имеет не только заряд, но и массу, и даже момент вращения, наподобие волчка. О моменте мы говорить не будем, он имеет квантовую природу, а займемся массой.

Согласно теории относительности, между массой m и энергией E существует важнейшее соотношение $E = mc^2$. Здесь c — скорость света. Написанная здесь формула — основа всей физики атомного века. Ее можно переписать и так: $m = \frac{E}{c^2}$. И вот оказывается, что столь простую и фундаментальную формулу невозможно применить к электрону, не допуская, что в нем проявляются еще какие-то силы, кроме электромагнитных. Между тем, свойства электрона очень хорошо изучены, и действие других сил на него не замечается. Поэтому полагали, что энергия целиком обязана электрическому полю электрона, так что масса электрона должна быть приписана его заряду.

Однако легко показать, что так поступить невозможно. Для этого проще всего воспользоваться учением о размерностях, которым мы уже докучали читателю. Вспомним закон Кулона: сила отталкивания между двумя зарядами разна их произведению на квадрат расстояния между ними. Из

этого закона определяется заряд, так что вводить размерную постоянную, как в закон тяготения, не требуется. Имеем

$$\text{сила} = \frac{\text{масса} \cdot \text{длина}}{(\text{время})^2} = \frac{(\text{заряд})^2}{(\text{длина})^2}.$$

Отсюда квадрат заряда имеет размерность массы, умноженной на куб длины и деленной на квадрат времени. Размерность энергии есть сила, умноженная на длину, то есть масса на квадрат длины и деленная на квадрат времени. Но отсюда видно, что энергия заряда e не может быть просто выражена через его величину в квадрате: надо еще обладать какой-то постоянной r с размерностью длины. Тогда получится соотношение вида:

$$E = \frac{e^2}{r}.$$

Полученную формулу легко истолковать наглядно. Так выглядит энергия заряженного шара радиуса r , причем в зависимости от способа распределения заряда по шару в равенство входит еще некоторый численный коэффициент, не имеющий для нас никакого значения. Ведь и сам радиус r ни в каком опыте не наблюдался, и есть много оснований полагать, что он и не будет замечен на опыте. Мы вынуждены ввести специальное понятие — радиус электрона, если хотим приписать его массе электромагнитное происхождение. С одной стороны, естественно так поступить, полагая, что с электроном не связаны никакие силы, кроме электромагнитных. С другой стороны, какие же силы удерживают внутри сферы отталкивающиеся одноименные заряды? Надо допустить, что существуют еще какие-то силы, кроме электромагнитных, чтобы как-то объяснить устойчивость электрона. Но тем самым получился заколдованный круг: мы хотели обойтись одним электромагнетизмом, в соответствии с опытными данными, и пришли к неэлектромагнитным силам, которые не наблюдаются на опыте.

Описанная трудность могла бы отпасть, если бы радиус r равнялся нулю. Но тогда чисто электростатическая энергия отталкивания, как видно из вышенаписанной формулы, обратится в бесконечность. Согласно соотношению между массой и энергией, должна стать бесконечной и масса электрона, чего на самом деле, очевидно, нет.

Итак, в предположении о конечном радиусе мы вынуждены ввести нефизические силы неизвестной природы, а при нулевом радиусе приходим к прямому абсурду.

Так уже повелось, что над безнадежными проблемами люди работают с наибольшим упорством. Целые поколения физиков-теоретиков боролись с бесконечностью собственной энергии электрона, но с тем же успехом, с каким трудились

изобретатели вечного двигателя. Причем неуспех изобретателей привел, в конце концов, к открытию закона сохранения энергии, а борьба с бесконечностью в электродинамике в ее некантовом варианте просто ни к чему не привела. Если еще учесть талант и знания ученых по сравнению с недоучками-изобретателями, то надо признать, что гипотеза об электромагнитной массе электрона обошлась человечеству дороже, чем попытки создания вечного двигателя.

Мы говорили, что силы, противостоящие электрическим, могут иметь только неизвестную природу. Не подойдут ли, однако, гравитационные силы? Тогда бы мы не вышли за пределы того, что Эйнштейн хотел получить из единой теории поля. На самом деле, однако, попытка привлечь гравитационные силы для уравнивания электростатических совершенно безнадежна.

Это сразу становится видным, если сравнить энергию отталкивания электростатических сил с энергией притяжения гравитационных сил в одном и том же объеме. Первая равна, как мы знаем, $\frac{e^2}{r}$. Так как законы Ньютона и Кулона выглядят одинаково, энергия притяжения, выраженная через массу, должна иметь аналогичный вид, но в нее надо, как обычно, включить гравитационную постоянную γ ; получается, что силы тяготения приводят к энергии $\gamma \frac{m^2}{r}$. Из отношения обеих энергий радиус сокращается, и остается величина, равная $\frac{e^2}{\gamma m^2}$. Это величина отвлеченная (отношение двух энергий!) и, следовательно, не зависящая от выбора единиц измерения. Вычислим, чему она равна. Заряд электрона $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ электростатической единицы, масса электрона $m = 9 \cdot 10^{-28}$ грамма, $\gamma = 6,6 \cdot 10^{-8}$ единиц той странной размерности, которая уже указывалась. Следовательно, искомое отношение равно $4,3 \cdot 10^{42}$. Можно сказать, что во столько раз электрическое взаимодействие «внутри» электрона превосходит гравитационное¹. Причем это не зависит от того, какой радиус был выбран. Таким образом, мы сумели сравнить два класса сил взаимодействия, что и было обещано в начале главы. Кроме того, оказалось, что те неизвестные силы, которые не дают электрону разлетаться из-за отталкивания одноименных зарядов, не гравитационные.

¹ Мы уже говорили, что в эйнштейновской теории тяготения нет понятия силы в привычном для нас смысле. Тем не менее соображения, основанные на размерностях, позволяют сравнивать гравитационные взаимодействия с электромагнитными с помощью постоянной γ . Этот пример показывает общность анализа размерностей, независимость выводов, основанных на таком анализе, от конкретного закона взаимодействия.

Почему же Эйнштейн тем не менее так упорно занимался единой теорией поля? Прежде всего, он стремился к единой формулировке всех известных в его время законов природы. Эта цель в известной мере была достигнута, но в результате наука не получила ничего нового в понимании существа законов. Не возникло никаких физических обобщений, или прогнозов для эксперимента. Не удалось также преодолеть трудность с энергией электростатического поля электрона. Надо отметить, что в рамках теории тяготения Эйнштейна не существует аналогичной трудности с энергией гравитационного поля частицы. Дело в том, что если считать частицу строго точечной, то на очень близких расстояниях от нее закон обратных квадратов не имеет силы. Изменение геометрических свойств мира, т. е. пространства и времени, становится там очень сильным по сравнению с плоским миром далеко от частицы. Теряет смысл само понятие силы тяготения: мы уже указывали, что в теории Эйнштейна, строго говоря, частица всегда движется свободно, так что силы вообще нет. Но далеко от притягивающей частицы траектория других частиц очень похожа на ньютоновскую, и можно говорить о силе в приближенном смысле, пока мы не находимся в непосредственной близости к центру притяжения.

Если вычислить энергию поля гравитирующей точки, то из-за особого поведения геометрии мира в близкой от центра области никаких трудностей с бесконечной энергией не возникает, и получается как раз такая величина, какая и должна была получиться, то есть mc^2 .

Только что мы видели, что e^2 и γm^2 имеют одну и ту же размерность (это не удивительно, потому что обе эти величины одинаковым образом входят в выражения для силы, в законы Ньютона и Кулона). Поэтому, чтобы формально выразить энергию гравитационного поля через массу частицы, надо поделить γm^2 на некоторую длину. Это приведет к равенству $mc^2 = \frac{\gamma m^2}{r_1}$. Из него легко выразить r_1 , или, как его еще называют, гравитационный радиус частицы. Масса Земли $6 \cdot 10^{27}$ г, так что ее гравитационный радиус всего лишь 0,44 см. В такой крохотный шарик надо было затолкать всю массу Земли, чтобы в ее окрестностях наблюдалось заметное отклонение от евклидовских свойств пространства.

Полагают, что некоторые массивные звезды не смогли преодолеть сжимающего действия собственного притяжения внешних слоев к центру и сжались до размеров гравитационного радиуса. Такие звезды ничего не в состоянии излучить и могут заявить о своем физическом существовании только по гравитационному действию. Плотность вещества в них в сто тысяч миллиардов раз больше, чем в атомном ядре.

Можно вычислить и гравитационный радиус электрона. По той же формуле он оказывается равным $6,6 \cdot 10^{-56}$ см. Если заменить γm^2 на e^2 , получится так называемый электрический радиус электрона, равный $2,8 \cdot 10^{-13}$ см. Отношение обоих радиусов как раз есть то самое огромное число, характеризующее преобладание электрических сил над гравитационными.

Возможно, что Эйнштейн надеялся построить такую единую теорию поля, в которой трудность с бесконечной электрической энергией сама собой отпадала бы, как в теории гравитационного поля — трудность с гравитационной энергией точечной массы. Со смертью Эйнштейна не осталось ни одного большого ученого, верящего в эту программу, по крайней мере, в тех рамках, какие выбрал сам Эйнштейн. Он не привлекал никаких закономерностей квантовой природы.

Пугающая трудность единой теории поля, если формулировать ее таким образом, как мы сделали, состоит в следующем: надо из чисто теоретических построений, то есть из самих принципов, вывести сверхъестественно огромное число $4,3 \cdot 10^{42}$. Разумеется, нельзя выводить из теории именованные числа, зависящие от выбора единиц измерения, как, например, элементарный заряд или массу электрона, но отношение двух чисел, не имеющее размерности, всегда в конечном итоге должно выводиться. Если говорить, однако, об универсальных постоянных разной природы, таких, как элементарный заряд, гравитационная постоянная, скорость света, масса электрона и др., то мы еще ни в одном случае не умеем связать их друг с другом. В следующей главе будет рассмотрено одно особенно интересное отвлеченное число, 137,038, которое пока не удается вывести теоретически.

Что касается числа $4,3 \cdot 10^{42}$, то его, если можно выразиться, «не так хочется» получить из уравнений. Дело в том, что создание единой теории гравитационного и электромагнитного поля вытекает скорее из эстетических, чем из физических потребностей: нет ни одного явления, или пока нет, которое нуждалось бы в единой теории поля для своего объяснения.

Наоборот, число 137... встречается в атомной физике повсеместно. Мы подставляем его в формулы, но не умеем объяснить, почему оно как раз такое, как есть. Число $4,3 \cdot 10^{42}$ просто некуда применить. Очень трудно представить себе некое физическое числовое уравнение, корнем которого оно бы являлось. Решения таких уравнений обычно лежат в пределах первого десятка!

И все же, пока необъясненное число есть, теоретики не могут спать спокойно. Все привыкли верить, что в природе нет совсем не связанных вещей, следовательно, гравитация

и электромагнетизм тоже как-то должны быть чем-то соединены. Но пусть наша вера ошибочна, тогда придется доказывать, что не все в природе взаимосвязано. А это еще труднее, чем вывести 10^{42} из теории!

Электричество и кванты

В предыдущей главе было показано, что в учении об электричестве есть темное место, или пробел, кому как больше нравится называть трудность с энергией поля электрона. Протяженный электрон конечного радиуса неустойчив, а точечный электрон имеет бесконечно большую массу. Этот недостаток теории вполне может проявиться при конкретных расчетах. Допустим, что электрон испускает свет с некоторой длиной волны λ . Спрашивается, как действует поле этой электромагнитной волны на сам испускающий электрон?

Если волна очень короткая, сравнимая по длине с величиной $\frac{c^2}{mc^2} = 2,8 \cdot 10^{-13}$ см, то результат ее воздействия на

электрон сильно зависит от того, действительно ли электрон имеет такие размеры или является точечным? На точечный заряд всегда действует только одна, определенная фаза волны, именно та, которая в данный момент времени приходится на данную точку пространства. На протяженный заряд могут действовать совсем разные фазы в различных его точках, если длина волны сравнима с размером заряда или меньше. Разумеется, это сказалось бы и на «чужом» электроде, не том, который испустил волну, а принявшем ее извне, но наиболее сильно проявляется в самодействии электрона.

Если прямо согласиться считать заряд точечным, примирившись с выводом о бесконечной массе, то оказывается, что в этом предположении заряд способен сам себя ускорять. При этом он испускает в обратную сторону электромагнитные волны, так что третий закон механики прямо не нарушается — имеет место отдача; фактически, однако, самоускоряющихся зарядов, к счастью для нас, не бывает. Заметим, что энергию для самоускорения заряд мог бы заимствовать из собственного бесконечного запаса, так что предположение о точечном заряде приводит к прямому противоречию с опытом, а не с механикой.

Протяженный заряд нельзя рассматривать, не зная его строения, однако нельзя и строить его, не имея связующей силы неэлектромагнитного происхождения. Если бы такая сила существовала и сдерживала заряд электрона внутри конечного радиуса, то мы непременно заметили бы этот радиус при рассеянии электромагнитных волн с длиной мень-

ше, чем 10^{-13} см. Тем самым определилось бы и внутреннее строение электрона.

Опыт говорит обратное. Не только волны длиной в 10^{-13} см, но и во много миллиардов раз короче взаимодействуют с электроном строго, как с точечным зарядом. Никакой протяженности электрон не обнаруживает. Но зато очень сильно сказываются квантовые свойства его движения.

Из квантовой теории и из опыта следует, что крайний предел длин волн, когда квантовые свойства сказываются еще

мало, равен $\frac{h}{mc}$ где h — постоянная Планка, впервые введенная им в физическую науку в 1900 г. Причем предел — нижний: при меньших длинах волн пользоваться неквантовыми формулами нельзя — возникают сильнейшие противоречия с экспериментом.

Постоянная h в принятой нами системе единиц (см, г, сек) равна $1,0544 \cdot 10^{-27}$. Следовательно, отношение $\frac{h}{mc}$ равно $3,8615 \cdot 10^{-11}$ см. Более короткие волны рассеиваются на электронах существенно квантовым образом. Тем более это относится к волнам, имеющим длину $\frac{e^2}{mc^2} = 2,8 \cdot 10^{-13}$ см.

Поэтому задача о рассеянии столь коротких волн на электронах фактически не возникает в неквантовой физике. Отношение меньшей длины к большей равно $\frac{e^2}{hc} = 1/137,038$ и, очевидно, не зависит от выбора единиц измерения.

Таким образом, неквантовая электродинамика становится неприменимой на таких расстояниях от заряда, которые во много (в 137) раз превосходят ее внутренний, собственный предел непротиворечивости. Следовательно, ее затруднения носят скорее академический, чем физический характер; они лежат не в природе вещей, а возникают от распространения теории за область ее законного применения.

Конечно, было бы приятнее не иметь и таких, чисто эстетических пороков теории, но в науке не решено столько реальных проблем, что незачем стараться исправлять то место, где уравнениями все равно нельзя воспользоваться на деле. На любом расстоянии от заряда ошибка, связанная с внутренним несовершенством неквантовой теории, в 137 раз меньше, чем та ошибка, которая произошла от неучета квантовой постоянной Планка h : Ясно, что нет смысла исправлять меньшую погрешность, не трогая большую.

Надо заново поставить вопрос о непротиворечивости самой квантовой теории электромагнитного поля, проверить, не возникают ли в ней затруднения, аналогичные тем, которые появлялись раньше в неквантовой теории.

Оказывается, что бесконечные выражения есть и в квантовой теории, хотя в целом ситуация оказывается гораздо благоприятнее, чем до введения постоянной Планка h . Но сперва надо решить, есть ли смысл заниматься вопросом о непротиворечивости квантовой электродинамики раньше, чем построена теория ядерных сил.

Иначе говоря, мы стоим перед альтернативой: либо невозможно построить замкнутую теорию электромагнитного поля, не рассматривая вместе с тем и поле ядерных сил, либо есть круг явлений природы, в котором ядерные взаимодействия несущественны. Разумеется, надо рассматривать только такие объекты, где ядерные силы в принципе могли бы сказаться, например электроны. Имеют ли сильные взаимодействия влияние на структуру электрона, подобно тому, как они, несомненно, определяют основные свойства протона?

Есть много оснований полагать, что электрон совсем не подвержен действию ядерных сил. Мы уже говорили, что экспериментально изучалось действие на электрон электромагнитных волн, в миллиарды раз короче того предела длины, где остается непротиворечивой неквантовая электродинамика.

Оказалось, что даже при длинах волн 10^{-20} см и меньше электрон не проявляет никаких структурных свойств и ведет себя, как заряженная точка. Между тем ядерные силы действуют на расстояние порядка 10^{-13} см. Поэтому протон совсем не похож на заряженную точку, когда на него падают достаточно короткие электромагнитные волны: экспериментально изучалось распределение заряда в протоне (и в нейтроне). Такая существенная разница между электроном и ядерными частицами позволяет полагать, что электрон — чисто электромагнитный объект.

Если удастся построить законченную, внутренне непротиворечивую теорию электронов, т. е. электродинамику, которая будет находиться в хорошем согласии с опытом, то два класса взаимодействий получат окончательную трактовку: гравитационные и электромагнитные. Останется вопрос о взаимосвязи между ними, который тоже может решиться отдельно от подобных же вопросов связи этих двух классов в целом с остальными типами взаимодействий, уже известных, или неизвестных, ждущих своего открытия.

Надо сказать, что квантовая теория электромагнитного поля во многих, но не во всех, отношениях близка к совершенной форме. Во всяком случае, она в состоянии предвычислить с любой степенью точности все чисто электромагнитные явления, так что здесь не обязательно желать лучшего.

Какие же нерешенные вопросы все еще заставляют ду-

мать, что квантовая электродинамика не достигла такого же относительного совершенства, как эйнштейновская теория гравитационного поля?

Прежде всего остается фундаментальная проблема, при том имеющая непосредственное отношение к опыту: почему постоянная $\frac{hc}{e^2}$ равна именно 137,038? Ведь это значение найдено экспериментально, а теоретически никак не выведено.

Кроме того, есть еще одна чисто электромагнитная частица — мю-мезон, или мюон. Его масса в 206 раз больше, чем у электрона. Опять возникает вопрос: почему как раз во столько?

Вполне вероятно, что совершенная теория и не может быть построена в предположении об одной чисто электромагнитной заряженной частице, электроне, и непременно требует участия двух разных заряженных частиц. Вопрос этот никак не решен, быть может, он связан с нахождением тех двух загадочных чисел: 137 и 206.

Наконец, в квантовой теории электромагнитного поля в той форме, какую она имеет сейчас, встречаются и бесконечные выражения.

В конце сороковых годов теоретики, собравшиеся в Аламогордо, наметили программу действий, с помощью которых бесконечности квантовой электродинамики смогли «обезвредить».

Это делается, вкратце, следующим способом. Допустим, что надо рассчитать известный, физически наблюдаемый, эффект, но при вычислениях некоторые формулы приводят к появлению бесконечностей. Удалось показать, что бесконечные величины всегда можно представить в таком виде, как будто они входят в качестве добавок к массе и заряду электрона, и никак иначе.

После этого объявляется, что истинные, входящие в результат наблюдений заряд и масса суть те выражения, которые получились уже в результате включения добавок. Иначе говоря, их исходные величины сами содержали какие-то бесконечности, которые сократились с добавленными бесконечными выражениями и дали в результате конечные наблюдаемые заряд и массу. Именно этот измеряемый заряд и входит в $1/137$.

Программа действий может показаться очень надуманной, но работа по ней — безотказна, и результат всегда согласуется с опытом. Поэтому несомненно, что теория достигла большого успеха, хотя лучше было бы сразу получать конечные выражения без обходных маневров.

Успех этих действий обеспечивается тем, что бесконечности квантовой электродинамики, так сказать, не столь беско-

нечны, как в некантовой теории. Поясним, что это значит. Напишем ряд чисел:

	1	10	100	1000	10 000	100 000...
или	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	$10^5...$
	0	1	2	3	4	5..

Показатели степени здесь тоже образуют ряд:

и этот ряд идет к бесконечности, но в нем стоит только 5 там, где в верхнем ряду стоит уже 100 000. Нижний ряд содержит не что иное, как логарифмы верхнего ряда.

Сразу видно, насколько медленнее стремится к бесконечности логарифм, чем само число. Настолько же слабее бесконечности квантовой электродинамики, чем некантовой. Не следует думать, будто здесь применима старая поговорка «что в лоб, что по лбу»; именно этот логарифмический рост выражений и позволил исключить бесконечности из расчета наблюдаемых явлений. Согласие результатов этих вычислений с опытом позволяет думать, что вся сложная процедура избавления от бесконечных, т. е. бессмысленных выражений в чем-то отражает физическую реальность.

Вернемся теперь на квантовой основе к вопросу об электромагнитной природе массы электрона. Как мы уже знаем, ее выражение тоже бесконечно, но в отличие от классического, только логарифмически. Еще в 1939 г. В. Вайскопф вывел формулу для энергии электромагнитного поля электрона (заметим, что оно относится именно к электрону, а не к произвольному заряженному объекту):

$$E = b \cdot mc^2 \cdot \frac{e^2}{hc} \lg \frac{h}{mcr_x}$$

Здесь b — численный коэффициент порядка 1, r — какой-то минимальный радиус. Значение остальных букв было разъяснено выше. Если считать электрон строго точечным, r_x следует устремить к нулю. Но тогда отношение $\frac{h}{mcr_x}$ будет сколь угодно велико, и его логарифм — тоже, в меру приведенных только что числовых последовательностей.

На самом деле хотелось бы иметь очень большой, но не бесконечный логарифм. Действительно, энергия электрона E , если приписать ей чисто электромагнитное происхождение, должна быть по этой формуле равна mc^2 . Но при mc^2 стоит малый коэффициент $\frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137}$. Логарифм обязан был бы погасить эту малость, т. е. иметь порядок величины, по крайней мере, нескольких десятков. Для этого под логарифмом надо подставить гигантское число, скажем, 10^{40} . Если бы r_x равнялось гравитационному радиусу электрона, мы получили бы

отношение $\frac{hc}{\gamma m^2} = 10^{44}$. Это достаточно много, потому что

коэффициент b порядка 3. Итак, если r_x равно гравитационному радиусу электрона, то можно получить правильный порядок величины электромагнитной массы, говоря смелее, всю массу.

Но все сказанное не только не теория, а даже и не гипотеза, в лучшем случае — подгонка чисел. Чтобы доказать законность действий такого рода, надо было бы развить последовательную квантовую теорию гравитационного поля, в таком же соотношении с современной теорией Эйнштейна, как квантовая электродинамика с теорией Максвелла — Лоренца. Точнее говоря, нужна была бы единая квантовая теория поля.

Заметим, что при квантовании гравитационного поля непременно появится еще одна универсальная длина, равная $\sqrt{\frac{\hbar\gamma}{c^3}}$, или $1,6 \cdot 10^{-33}$ см. Она явно универсальнее гравитационного радиуса электрона, так как не содержит массы никакой конкретной частицы. Но в остальном задача применения квантовой теории к гравитационному полю встречает большие принципиальные трудности, если пытаться решать ее в точной постановке.

Приближенный подход приводит к появлению своих бесконечных выражений, причем не логарифмических, как в квантовой электродинамике, а простых, как в неквантовой теории. Пытаясь избавиться от одной, так сказать, традиционной бесконечности, мы наживаем ряд других, и пока не знаем, получается ли это в силу сделанных приближений, или возникло бы и в точной теории.

Приближенное квантование гравитационного поля приводит теорию к понятию гравитона, или кванта тяготения, подобно тому, как в электродинамике, если подвергнуть ее квантованию, появляются фотоны, или световые кванты. Поэтому против гравитонов, полученных таким формально корректным способом, теоретически ничего возразить нельзя.

Но между гравитонами и фотонами существует такая принципиальная разница. Кванты света непосредственно проявляют себя в области атомных явлений, об этом говорит вся совокупность опытов атомной и ядерной физики. В атоме гравитационные силы меньше электромагнитных по меньшей мере в 10^{40} раз. На столько электромагнитных квантов световой частоты мы вправе ожидать один гравитационный в излучении атома. Например, на всю Землю от Солнца приходит один гравитационный квант за 10 000 лет. Его энергия

составляет одну стомиллиардную долю эрга. Надо ли искать его?

Вот почему гравитоны применяются только ... при соискании ученых степеней. При этом силы расходуется на борьбу с бесконечностями квантовой теории гравитационного поля, т. е. с трудностями, которые ставит перед наукой не природа, а придумали сами ученые. Аналогично этому в медицине есть термин «ятрогенное заболевание», т. е. болезнь причиненная или внушенная больному врачом.

В тех задачах, где теория тяготения применяется реально, т. е. в астрономии и космологии, гравитоны, разумеется, не могут играть никакой роли. Так как лишь здесь встречаются физически реальные объекты теории, мы считаем ее принципиально законченной.

А теперь позволим себе немного помечтать.

Каждому физическому полю в квантовой теории отвечают какие-то элементарные частицы, даже с гравитацией, как только что было сказано, сопоставлены злосчастные папынки науки, гравитоны. Говоря о проблеме устойчивости электрона, мы заметили, что ее могло бы обеспечить некое дополнительное поле, но побоялись ввести его, чтобы не выйти за рамки электродинамики. Но нет ли его в самой электродинамике?

Если поле есть, ему непременно должны отвечать некие частицы, и маловероятно, чтобы опыт до сих пор не обнаружил их. Но ведь, помимо электронов, реально существуют чисто электромагнитные частицы — мю-мезоны! Если на время забыть об электронах и строить квантовую электродинамику мю-мезонов, то возникнут в точности такие же бесконечные выражения, как в нынешней теории, с одними электронами.

Хорошо было бы создать такую полную теорию, включающую частицы обоих сортов, где бы эти бесконечности взаимно погасались. Так как теории пока нет, будем надеяться, что из нее сами собой получатся фундаментальные для электродинамики числа 137 и 206.

Мало того, пусть и гипотеза, или, вернее сказать, прикидка чисел, из которой было сделано заключение о возможной роли гравитации, тоже имеет под собой физическую основу. Тогда постоянная тяготения, находящаяся под логарифмом в выражении для электромагнитной массы электрона, будет выражена через постоянную Планка и электромагнитные величины. Она, естественно, окажется в нужном соотношении с электромагнитными константами благодаря тому, что в показателе степени войдет большое число 137. Теория тяготения и электродинамика, которые не удалось сомкнуть в не-квантовой области, объединятся через квантовую теорию. Но все это пока лишь праздные фантазии!

Немного о слабых взаимодействиях

Наша беседа с читателем напоминает известный диалог, в котором одно и то же событие оценивается то как радостное, то как печальное в зависимости от привходящих обстоятельств, возникающих в рассказе одного из собеседников.

Предыдущая глава была окончена в сладких мечтаниях, а теперь вернемся к тому положению, какое сейчас есть в физике элементарных частиц. В прошлой главе много раз подчеркивалось, что электрон и мю-мезон не подвержены ядерным, то есть сильным взаимодействиям. Но зато они в полной мере испытывают слабые взаимодействия. Мю-мезон распадается на электрон с тем же зарядом и два нейтрино — это типичный образец слабого взаимодействия. При бета-распаде ядра из него вылетает электрон и нейтрино, опять-таки за счет слабых сил.

Название не должно вести к недооценке их. При тех энергиях, которые имеет электрон бета-распада, на самом деле действующие на него распадные силы в миллиарды раз меньше электромагнитных, но по крайней мере в 10^{30} раз больше гравитационных. Поэтому нельзя слишком уповать на то, что именно гравитацию и электромагнетизм удастся объединить в автономной единой теории, не привлекая слабых сил.

Уже говорилось, что взаимодействия этого класса ввел в физику Ферми. Он смело вошел первый в неизведанную страну, и перед ним, как сказочным богатырем, сразу открылось пять дорог, притом без всяких указателей. Надо было сделать выбор, и Ферми пошел по тому пути, на котором теория слабых взаимодействий больше всего напоминала электродинамику. Оказалось, что распределение бета-электронов по энергии, вытекающее из теории, с хорошим приближением получится одно и то же на всех пяти дорогах, т. е. в любом варианте.

Но в те времена других надежных методов опытного контроля не было. Поэтому коллеги Ферми, одержимые здоровым духом противоречия, стали предлагать иные варианты, которые по тем или иным причинам нравились им больше. Экспериментальные методы ядерной физики сильно усовершенствовались и позволили улавливать тонкие различия между разными вариантами. Каждый путь или закон взаимодействия характеризуется собственной силовой постоянной, аналогичной электрическому заряду в электродинамике.

Выбирая какие-то четыре из пяти зарядов равными нулю, в угоду своим научным склонностям или категорическим

утверждениям знакомого экспериментатора, теоретик пользовался одним вариантом слабого взаимодействия. Имея эклектический склад ума, теоретик мог поиграть несколькими слабыми зарядами сразу, подгоняя их соотношение под самые последние данные опыта. Но каждый раз получалось что-либо совсем другое, чем в предыдущий.

В таких случаях оказывается, что не известно что-нибудь очень кардинальное по существу вопроса. Так вышло и со слабыми взаимодействиями. Несмотря на то, что брались не такие варианты сил, как у Ферми, одна черта сознательно или бессознательно оставалась общей с электромагнитными силами: физическая неразличимость правого и левого.

Точнее говоря, законы электродинамики по смыслу не изменились бы, если бы вместо правила правой руки стали бы пользоваться правилом левой руки и наоборот. Пришлось бы только переопределить, что называется направлением магнитного поля: от северного полюса к южному мы считаем направлением магнитного поля в настоящее время. Но это чистая условность, вытекающая из географии, а не физики. Называя северный полюс — южным, а южный — северным мы ровно ничего не изменим в законах электродинамики.

Полагали, что это не свойство конкретного физического взаимодействия, а особенность пространства, в котором мы находимся. Разумеется, это было связано с забвением самого важного: что пространство не имеет никаких свойств, не относящихся так или иначе к свойствам материи.

В 1956 г. Ли и Янг, анализируя противоречивые данные о распаде K_0 -мезонов, пришли к выводу, что единственное объяснение может состоять в отказе от симметрии слабых взаимодействий относительно замены правого на левое. Отсюда они сделали существенный вывод, касающийся бета-распада. Его немедленно сумела подтвердить Ву.

Открытие Ли и Янга разрешило объединить такие варианты слабого взаимодействия, которые до них не решился бы выбрать вместе ни один теоретик, находящийся в здравом уме. В настоящее время можно полагать, что правильный вариант теории бета-распада найден, хотя трудно обосновать его иначе, как тем, что ему пока не противоречат никакие экспериментальные факты.

Достоинство современного варианта в том, что он содержит только одну константу слабого взаимодействия. В безразмерных единицах она в миллиард раз меньше, чем постоянная, входящая в электромагнетизм, то есть $1/137$.

Отсюда, казалось бы, следует, что термин «слабые взаимодействия» оправдан безоговорочно. На самом деле они ведут себя совершенно иначе, чем другие силы, наблюдаемые в природе. Электромагнитные и ядерные силы не только не растут, а скорее падают с энергией взаимодействующих ча-

стици (т. е. мало различаются при значениях энергии частиц того порядка, какой получается, например, при радиоактивном распаде и при энергии в 10 000 раз большей, достигаемой в современных ускорителях). «Слабые» силы растут примерно, как пятая степень энергии. Это проявляется, в частности, в следующем. Нейтрино, вылетающий из ядра при бета-распаде, способен пройти слой вещества, который в 10^{20} раз толще, чем слой, задерживающий электромагнитные гамма-кванты. Поэтому те нейтрино, которые образуются внутри звезд, где идут ядерные реакции, свободно вылетают наружу из любого глубинного слоя какой-угодно звезды. Чтобы в земных условиях заметить нейтрино от бета-распада, понадобился мощнейший источник — ядерный реактор и огромные экспериментальные усилия.

Но есть способ получать и значительно более энергичные нейтрино. В ускорителях, дающих частицы с энергией в несколько миллиардов электрон-вольт (1 электрон-вольт равен энергии, которую приобретает электрон, пройдя разность потенциалов в 1 вольт, т. е. $1,6 \cdot 10^{-12}$ эрга), в большом количестве получают очень быстрые пи-мезоны. Если они успевают на лету распасться на мю-мезоны и нейтрино, то последние вылетают из стремительно движущегося объекта. В результате они приобретают очень большую энергию относительно неподвижных предметов. Подобно этому, пуля, выпущенная вперед из самолета, достигшего сверхзвуковой скорости, летит быстрее по отношению к Земле, чем при стрельбе из покоящегося оружия. Выигрывая сотню в энергии нейтрино, мы усиливаем задерживающую способность вещества для него в $100^5 = 10^{10}$ раз. А при этом удается заметить действие нейтрино, и не прибегая к такому мощному источнику, как реактор: оказывается, достаточно ускорителя. Таким способом удалось доказать, что есть не один сорт нейтрино, а два: электронный и мю-мезонный.

Все это имеет очень большое значение для проблемы, которая нас интересует. Вполне возможно, что нет особых оснований помещать слабые взаимодействия по иерархии после ядерных и электромагнитных: существуют такие значения энергии, при которых «слабое» доминирует над всем. То, что мы пока не дошли до этих энергий в лабораторных опытах, не может служить аргументом. Быть может, только дойдя до них, наука получит необходимую экспериментальную информацию для построения единой теории всех взаимодействий, не поделенных искусственно на классы.

А теперь вернемся к нынешнему положению в теории слабых взаимодействий. Как уже говорилось, форма закона взаимодействия известна довольно надежно. Он связывает между собой четыре частицы, принимающие участие в превращении: например, протон, нейтрон, электрон и нейтрино,

или мю-мезон, два нейтрино и электрон и т. п. Чисто теоретически можно поставить вопрос: какой вклад в массу частицы дают слабые взаимодействия? Иначе говоря, не надо ли учитывать энергию поля «слабых» сил в полном балансе энергии частицы.

На первый взгляд кажется, что малость «заряда» таких взаимодействий приведет к тому, что их доля в общей энергии или массе очень мала. На самом деле, однако, эта энергия обращается в бесконечность не логарифмически, как электромагнитная, а гораздо быстрее. Поэтому ее вклад пока невозможно оценить строго.

Кроме того, можно поставить вопрос об электромагнитных поправках к слабому взаимодействию. Так как в них по сравнению с основной силой входит электромагнитная, интересующий нас эффект должен зависеть от обоих зарядов: электрического и слабого, тогда как тот основной эффект, к которому разыскивается поправка, включает только «слабый» заряд.

Переходя к величинам, не имеющим размерности, видим, что поправка содержит лишний множитель $1/137$ от электрического заряда. Но при этом маленьком коэффициенте, увы, стоит бесконечное выражение! Из-за этого нельзя даже утверждать, что поправка мала. На самом деле, экспериментально, она и действительно мала, но мы не умеем показать этого своими вычислениями.

Поэтому вполне возможно, что в природе оба класса взаимодействий очень тесно связаны. Слабое взаимодействие быстро возрастает с энергией, именно из-за этого оно и приводит к бесконечным выражениям. При некоторой энергии оно сравнивается с электромагнитным. В этой области энергий нельзя, возможно, рассматривать те и другие силы отдельно: необходимо объединить их в одном законе.

Признаком известной завершенности такой теории явится теоретический вывод соотношения между «слабым» и электрическим зарядом. Кроме того, входящие в современную теорию бесконечные выражения должны пропасть, точнее говоря, перестать стремиться к бесконечности, когда их удастся записать в точной теории.

По-видимому, никто еще пока не высказывал идеи о возможной форме такой единой теории. Но представляется гораздо более вероятным, что «слабое» взаимодействие гораздо теснее связано с электромагнетизмом, чем гравитация: как-никак, оно неизмеримо сильнее тяготения даже в самом невыгодном для себя случае.

В заключение надо сказать несколько слов о возможной роли нейтрино в космологической проблеме. Есть основание думать, что во Вселенной находится невероятное количество

нейтрино, испущенных в разное время при всевозможных ядерных и элементарных процессах.

Нейтрино свободно гуляют по космосу, пронизывая звезды. Но в то же время они увеличивают одним своим присутствием плотность материи во Вселенной, и не могут быть замечены чисто астрономическими методами. Могло бы оказаться, что за счет нейтрино материя имеет достаточную плотность, чтобы давать конечный объем мира. Но из всего этого не следует, что слабые взаимодействия как-то связываются через космологическую проблему с гравитацией. Если такая связь и существует, она должна лежать где-то в элементарных законах. В теорию тяготения Эйнштейна всякая материя входит одинаковым образом, независимо от ее формы.

Но так или иначе, число констант, входящих в элементарные законы, конечно. Следовательно, требуется вывести конечное число соотношений между ними, чтобы завершить теорию.

Сильные взаимодействия

Физика атомного ядра имеет обширные, в том числе и нежелательные, применения. В то же время она еще очень далека от той стройности и законченности, даже относительной, какую мы наблюдаем во всех других областях физики. Дело в том, что неизвестен закон ядерных взаимодействий в его элементарной форме, хотя бы так, как для слабых сил.

Атомное ядро долго изучалось путем воздействия на него частиц, излученных им самим или другими ядрами. Ускорители позволили повысить энергию частиц, постепенно дошли до энергий в 30 миллиардов электрон-вольт, в тысячи раз больших, чем можно получить у ядерных излучений.

Оказалось, что все сводится к одной проблеме: строению, или, точнее, свойствам элементарных частиц. Для ясности скажем сразу, что из их числа мы пока что исключаем ядерно неактивные электроны, мю-мезон, электромагнитный квант и нейтрино, так называемые лептоны, т. е. «легкие» частицы.

По неизвестным причинам все ядерно активные частицы имеют большую массу, чем самый тяжелый из лептонов — мю-мезон. Косвенно отсюда можно заключить, что более сильные взаимодействия отвечают большим энергиям поля, а значит, и большей массе, по закону Эйнштейна, но никакой степени убедительности такой вывод не обладает.

Список ядерно активных элементарных частиц очень быстро растет. Однажды он без всяких новых эксперименталь-

ных открытий увеличился в несколько раз, после того, как было принято более либеральное определение того, какую частицу считать элементарной. Были до этого многочисленные попытки объявить некоторые частицы истинно элементарными, а другие только составленными из них. Таких «кирпичей мироздания» брали обычно три, отчасти потому, что двух совсем недостаточно, а может быть, отчасти и следуя старой поговорке насчет троицы.

Поговорка, однако, устарела вместе с породившими ее предрассудками. Не удалось систематизировать известные элементарные частицы, полагая, что они как-то построены из других, более элементарных частиц.

В настоящее время говорят, что все ядерно активные частицы суть какие-то особые состояния поля сильных взаимодействий, способные самопроизвольно или под влиянием внешних воздействий взаимно превращаться. Из квантовой теории известно, что атом может находиться не в произвольном состоянии, а только в таком, которое принадлежит к некоторой дискретной последовательности.

Аналогичное положение допускается и для состояний ядерного поля. Но если у атома это следует из опыта и находит себе объяснение в теории, то у элементарных частиц заключение делается исключительно на основании опытных данных.

Далеко не каждое состояние атома может перейти в другое состояние без внешнего воздействия: для этого должны выполняться некоторые законы сохранения, как, например, закон сохранения энергии, момента импульса, а также некоторые положения такого же характера, объясняемые только в квантовой теории.

Опыт показывает, что и на элементарные частицы наложены ограничения подобного рода. Одно из них вытекает прямо из электродинамики: при всех превращениях точно сохраняется электрический заряд. Это вполне строгий закон природы.

Есть и менее строгие утверждения: существуют такие запреты на некий переход, которые обязательны для сильных взаимодействий, но нарушаются для слабых. Но тогда соответствующий переход происходит в 10^{12} раз медленнее. Поэтому вызывающее его взаимодействие и называется слабым. Если нет никакого запрета на переход, то соответствующая частица превращается за 10^{-22} сек. Но с точки зрения физики сильных взаимодействий она ничуть не хуже той, которой суждено жить 10^{-10} сек.

Сопоставляя долго- и короткоживущие частицы, удалось создать очень красивую систематику и определить те признаки, по которым можно судить о способности или неспо-

способности каждого известного состояния поля, или элементарной частицы, к превращению в другие частицы.

Разумеется, речь идет о чисто количественных признаках, а не о каких-то неопределенных приметах. Эти признаки формулируются в виде некоторой совокупности чисел, так называемых квантовых чисел данного состояния. По сравнению со всеми другими полями взаимодействия, характеристика состояния поля ядерных сил обладает наибольшей сложностью. Для нее требуется больше всего квантовых чисел. Уже отсюда видно, с какими сложностями сопряжено построение теории сильных взаимодействий.

Главное затруднение теории ядерных сил иногда излагают следующим упрощенным образом.

Считается, что сильные взаимодействия имеют свой специфический заряд, подобный электрическому у электромагнитных взаимодействий. Как неоднократно указывалось, «силу» электрического заряда измеряет отвлеченное число $1/137$, малое по сравнению с единицей. Так как ядерные силы по всем оценкам раз в 1000 больше электромагнитных, то соответствующий отвлеченный ядерный заряд не меньше 10, т. е. больше единицы.

Долгое время ученые верили, что им известны, или почти известны, точные уравнения теории ядерных сил, во многом похожие на уравнения квантовой электродинамики. Уравнения такого рода никто не умеет решать точно, всегда используется метод последовательных приближений. Первое приближение содержит $1/137$, второе — квадрат этого малого числа, третье — куб и т. д.

Таким образом, переходя от приближения к приближению, мы каждый раз повышаем точность ответа по крайней мере в сто раз, почему и можно пользоваться уравнениями квантовой электродинамики при вычислении наблюдаемых эффектов. Рискую впасть в тавтологию, скажем, что уравнения квантовой электродинамики хороши своей правильностью.

Если попытаться применить тот же метод последовательных приближений к уравнению теории сильных взаимодействий (полагая, что оно известно), то ошибка будет каждый раз увеличиваться в 10 раз. Вместо того чтобы стремиться к истине, расчеты будут со страшной быстротой удаляться от нее. Тем самым ответственность как бы перекладывается на математику.

Высказывают даже наивную надежду на прогресс быстродействующих счетных машин, с помощью которых будто бы удастся решить уравнения точно, а не методом последовательных приближений. На самом деле машина может считать только тогда, когда детально разработан метод вычисления, иначе говоря, найдено решение задачи в принципе.

Тогда машина берет на себя чисто автоматические операции. Найти метод решения без участия математика она никак не способна. И это даже в том случае, когда известно точное уравнение задачи.

Точную квантовую задачу о движении двух электронов в атоме гелия не может удовлетворительно решить ни одна из существующих машин и, вероятно, не сможет ни одна из тех, какие будут построены по нынешним принципам.

Пока что можно рассчитать только наименьшую возможную энергию атома гелия, и то лишь потому, что математикой детально разработан метод ее определения, не основанный на решении задачи во всей полноте.

То, что сейчас уже известно о ядерных взаимодействиях, показывает их огромную сложность по сравнению с электромагнитными. Трудно надеяться, что достаточными будут уравнения, построенные по образцу электродинамических. Сильные взаимодействия проявляют совершенно новые физические свойства, так что вряд ли помогут какие-то дополнительные члены в уравнениях. Должна быть изменена сама физическая сущность. Об этом свидетельствует очень сложная характеристика состояний ядерного поля, или, как тоже говорят, элементарных частиц. Не следует слишком настаивать на первом термине, как более научном: слишком мало пока известно, что за ним скрывается конкретно.

Те уравнения теории ядерных сил, которые предлагались до сих пор, и сейчас повсеместно оставленные, были основаны на прямой аналогии с электродинамикой. Считали, что есть только один подход к квантовой теории поля, именно тот, который успешно применялся в теории электромагнитного поля. Образно говоря, природе предписывали, какие законы она должна иметь, а то, что не укладывалось в воображение теоретиков, считалось невозможным.

Есть одна глубокая причина успехов квантовой механики и электродинамики: существует соответствующая правильная и проверенная неквантовая теория. О значении классической, т. е. неквантовой, теории для теории квантовой очень точно сказано в книге Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица «Квантовая механика» (М., Физматгиз, 1963, стр. 16): «...квантовая механика занимает очень своеобразное положение в ряду физических теорий — она содержит классическую механику как свой предельный случай, и в то же время нуждается в этом предельном случае для самого своего обоснования». То же самое можно сказать и о квантовой электродинамике: она построена из классической по тем же принципам.

Значит ли это, что вообще невозможно построить квантовую теорию взаимодействия, не опираясь ни на какие классические законы? Пример слабых взаимодействий по-

казывает, что это не так: гениальная интуиция Ферми позволила ему найти правильный подход к проблеме, исходя как раз из аналогии с квантовой электродинамикой. Но положение в теории ядерных сил, по всей вероятности, гораздо сложнее физически и близкой аналогии с другими взаимодействиями нет. Тогда интуиция не поможет. Никаких классических соответствий ядерные взаимодействия не допускают, и теоретику трудно за что-нибудь ухватиться при формулировке общих уравнений.

Предпринимаются попытки построить теорию сильных взаимодействий не по аналогии с электродинамикой, а только на основе отбора самых общих требований, которым в настоящее время считают необходимым удовлетворять всегда. Даже самое понятие силы отсутствует в таких построениях.

Если эти попытки будут иметь успех, то физика впервые придет к положительным результатам ценой одного только отказа от некоторых, ранее принятых допущений, без других, более сильных гипотез, относящихся к специфике изучаемого круга явлений. Можно заподозрить, что «стерильный» подход к теории ядерных сил действительно окажется бесплодным (оба слова равнозначны). Малое число исходных посылок — достоинство скорее математических построений, чем физической теории.

Когда же удастся построить строгую количественную теорию ядерных сил, или сильных взаимодействий, или того, что за ними кроется, и неудачно названо здесь силой взаимодействия? По мнению одного из ведущих теоретиков нашего времени, Ф. Дайсона (ему принадлежит наиболее последовательная теория устранения бесконечных выражений в квантовой электродинамике), это будет не ранее чем через сто лет. Иным пессимизм Дайсона кажется чрезмерным, но не имея самой теории, опровергнуть его нельзя. Что если мы, находясь во власти нынешних представлений о физике, так же не можем подойти к динамике ядерных сил, как древние — к обычной динамике, основываясь на физике Аристотеля? Прогресс науки не только вызывает гордость, но и учит скромности.

Не следует думать, что мы вообще ничего не знаем о ядерном поле. Мы знаем его примерно так, как должен знать анатомию художник, а хотели бы — как врач. Иначе говоря, внешняя сторона дела уже и теперь известна довольно хорошо. В частности, сформулированы те законы сохранения, которые контролируют превращения одних элементарных частиц в другие.

Изучая совокупность этих законов, управляющих сильными взаимодействиями, Гелл-Ман пришел к единой классификации элементарных частиц. История науки знает примеры весьма успешно проведенной систематизации: доста-

точно назвать периодический закон Д. И. Менделеева. Он был открыт более чем на полвека раньше, чем его удалось обосновать с помощью квантовой механики. Тем не менее Менделеев не только систематизировал химические свойства известных ему элементов, но и предсказал новые элементы вместе с их химическими свойствами.

Подобный успех пришелся на долю Гелл-Мановской системы элементарных частиц. Особенно поразило открытие предсказанной им частицы омега-гиперона. Гелл-Ман указал ее массу и важнейшую особенность распада: она превращается в другие частицы в три этапа, как говорят, тройным каскадом. По этому признаку ее и разыскали, причем масса тоже оказалась нужной величины.

Есть и другие, не менее удивительные результаты системы Гелл-Мана. Например, если сделать некоторые весьма простые и естественные предположения об относительной величине различных классов взаимодействий, объединяющих элементарные частицы, то удастся вывести соотношения между массами групп различных элементарных частиц.

Наиболее давно известна такая группа: протон и нейтрон, лямбда-гиперон, три сигма-гиперона (положительный, нейтральный¹ и отрицательный) и два кси-гиперона (отрицательный и нейтральный), а всего восемь частиц, или октет. Мы перечислили их по группам.

Внутри каждой подгруппы массы различаются незначительно, а подгруппы между собой — процентов на 10—15. Они перечислены по возрастающим массам. Гелл-Ман показал, что, зная три из значений массы, можно вывести формулу для четвертой, например из лямбда-, сигма- и кси-гиперонов определить массу протона или нейтрона, что с данной степенью точности безразлично. Согласие с опытом удивительно хорошее. Далее Гелл-Ман рассмотрел группу из 10 частиц, или декуплет. Экспериментально было известно тогда 9 из них. Предсказание относилось к 10-й, это и был упомянутый выше омега-гиперон.

Декуплет можно расположить треугольником: в основании лягут четыре частицы, или квартет, над ними — три (триплет), еще выше — две (дублет) и в вершине одна (синглет). Между четырьмя строками — равное расстояние, это было получено тем же способом, как соотношение между массами в октете. Синглет относится к омега-частице.

После первых больших успехов дело пошло медленнее. Поэтому теоретик Салам предложил изображать схему Гелл-Мана в виде пирамиды, стоящей на остром конце, оме-

¹ Его в свое время предсказал тоже Гелл-Ман на основе классификации слабых взаимодействий.

га-гипероне, что должно символизировать шаткость всего построения (см. обложку).

Впоследствии была предложена еще более общая классификация, объединяющая октет и декуплет. Здесь тоже были важнейшие результаты: в частности, удалось теоретически вычислить отношение магнитных моментов нейтрона и протона с удивительной точностью. К сожалению, вся эта теория с большими натяжками согласуется с требованиями теории относительности Эйнштейна: имеется в виду не теория гравитационного поля, называемая также общей теорией относительности, а частный принцип относительности (из него вытекает, например, соотношение между массой и энергией). Но для того, чтобы согласовать этот важнейший принцип с новой общей классификацией элементарных частиц, нужно ввести в некоторых вариантах теории более четырехсот независимых параметров! Ясно, что цена слишком велика по сравнению с любым частным результатом, как бы хорошо он ни согласовался с опытом.

Многие теоретики решили временно не обращать внимания на все эти трудности и брать от схемы то, что она дает легко. Тогда оказалось, что она допускает наглядную интерпретацию: все элементарные частицы можно рассматривать, как состоящие из трех совсем особых, действительно элементарных единиц.

В отличие от всего, что мы до сих пор знаем, эти новые, гипотетические частицы имеют дробный электрический заряд, равный одной и двум третям элементарного заряда. Они комбинируются всегда так, что результирующий заряд образования нулевой или целый, причем подобрать нужную триаду удастся во всех случаях.

Так получается потому, что наглядная интерпретация с помощью трех частиц с дробным зарядом отвечает некоторой математической схеме расположения действительно существующих частиц, которые называют «элементарными» почти по старой памяти.

Три гипотетические частицы получили насмешливое название кварков. Слово «кварк» по-немецки буквально означает творог, а в переносном смысле — чепуху. Этот второй смысл заимствовал в одном романе Дж. Джойс, и уже от него термин «кварк» попал к неунывающим теоретикам.

Насколько кварки заслужили свое название, пока сказать трудно. Ни на одном из имеющихся ускорителей получить их не удалось. Это можно было бы приписать недостаточной энергии ускоренных частиц. Но имеется еще один возможный источник кварков. Бывают в космических лучах частицы с энергией, в миллиард раз превосходящей ту, которая достигается в ускорителях. Если когда-либо в атмосфере образовался свободный кварк, он из-за своего дробного

заряда ни во что не мог превратиться и ни к чему присоединиться: дробное число в сумме с целым всегда дает дробное, т. е. опять кварк. Следовательно, такой кварк непременно валяется у нас под ногами, если он когда-либо вообще был. Но никто не сумел пока найти его.

Мы видим, что положение теории сильных взаимодействий оставляет желать лучшего, и во многих отношениях. Но отсюда все же не следует, что такую теорию никогда нельзя будет построить и достроить, а также объединить с теориями других взаимодействий. Так или иначе — число фундаментальных констант в теории конечного числа классов взаимодействий вряд ли окажется бесконечным, а значит, что и число безразмерных отношений между константами конечно. Неужели для того, чтобы найти все эти отношения, науке потребуется бесконечное время?

Разумеется, всегда могут возникнуть совсем неожиданные ситуации. Наука потому и развивается, что не все в ней заранее известно. В частности, она может в один прекрасный день в принципе исчерпать свой предмет. Но мы уже говорили, что физики и тогда не останутся без работы.

	Стр.
Почему полагают, что физическая наука никогда не может кончиться	3
Взаимодействия	6
Действие на расстоянии	11
О силе взаимодействия	19
Электричество и кванты	28
Немного о слабых взаимодействиях	35
Сильные взаимодействия	39

Александр Соломонович Компанеец
МОЖЕТ ЛИ ОКОНЧИТЬСЯ
ФИЗИЧЕСКАЯ НАУКА

Редактор И. Б. Файнбойм
Обложка Л. П. Ромасенко
Худож. редактор Е. Е. Соколов
Техн. редактор Л. А. Дороднова
Корректор Р. М. Коган

A12488. Сдано в набор 12/VII 1967 г. Подписано к печати 29/VIII 1967 г. Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,78. Тираж 74 000 экз. Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 2309. Типография изд-ва «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 9 коп.

ИДЕТ ПОДПИСКА

НА 1968 ГОД!

**Серия
научно-
популярных
брошюр**

«ФИЛОСОФИЯ»

Индекс 70065

Знакомит читателей с разработкой марксистско-ленинской теории, дает представление об основных направлениях современной философской науки, о новейшем развитии ее теоретических проблем. Значительное место в серии будет отведено общей методологии, теории познания, логике научного исследования.

В 1968 году выйдут 12 брошюр, в том числе: Федосеев П. Н., акад. **Марксизм и волюнтаризм.** Омеляновский М. Э., докт. философ. наук. **Ленин и философские проблемы современной физики.** Бовин А. Е. **Политика как социологическое явление.** Ядов В. А., канд. философ. наук. **О методах конкретного социологического исследования.** Введенцов М., канд. философ. наук и др. **Познавательное значение математических моделей.** Митрохин Л. Н., докт. философ. наук. **Социально-психологические корни антикоммунизма в США.**

Подписная цена на год — 1 руб. 08 коп. В каталоге «Союзпечати» серия помещена в разделе «Научно-популярные журналы» под рубрикой «Брошюры издательства «Знание».

Издательство «Знание».