

Что такое элементарная частица? *⁵⁶

Ответ на вопрос «Что такое элементарная частица?» должны дать, естественно, прежде всего эксперименты. Я поэтому первым делом кратко подытожу важнейшие итоги физики элементарных частиц за последние полвека и попытаюсь доказать, что если мы непредвзято рассмотрим данные экспериментов, то ответ на вышеназванный вопрос будет в основном уже получен и теоретику останется не так уж много прибавить от себя. Во второй части своего доклада я затрону также и философские проблемы, связанные с понятием элементарных частиц. Дело в том, что, по-моему, известные тупики теории элементарных частиц — заставляющие тратить много усилий на бесполезные поиски — обусловлены подчеркнутым нежеланием многих исследователей вдаваться в философию, тогда как в действительности эти люди бессознательно исходят из дурной философии и под влиянием ее предрассудков запутываются в неразумной постановке вопроса. Несколько утрируя, можно, пожалуй, сказать, что дурная философия исподволь губит хорошую физику. В заключение я поговорю об этих спорных попытках, сравнию их с аналогичными блужданиями в развитии квантовой механики, известной мне по личному опыту, и предложу некоторые свои соображения о том, как можно избегать подобных тупиков. Так что конец доклада снова окажется более оптимистичным.

Итак, сначала — экспериментальные данные. Менее полувека назад Дирак в своей теории электрона предсказал, что, помимо электрона, должны существовать соответствующие ему античастицы — позитроны; и через несколько лет К. Андерсен и П. Блэкет экспериментально подтвердили существование позитронов, их возникновение при образовании пар, а тем самым и существование так называемой антиматерии. Это было открытие величайшей важности.

* © Was ist ein Elementarteilchen? R. Piper und Co., Verlag, München 1977.

Ведь до того времени большей частью считалось, что имеются два вида фундаментальных частиц, электроны и протоны, отличающиеся от всех других тем, что они никогда не изменяются и что, следовательно, их число всегда постоянно, и по этой причине они и получили название элементарных частиц. Всю материю можно было считать состоящей в конечном счете из электронов и протонов. Экспериментальное доказательство образования пар — электронов и позитронов — показало ложность такого представления. Электроны могут возникать и снова исчезать; число их поэтому никоим образом не постоянно; они не элементарны в том смысле, какой раньше придавался этому слову.

Следующим важным шагом было открытие искусственной радиоактивности Ферми⁵⁷. Многочисленные опыты показали, что атомное ядро, излучая частицы, способно превращаться в другое атомное ядро, если того допускают законы сохранения энергии, орбитального момента, электрического заряда и т. д. Превращение энергии в материю, предсказанное уже Эйнштейновой теорией относительности, представляет собой, таким образом, очень часто наблюдаемый феномен. О постоянстве числа частиц тут нет и речи. Существуют, однако, физические свойства, характеризующиеся определенным квантовым числом — я имею в виду, скажем, орбитальный момент или электрический заряд, — причем квантовые числа могут принимать положительные и отрицательные значения и подчиняются закону сохранения энергии.

В 30-е годы было сделано еще одно важное экспериментальное открытие. Оказалось, что в космическом излучении встречаются частицы очень высоких энергий, которые при столкновении с другими частицами, например с протоном фотоэмulsionии, могут породить ливень из множества вторичных частиц. Некоторое время многие физики думали, что причиной подобных ливней могут быть лишь некие каскадные механизмы в атомном ядре; но позднее было выяснено, что предложенное теорией множественное образование вторичных частиц происходит в действительности также и при столкновении всего лишь двух высокоэнергетических частиц. В конце 40-х годов С. Пауэллом были открыты пионы, играющие главную роль в этих ливнях. Тем самым было установлено, что при столкновении частиц очень высоких энергий происходит превращение энергии в материю — важнейший, сплошь и рядом встречающийся процесс, вследствие чего уже явно не имеет никакого смысла говорить о делении исходных частиц.

Понятие «деление» под напором экспериментальных данных утратило свой смысл.

Это новое положение вещей снова и снова подтверждалось в ходе экспериментов 50-х и 60-х годов; было открыто много новых частиц, короткоживущих и долгоживущих, и на вопрос, из чего они состоят, уже нельзя было дать определенного ответа, потому что сам вопрос тем временем утратил смысл. Протон, например, может состоять из нейтрона и пиона, или из λ -гиперона и каона, или из двух нуклонов и одного антинуклона; всего проще было бы сказать, что протон состоит из материального континуума. Все эти высказывания одинаково истинны или одинаково ложны. Различие между элементарными и сложными частицами в принципе исчезло. В этом, пожалуй, важнейшее экспериментальное достижение последних 15 лет.

В ходе этих событий эксперименты все отчетливее подводили к одной важной аналогии: элементарные частицы есть нечто подобное стационарным состояниям атома или молекулы. Существует целый спектр частиц, подобно тому как существует спектр состояний, например атома железа или молекул; тут можно вспомнить о различных стационарных состояниях молекулы или о множестве различных химических молекул. В случае частиц можно говорить о спектре материи. Эксперименты на больших ускорителях в 60-е и 70-е годы показали, что эта аналогия распространяется на все известные нам до сих пор факты. Характеристикой как для стационарных состояний атомов, так и для частиц могут служить квантовые числа, то есть свойства симметрии и правила преобразования; возможность же превращений определяется соответствующими им — точными или приближенными — законами сохранения. Скажем, подобно тому, как преобразовательные свойства возбужденного атома водорода при пространственном вращении определяют, может ли он, испустив световой квант, перейти в более низкое состояние, аналогичные свойства симметрии определяют, может ли, например, φ -бозон, излучив один пион, превратиться в ρ -бозон. Как у стационарных состояний атома, так и у частиц продолжительность жизни очень различна. Основное состояние атома стабильно, он имеет бесконечную продолжительность жизни, и то же справедливо в отношении таких частиц, как электрон, протон, дейtron (Deuteron) и т. д. Эти стабильные частицы, однако, ничуть не более элементарны, чем нестабильные. Основное состояние атома водорода вытекает из того же уравнения Шрёдингера, из которого вы-

текают и возбужденные состояния. Электрон и световой квант тоже ничуть не элементарнее, чем, допустим, λ -гиперон.

Можно сказать, что экспериментальная физика частиц в ходе своего развития за последние годы выполняла те же функции, что спектроскопия в начале 20-х годов. Как тогда возникло большое собрание таблиц, так называемый справочник Пашен — Гётце, отражавший стационарные состояния всех атомных оболочек, так теперь существуют ежегодно уточняемые «Reviews of Particle Properties», где регистрируются стационарные состояния материи и их преобразовательные свойства. Работа по составлению столь объемных таблиц примерно соответствует так называемому прощупыванию неба у астрономов; и каждый наблюдатель, естественно, надеется, что он в своей сфере однажды найдет какой-нибудь очень интересный объект.

Но существуют и характерные различия между физикой атомной оболочки и физикой элементарных частиц. В атомной оболочке мы имеем дело со столь низкими энергиями, что можно пренебречь характерными чертами теории относительности и воспользоваться для описания нерелятивистской квантовой механикой. Это означает, что в физике оболочки, с одной стороны, и в физике частиц — с другой, определяющие группы симметрии могут быть различными. Галилеева группа в физике оболочки заменяется в физике частиц Лоренцовой группой; к ней в физике частиц прибавляются такие новые группы, как изоспиновая группа, которая изоморфна группе SU_2 , затем группа SU_3 , калибровочная группа и др. Выявление фундаментальных групп физики частиц — важная экспериментальная задача, и за прошедшее двадцатилетие она в значительной мере уже решена.

Физика атомных оболочек говорит нам, что именно среди групп, описывающих, по-видимому, лишь приближенные симметрии, различаются два принципиально несхожих типа. Возьмем, например, такие группы оптических спектров, как группу O_3 пространственных вращений и группу $O_3 \times O_3$, которая определяет мультиплетную структуру в спектрах. Основные уравнения квантовой механики строго инвариантны по отношению к группе пространственного вращения. Поэтому стационарные состояния атомов с высокими моментами импульса сильно вырождены, то есть имеется много состояний совершенно одинакового энергетического уровня. Лишь при помещении атома во внешнее электромагнитное поле стационарные состояния расщеп-

ляются и возникает известная, например, по эффекту Зеемана или Штарка тонкая структура. Это выражение может и не иметь места, если основное состояние системы не инвариантно при вращении, каковы, например, основные состояния кристалла или ферромагнита. В таком случае происходит расщепление энергетических уровней; два направления спина электрона в ферромагните уже не относятся в точности к одному и тому же энергетическому уровню. Кроме того, согласно известной теореме Голдстоуна, существуют бозоны, энергия которых при возрастании длины волны стремится к нулю; в случае ферромагнита им соответствуют спин-волны Блоха, или магноны.

Иное положение с группой $O_3 \times O_3$, из которой следуют известные мультиплеты оптического спектра. Тут имеет место приблизительная симметрия, возникающая благодаря тому, что в определенной области спин-орбитальные взаимодействия незначительны, и поэтому можно перевернуть относительно друг друга спины и орбиты электронов, мало что изменив в их взаимодействии. Симметрия $O_3 \times O_3$ есть поэтому следствие динамики системы, и ею можно приближенно пользоваться лишь в определенных частях спектра. Эмпирически два этих типа нарушения симметрии всего отчетливее различимы следующим образом: в фундаментальных симметриях, нарушенных основным состоянием, по теореме Голдстоуна, должны существовать бозоны с нулевой массой покоя, или дальнодействующие силы, и их обнаружение дает повод считать, что в данном случае вырождение основного состояния играет важную роль.

Если перенести эти наблюдения из физики атомных оболочек в физику частиц, то эксперименты дают хорошее основание интерпретировать Лоренцову группу и группу SU_2 , то есть изоспиновую группу, в качестве фундаментальных симметрий основополагающего закона природы. В таком случае электромагнетизм и гравитация оказываются дальнодействующими силами, зависящими от нарушения симметрии основного состояния. Более высокие группы SU_3 , SU_4 , SU_6 или $SU_2 \times SU_2$, $SU_3 \times SU_3$ и т. д. придется тогда считать динамическими симметриями, подобно группе $O_3 \times O_3$ в физике оболочки. Относительно расширенной, или калибровочной, группы допустимо сомневаться, следует ли причислить ее к числу фундаментальных симметрий; она нарушается существованием частиц с конечной массой и зависимостью гравитации от массы вещества во вселенной. Пожалуй, ее следует все-таки при-

числить к фундаментальным симметриям ввиду ее тесной связи с Лоренцовой группой. Намеченное выше разделение нарушения симметрии на два основных типа напрашивается, как я уже сказал, из экспериментальных данных, хотя пока, может быть, и рано говорить об окончательной фиксации этого разделения. Важно, главное, то, что группы симметрии, встречающиеся при наблюдении спектров, заставляют поднять и по возможности решить вопрос о том, к какому из двух основных типов они принадлежат.

Укажем еще на одну особенность физики атомных оболочек: в оптических спектрах существуют некомбинирующиеся или, вернее, слабо комбинирующиеся системы термов, как, например, спектр парагелия и ортогелия. В физике частиц с этой особенностью нужно, наверное, сравнивать распадение спектра фермионов на барионы и лептоны.

Аналогия между стационарными состояниями атома или молекул и частицами в физике элементарных частиц оказывается, таким образом, почти полной, и тем самым с качественной стороны я тоже уже дал, как мне кажется, полный ответ на исходный вопрос: «Что такое элементарная частица?» Но только с качественной! Перед теоретиком встает затем следующий вопрос, как подкрепить это понимание качественной стороны явлений количественными расчетами. Здесь нужно прежде всего разрешить предварительный вопрос: что это вообще значит — понять тот или иной спектр с качественной стороны?

И классическая физика, и квантовая механика дают нам ряд примеров такого понимания. Представим себе, например, спектр упругих колебаний стальной пластины. Если мы не хотим удовлетвориться качественным пониманием, то мы будем исходить из того, что стальная пластина характеризуется определенными свойствами упругости, поддающимися математическому представлению. Коль скоро это удалось, остается лишь добавить краевые условия, то есть указать дополнительно, имеет ли пластина круглую или квадратную форму, зажата она или нет, и отсюда по крайней мере в принципе можно рассчитать спектр упругих, или акустических, колебаний. Правда, степень сложности задачи едва ли позволит в точности рассчитать все колебания, но по крайней мере колебания низшей частоты с минимальным количеством пучностей вычислить удается.

Итак, для количественного понимания нужны два элемента: математически точно сформулированное знание

динамического поведения пластины и краевые условия, которые можно считать «контингентными», то есть определяющимися более конкретными обстоятельствами данного случая; в самом деле, стальная пластина могла бы быть вырезана и иначе. То же самое и с электродинамическими колебаниями полого резонатора. Уравнения Максвелла определяют его динамическое поведение, а форма пространственной полости задает краевые условия. Аналогичный случай, далее, — оптический спектр атома железа. Уравнение Шрёдингера для системы, состоящей из одного ядра и 26 электронов, определяет динамическое поведение системы; сюда добавляются еще краевые условия, говорящие в данном случае об обращении волновой функции в нуль на бесконечности. Если бы атом был заключен в тесной коробке, спектр получился бы несколько видоизмененным.

Если перенести все эти соображения на физику элементарных частиц, то и здесь дело будет прежде всего заключаться в экспериментальном выявлении и математическом описании динамических свойств системы материи. Затем нужно в качестве вышеупомянутого контингентного элемента задать краевые условия, которые в данном случае будут содержать главным образом утверждения о так называемом пустом пространстве, то есть о космосе и свойствах его симметрии. Так или иначе, прежде всего следует попытаться математически сформулировать закон природы, фиксирующий динамику материи. Вторым шагом следует определить краевые условия. Ведь без них невозможно даже знать, о каком спектре идет речь. Например, я вправе предполагать, что в «черной дыре», как ее понимает сегодняшняя астрофизика, спектр элементарных частиц будет выглядеть совсем иначе, чем у нас. К сожалению, эксперименты тут невозможны.

Теперь еще два слова о первом решающем шаге, а именно о формулировке динамического закона. Среди физиков, занимающихся частицами, есть пессимисты, думающие, что такого закона природы, который определял бы динамические свойства материи, вообще не существует. В подобном воззрении, честно признаться, я не вижу ровно никакого смысла. Ведь какая-то динамика у матери все-таки должна быть, иначе спектры не существовали бы; а значит, эта динамика должна поддаваться и математическому описанию. Пессимисты явно хотят сказать, что вся физика элементарных частиц кончится просто-напросто составлением гигантской таблицы максимально возмож-

го числа стационарных состояний материи, вероятностей перехода и т. д. — некоего «суперсвода свойств частиц», то есть набора данных, в которых уже нечего понимать и в который поэтому никто уже никогда не будет заглядывать. Однако для подобного пессимизма нет ни малейшего повода, и для меня особенно важно это подчеркнуть. Мы ведь в самом деле наблюдаем спектр частиц с четкими линиями; за ним, стало быть, стоит какая-то четко определенная динамика материи. Экспериментальные данные, вкратце описанные мною выше, содержат также и вполне определенные указания на фундаментальные инвариантные свойства основополагающего закона природы, а из дисперсионных соотношений мы знаем очень многое о том, в какой степени формулировка этого закона содержит определение причинности. Словом, существенные узлы закона природы уже у нас в руках, а после того, как столь многие другие спектры в физике поддались в конце концов тому или иному количественному осмыслению, то же самое, несмотря на высокую степень сложности, может произойти и здесь. Не стану сейчас — именно из-за этой сложности — обсуждать давно уже выдвинувшее мною вместе с Паули конкретное предложение, касающееся математической формулировки основополагающего закона и до сих пор, на мой взгляд, имеющее всего больше шансов оказаться правильным. Мне хотелось бы, однако, со всей ясностью подчеркнуть, что формулировка подобного закона является непременным условием для понимания спектра элементарных частиц. Все прочее не имеет ничего общего с пониманием и едва ли пойдет дальше разметки таблицы, чем мы, по крайней мере в качестве теоретиков, не можем довольствоваться.

Перейду теперь к философии, которой сознательно или неосознанно руководствуется физика элементарных частиц. Вот уже две с половиной тысячи лет философы и естествоиспытатели обсуждают вопрос о том, что произойдет, если попытаться делить материю все дальше и дальше. Каковы минимальные составные части материи? Разные философы давали на этот вопрос разноречивые ответы, каждый из которых оказал свое влияние на историю науки о природе. Самый известный ответ принадлежит философу Демокриту. При попытке делить вещество все дальше и дальше, утверждает он, мы в конечном счете натолкнемся на неделимые, неизменные объекты — атомы, и все вещества состоят из таких атомов. Взаиморасположение и движения атомов определяют качество вещества. У Ари-

стотеля и его средневековых продолжателей минимальная частица вещества понимается не в столь узком смысле. Здесь для каждого вида вещества, правда, есть свои наименьшие частицы — при дальнейшем делении эти частицы уже не будут обладать характерными свойствами данного вещества, — однако аристотелевские наименьшие частицы подвержены непрерывному изменению, подобно самим веществам. Таким образом, в математическом смысле вещество делимо до бесконечности; материя представляется континуумом.

В наиболее явную оппозицию Демокриту встал Платон. Пытаясь продолжать деление дальше и дальше, мы, по мнению Платона, в конце концов натолкнемся на математические формы: правильные стереометрические тела, определяемые своими свойствами симметрии, и треугольники, из которых их можно составить. Эти формы не сама по себе материя, но они формируют материю. В основе стихии Земли лежит форма куба, стихии огня — форма тетраэдра. Всем этим философам присущее стремление как-то преодолеть ту антиносию бесконечно малых величин, которую, как известно, подробно разбирал Кант⁵⁸.

Предпринимались и предпринимаются, естественно, и более наивные попытки рационализировать эту антиносию. Некоторые биологи, скажем, приходят к представлению о том, что в зернышке яблока содержится маленькая невидимая яблоня, она тоже цветет и плодоносит, в ее плодах опять-таки содержатся семена, в которых таится еще меньшая яблоня, и так далее до бесконечности. Аналогичным образом, когда появилась гипотеза Бора — Резерфорда об атоме как планетной системе в миниатюре, мы не без увлечения развивали тезис, согласно которому на планетах этой системы, то есть на электронах, тоже живут крошечные существа, строят дома, пашут поля и занимаются атомной физикой, в свою очередь приходят к теории атома как миниатюрной планетной системы и так далее до бесконечности. Здесь всякого подстерегает, как я уже сказал, Канторова антиносия, гласящая, что, с одной стороны, очень трудно представить себе материю бесконечно делимой, но, с другой, — не менее трудно и представить себе какой-то убедительный конец такому делению. Как мы теперь знаем, причина возникновения антиносии заключается в конечном счете в нашем ошибочном убеждении, будто мы вправе прилагать свои наглядные представления к тому, что происходит в мире предельно малых объектов. Атомистическое учение Демокрита, несомненно, оказалось

сильнейшее воздействие на физику и химию последнего столетия. Оно позволяет давать наглядное описание элементарных химических процессов. Атомы можно сравнивать с точечными массами ньютоновской механики, а подобное сравнение позволяет построить удивительную статистическую теорию теплоты. Атомы химиков, правда, отнюдь не были точечными массами, они были крошечными планетными системами с ядром, состоящим из протонов и нейтронов, но считалось, что электрон, протон и обнаруженный позднее нейtron все же являются в подлинном смысле атомами, то есть последними неделимыми строительными кирпичиками материи. Таким образом, за последние 100 лет демокритовская атомистика служила для физиков общей основной их материалистической картины мира; она легко поддавалась интерпретации, была до известной степени наглядной и определяла образ мысли даже тех физиков, которые не желали иметь ничего общего с философией. Здесь-то я и хотел бы обосновать свое критическое замечание о том, что в сегодняшней физике элементарных частиц дурная философия исподволь губит хорошую физику.

Нам неминуемо приходится пользоваться языком, коренящимся в традиционной философии. Мы спрашиваем: из чего состоит протон? Можно ли разделить электрон или он неделим? Прост или составлен квант света? И так далее. Но все эти вопросы поставлены неправильно, потому что слова «делить» и «состоит из» в значительной мере утратили свой смысл. Нам следовало бы, соответственно, приспособить наш язык и наше мышление, а значит, и нашу философию природы к этой новой ситуации, вытекающей из экспериментальных данных. К сожалению, это крайне трудно. И вот в физику элементарных частиц снова и снова просачиваются ложные вопросы и ложные представления, заводя ее в те туники, о которых я сейчас буду говорить. Сперва, однако, краткое замечание относительно требования наглядности.

Существовали философы, считавшие наглядность предпосылкой всякого подлинного понимания. Так, например, философ Г. Динглер здесь, в Мюнхене, выдвигал против теории относительности то соображение, что наглядная евклидова геометрия — это единственная верная геометрия, потому что мы исходим из нее при постройке наших измерительных аппаратов; и в этом Динглер, между прочим, совершенно прав⁵⁹. Поэтому, продолжает он, те экспериментальные реалии, которые лежат в основе теории

относительности, должны описываться с помощью евклидовой, а не с помощью отличающейся от нее римановой геометрии, ибо иначе мы запутаемся в противоречиях. Но подобное требование явно заходит слишком далеко. Для обоснования того, что мы делаем при экспериментах, достаточно, чтобы в пределах размеров наших аппаратов евклидова геометрия «работала» с достаточно хорошим приближением. Мы вынуждены поэтому примириться с тем, что наши эксперименты в области самых малых и самых крупных явлений уже не предоставляют нам никаких наглядных образов, и нам надо научиться выходить тут из положения, не опираясь на наглядность. Тогда перед нами откроются новые перспективы; мы поймем, например, что неразрешимая антиномия бесконечно малых частиц разрешается очень изящным образом, не приходившим в голову ни Канту, ни античным философам, — а именно за счет того, что слово «делить» утрачивает свой смысл.

Если постижения современной физики элементарных частиц сравнивать с какой-либо из философий прошлого, то речь может идти лишь о платоновской философии; в самом деле, частицы современной физики суть представления групп симметрии — этому нас учит квантовая теория, — и, стало быть, частицы аналогичны симметрическим телам платоновского учения.

Однако будем все-таки заниматься не философией, а физикой, и поэтому я хочу перейти теперь к тем направлениям в теоретической физике частиц, которые, на мой взгляд, исходят из ложной постановки вопроса. Прежде всего мы имеем тезис о том, что наблюдаемые частицы, как-то: протоны, пионы, гипероны и многие другие — состоят из меньших по величине, не наблюдавших частиц, кварков, или же из партонов, глюонов, очарованных частиц или других воображаемых частиц, как бы их ни называли. Вопрос был здесь явно поставлен так: «Из чего состоят протоны?» Люди при этом забыли, что слово «состоит» обладает сколько-нибудь отчетливым смыслом только тогда, когда соответствующую частицу удается с малой затратой энергии разложить на составные части, масса которых заведомо больше этой затраты энергии; иначе слово «состоит» не имеет смысла. Именно такова ситуация с протонами. Чтобы продемонстрировать подобное обессмысливание, казалось бы, вполне определенного слова, рискну рассказать вам одну историю, которую любил приводить в подобных случаях Нильс Бор. Ребенок входит в бакалей-

ную лавку с двухгрошовой монетой в руках и говорит продавцу, что хотел бы на два гроша конфетной смеси. Продавец протягивает ему две конфеты со словами: «А смесь из них ты можешь сделать сам». Понятие «состоит из» имеет в отношении протона ровно столько же смысла, сколько понятие «смешивать» в истории с маленьким покупателем.

Многие тут возразят: но ведь гипотеза о кварках возникла все-таки из экспериментальных данных, а именно из констатации эмпирической релевантности группы SU_3 , и, кроме того, она хорошо зарекомендовала себя при истолковании многих экспериментов также и за пределами применения группы SU_3 . Не стану спорить. Но мне хотелось бы привести в свою пользу пример из хорошо мне известной истории квантовой механики — пример, ясно показывающий слабость аргументации подобного рода. До теории Бора многие физики утверждали, что атом непременно должен состоять из гармонических осцилляторов; ведь оптический спектр содержит четкие линии, а они могут излучаться только гармоническими осцилляторами. Заряды в этих осцилляторах должны соответствовать иным значениям e/m , чем в случае электрона, а, кроме того, осцилляторов должно быть очень много, потому что в спектре имеется очень много линий.

Не обращая внимания на эту сложность, Вольдемар Фогт построил в Геттингене в 1912 году теорию аномального эффекта Зеемана для D-линий в оптическом спектре натрия, поступив следующим образом. Он взял два связанных осциллятора, которые при отсутствии внешнего магнитного поля воспроизводили частоты обеих D-линий. Ему удалось связать осцилляторы друг с другом и с внешним полем таким образом, что в слабых магнитных полях он получил без отклонений аномальный эффект Зеемана, а в очень сильных магнитных полях правильно воспроизводился также и эффект Пашена — Бака. Для промежуточной области средних полей частоты и интенсивности выражались длинными и сложными квадратными корнями — словом, получились прямо-таки необъятные формулы, очень точно соответствовавшие, однако, экспериментальным данным. Пятнадцатью годами позже мы с Йорданом взяли на себя труд просчитать ту же задачу методами квантовомеханической теории возмущений. К нашему величайшему изумлению мы получили в точности старые фогтовские формулы как для частот, так и для интенсивностей, причем также и в сложной области средних полей.

Впоследствии нам удалось вполне понять причину такого совпадения; все дело было в математической формулировке. Квантовомеханическая теория возмущений дает систему связанных линейных уравнений, частоты определяются из собственных значений системы. Система связанных гармонических осцилляторов в классической теории тоже дает аналогичную систему связанных линейных уравнений. Поскольку важнейшие параметры в теории Фогта были приведены в соответствие с экспериментальными данными, не было ничего удивительного в том, что получился правильный результат. Но для понимания строения атома теория Фогта ничего не дала.

Почему попытка Фогта оказалась, с одной стороны, столь успешной, а с другой — столь бесполезной? Потому, что Фогт рассматривал только D-линии, не принимая во внимание всего спектра линий. Ограничивааясь феноменологией, Фогт использовал один определенный аспект гипотезы осцилляторов и не учел или сознательно оставил в тумане все прочие несообразности этой модели. Иначе говоря, он просто не принял свою гипотезу по-настоящему всерьез. Боюсь, что и люди, выдвинувшие гипотезу о кварках, тоже сами не принимают ее всерьез. Вопросы о статистике夸арков, о сцепляющих их силах, о частицах, соответствующих этим силам, о том, почему кварки не обнаруживаются в качестве свободных частиц, об образовании пар кварков внутри элементарной частицы — все эти вопросы более или менее оставлены в тумане. Если уж подходить к夸арковой гипотезе по-настоящему всерьез, то следовало бы произвести точную математическую оценку динамики кварков и сцепляющих их сил, показав, что эта оценка по меньшей мере качественно способна правильно соответствовать многим установленным к настоящему времени чертам физики частиц. Не должно быть ни одного вопроса физики частиц, к которому было бы невозможно применить такой метод. Попытки в этом направлении мне неизвестны, и боюсь, что любая подобная попытка, описанная точным математическим языком, будет очень скоро опровергнута. Сформулирую свои возражения в форме вопроса: «В большей ли мере гипотеза кварков помогает понять спектр элементарных частиц, чем в свое время осцилляторная гипотеза Фогта помогала понять строение атомных оболочек? Не прячется ли за гипотезой о кварках все то же давно опровергнутое экспериментами представление, будто есть возможность отличить друг от друга простые и составные частицы?»

Вкратце коснусь еще нескольких частных вопросов. Если группа SU_3 имеет большое значение для структуры спектра частиц — а на основании экспериментов мы обязаны так считать, — то важно решить, идет ли тут речь о фундаментальной симметрии основополагающего закона природы или о динамической симметрии, заведомо имеющей лишь приблизительную приложимость. Если не дать здесь четкого ответа, то и все последующие допущения относительно динамики, лежащей в основе спектров, останутся шаткими, не давая никакой пищи для понимания. Высшие симметрии, например, SU_4 , SU_6 , SU_{12} , $SU_2 \times SU_2$ и т. д., можно с большой вероятностью считать динамическими симметриями, и они могут оказаться полезными при феноменологическом описании; но их эвристическую ценность, на мой взгляд, можно было бы сравнить с эвристической ценностью циклов и эпициклов в астрономии Птолемея. Они позволяют строить лишь очень косвенные догадки о структуре основополагающего закона природы⁶⁰.

В заключение пару слов о важнейших экспериментальных достижениях последних лет. Недавно открыты бозоны относительно большой массы порядка 3—4 ГэВ и с большой продолжительностью жизни. Наличия подобных стационарных состояний в принципе вполне следовало ожидать, как это подчеркивал в особенности Г.-П. Дюрр. Можно ли на основании той их особенности, что они имеют большую продолжительность жизни, считать их предположительно состоящими из других, уже известных долгоживущих частиц — это, естественно, трудный вопрос, затрагивающий всю сложнейшую динамику физики многих частиц. Но тем не менее мне показалась бы совершенно излишней спекуляцией попытка ввести *ad hoc* какие-то новые частицы, из которых должны якобы состоять названные объекты. Фактически это была бы все та же ложная постановка вопроса, ничего не дающая для понимания спектра.

Далее, аккумулирующие кольца женевского ускорителя и ускоритель «Батавия» позволили замерить все полные эффективные сечения для столкновений протонов с протонами при очень высоких энергиях. При этом оказалось, что эффективные сечения возрастают примерно пропорционально квадрату логарифма энергии — явление, давно уже теоретически предсказанное для асимптотической области. Эти данные, полученные также и при столкновении других частиц, позволяют предположить, что на больших ускорителях асимптотическая область уже до

стигнута, и поэтому там тоже не приходится ожидать никаких сенсаций.

Да и вообще во всех этих новых экспериментах не нужно уповать на появление Deus ex machina, который вдруг сделает понятным спектр частиц. Ведь эксперименты последних 50 лет уже дают вполне удовлетворительный с качественной стороны, непротиворечивый и окончательный ответ на вопрос: «Что такое элементарная частица?» А количественная сторона частных деталей — как, скажем, в квантовой химии — может проясниться лишь в ходе многолетней кропотливой работы физиков и математиков, но не вдруг.

Я вправе поэтому закончить свой доклад оптимистическим предвкушением будущих достижений физики элементарных частиц, которая, на мой взгляд, обещает сделать большие успехи. Новые экспериментальные данные всегда обладают большой ценностью, даже если вначале они лишь пополняют графы наших таблиц; но особенно интересны они тогда, когда отвечают на критические вопросы теории. В теории надлежит попытаться без всяких полуфилософских предрассудков построить точные гипотезы относительно основополагающей динамики материи. И нужно принять эти гипотезы всерьез, то есть не довольствоваться смутными догадками, когда главное плавает в тумане. Ибо спектр частиц удастся понять лишь тогда, когда станет известна лежащая в его основе динамика материи; в этой динамике вся суть дела. Все прочее останется лишь своего рода словесной иллюстрацией к своду таблиц, да и тогда таблицы будут более содержательными, чем такая словесная иллюстрация