

Беседа четвертая

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В беседе участвуют:

Профессор **Б. Г. Кузнецов**
Академик **И. Я. Померанчук**
Профессор **Я. А. Смородинский**
Академик **И. Е. Тамм**
Профессор **И. С. Шапиро**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва — 1964

В этой брошюре помещены выступления ведущих советских ученых — участников четвертой беседы по актуальным вопросам науки, состоявшейся в марте 1964 года в Центральной лектории Всесоюзного общества «Знание».

Предыдущие беседы проводились на темы: «Строение вещества», «Энергетика будущего» и «Рождение и эволюция галактик и звезд». Материалы этих бесед также вышли в виде сборников в IX серии брошюр издательства «Знание».

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Б. Г. Кузнецов.</i> Что такое элементарные частицы	3
<i>И. Я. Померанчук.</i> Взаимодействия элементарных частиц	6
<i>Я. А. Смородинский.</i> Частицы, предсказанные теорией	11
<i>И. С. Шапиро.</i> Законы сохранения в физике элементарных частиц.	16
<i>И. Е. Тамм.</i> О фундаментальных проблемах современной физической теории	19

Составитель *А. Г. Чернов*
Редактор *И. Б. Файнбойм*
Техн. редактор *М. Т. Перегудова*
Корректор *Н. Д. Мелешкина*

Сдано в набор 17.VIII 1964 г. Подп. к печати 30 IX 1964 г. Изд. № 114.
Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 0,75. Печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,45.
Т 12281. Цена 4 коп. Тираж 38 400 экз. Заказ 2843.
Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Что такое элементарные частицы

Можно ли говорить о теории элементарных частиц, существует ли она? Мы знаем несколько десятков элементарных частиц; их классифицируют по массе покоя, делят на легкие частицы, лептоны, с нулевой или незначительной массой, на средние частицы, или мезоны, и тяжелые частицы — барионы. Мы знаем о взаимодействиях частиц — гравитационных, слабых, электромагнитных и сильных взаимодействиях, но не можем объединить эти сведения в единую картину.

Если рассматривать взаимодействие частицы с ее излучением, то можно прийти к бесконечным значениям собственной энергии частицы. Чтобы избавиться от такого физически абсурдного вывода, прибегают к различным приемам, не вытекающим из физически содержательных общих идей. Они выдвигаются «в кредит», в расчете на будущую теорию, которая их подтвердит, быть может, приняв в качестве отправного пункта дискретное пространство — время. Но нам неясно, как она будет согласована с теорией относительности и придет ли к выводу о релятивистской причинности исходя из ультрамикроскопических соотношений.

Сомнения вызывает и само понятие «элементарные» применительно к частицам. Что имеется в виду, когда говорят, что такая-то частица — элементарная? Имеет ли вообще смысл разделение частиц на элементарные и неэлементарные?

Гейзенберг в одной из своих статей подчеркивает противоречивость критерия элементарности. Иногда говорят, что для элементарной частицы вводится своя волновая функция и в этом состоит критерий элементарности. Встречается другой критерий: для элементарной частицы характерны значения заряда и спина, не превышающие определенных величин. Но для таких критериев нет никакой общей основы, они по существу произвольны. Они лишены того естественного характера, который Эйнштейн называл «внутренним совершенством» физической теории. Гейзенберг отвергает такие критерии, как стабильность (нестабильный дейтрон, состоящий из протона и нейтрона, лишен титула элементарности, а нестабильный нейтрон обладает таким титулом). Частицы оказываются элементарными или неэлементарными в зависимости от энергии: при одних энергиях частица стабильна, при других она распадается.

Гейзенберг пользуется некоторым определенным критерием элементарности и показывает, что этот критерий неприменим к тем данным о частицах и их взаимодействиях, которыми мы сейчас располагаем.

Однако возможна иная точка зрения. Можно перейти от критерия элементарности, неприменимого к известным сейчас частицам, к другому, новому критерию. Это равносильно дальнейшему, еще более радикальному переходу от классической картины мира, господствовавшей в течение столетий, к новой картине. В самом деле, каждая картина мира отличается от других критерием элементарности. Начиная с V века до н. э. и кончая XX веком, существовало представление о бесструктурных неизменных элементах, которые движутся с различной скоростью, создают ансамбли переменной конфигурации, и именно эти изменения — движения частиц (их можно проследить от точки к точке и от мгновения к мгновению) лежат в основе всех процессов природы. С такой точки зрения, бесструктурная частица есть неизменная частица, всякое изменение — это изменение структуры.

Теперь представим себе, что и бесструктурные элементы могут изменяться. Значит, изменение в природе не сводится к изменению структуры, к разделению, соединению, вообще перемещению дискретных частей вещества. Такая точка зрения становится все более неизбежной. Начиная с 30-х годов, после позитронной теории Дирака, понятие трансмутации, несводимой к изменению структуры, становится все более важным понятием физики. Частицы аннигилируют, рождаются, частицы одного типа превращаются в частицы другого типа, и маловероятно, чтобы распад частиц был когда-либо объяснен по аналогии с распадом молекул и атомов.

Если такой неструктурный распад окажется исходным, то что считать наиболее элементарным процессом? Что, если движение тождественной себе частицы — макроскопический результат трансмутаций? Что, если субъекты трансмутаций — неструктурных распадов и порождений — это и есть элементы и такой распад служит основой понятия элементарности?

Физика еще не может ответить на эти вопросы. Но поставить их можно, хотя бы потому, что они ставились издавна. Если рассматривать науку исторически, то многие идеи, кажущиеся безумными, представляются совсем в ином свете.

В V веке до н. э. Демокрит говорил, что все изменения в природе сводятся к перегруппировке бесструктурных и неизменных атомов. Движение тождественных себе элементов — единственное реальное изменение в природе. Но у Аристотеля наряду с движением тождественного себе объекта (*форà*), были и другие формы движения, в том числе субстанциальные — уничтожение (*фторà*) и возникновение (*генезис*). Позднейшее поколение атомистов, Эпикур и его ученики, соединили идеи Демокрита с идеей трансмутаций. Во II веке н. э. Александр Афродизийский писал об эпикурейцах, сторонниках дискретности пространства, времени и движения: «Утверждая, что и величина, и движение, и время состоят из недели-

мых частиц, они утверждают также, что движущееся тело движется на всем протяжении величины, состоящей из неделимых частиц, а на каждой из входящей в нее неделимых частиц движения нет».

А что же есть? Аннигиляция в одной точке и регенерация — в другой, отделенной от исходной минимальным, далее неделимым расстоянием. Движение в смысле *фора* есть результат *фторà*-процессов — трансмутаций и регенераций частицы. В этом случае все тела изменяются или исчезают при перегруппировке бесструктурных частиц, а самые частицы изменяются актами трансмутации, не связанной с существованием структурных субчастиц. В этом — критерий их элементарности.

Назовем классический, механический критерий элементарности (частица бесструктурна и поэтому стабильна) *форà*-критерием, а новый (на самом деле очень старый) критерий (частица не имеет структуры, но нестабильна, претерпевает элементарные, не сводимые к механическому распаду трансмутации) *фторà*-критерием. В случае гравитационных взаимодействий элементарность частицы определяется целиком ее стабильностью. Здесь применим механический *форà*-критерий. Гравитационные взаимодействия не приводят к трансмутациям, к *фторà*-эффектам, к распадам и образованиям частиц. Если бы в природе существовали только гравитационные взаимодействия, мы могли бы обойтись классическим разграничением: элементарные частицы стабильны, неэлементарные ансамбли могут распадаться в классическом смысле, т. е. находившиеся в их составе части могут разбрестись в пространстве. В случае электромагнитных взаимодействий, при больших энергиях становится отчасти необходимым *фторà*-критерий. Для сильных взаимодействий трансмутационный *фторà*-критерий имеет основное значение.

Очень соблазнительна мысль о мировой линии стабильной, тождественной себе частицы, как о серии регенераций. Тогда к очень коротким, минимальным срокам (порядка 10^{-24} сек. а может быть, на много порядков меньше) и к очень коротким, минимальным расстояниям (порядка 10^{-13} см или значительно меньшим) применим только трансмутационный критерий элементарности. Частица, движущаяся в течение срока, большего, чем 10^{-24} сек, и соответственно на расстоянии, больше, чем 10^{-13} см, будет уже не элементарной частицей, а ансамблем (временным ансамблем!) элементарных частиц с минимальными, элементарными сроками жизни.

Но все это лишь догадки. Они лишены связи с действительными данными, с результатами эксперимента, они лишены эйнштейновского «внешнего оправдания». Развитие теории элементарных частиц может пойти и в другом направлении. Будут найдены субчастицы; распады и образования частиц найдут объяснение в чисто структурных перегруппировках.

Исторические реминисценции никогда не могут обосновать однозначную физическую теорию. Самое большее, что может дать история науки, это расширить спектр возможных, логически допустимых, мыслимых путей науки. Однозначный выбор — результат накопления положительных знаний о том, что называют частицами. Такое накопление, быть может, приведет к решению проблемы элементарности. Поэтому мы оставим сейчас абстрактные предположения и реминисценции и перейдем к фактическим результатам. Только из них может выйти общая теория элементарных частиц, однозначная и стройная, соединяющая «внутреннее совершенство» с «внешним оправданием». Критерий элементарности, обладающий подобными атрибутами, будет частью такой теории, без нее он не может быть сформулирован.

Когда же появится однозначная и непротиворечивая теория элементарных частиц? Кто ее выскажет? Создатель единой теории, быть может, только готовится к поступлению в школу. Но может быть, он уже оканчивает университет, может быть, он находится в этом зале, может быть, сидит за этим столом, и мы совсем скоро — через полчаса или час — услышим в одной из реплик этой беседы о существенном шаге на пути к новой теории. Даже самая небольшая вероятность последнего предположения заставляет меня поскорее передать слово другим участникам беседы.

Академик И. Я. Померанчук

Взаимодействия элементарных частиц

Когда мы говорим о взаимодействии элементарных частиц, то имеем в виду, что все известные их взаимодействия можно разделить на три класса: на слабые, электромагнитные и сильные.

Электромагнитные взаимодействия — наиболее изученный тип взаимодействий; они проявляются, в частности, в том, что у многих элементарных частиц имеются электрические заряды. Элементарным свойством этих взаимодействий, но, разумеется, не единственным и, может быть, не самым интересным, служит тот факт, что в некотором смысле они не сильные.

Рассмотрим, что станет с пучком быстрых электронов, проходящим через вещество со скоростями порядка скорости света и обладающим энергией в несколько миллионов вольт. Сталкиваясь с атомными ядрами, такие электроны будут упруго рассеиваться. Они могут испускать электромагнитные излучения. Это может быть очень мягкое излучение — види-

мый свет. Если происходит испускание жестких электромагнитных квантов, это будет излучение типа рентгеновского.

Оказывается, что на 100—150 случаев упругого рассеивания электронов без испускания кванта приходится один, когда испускается квант. Бывают случаи, когда электроны, сталкиваясь с ядром, испускают одновременно два кванта, но вероятность этого в 100—150 раз меньше вероятности испускания одного кванта и в 100—150 раз в квадрате меньше, чем вероятность упругого рассеяния.

Тот факт, что почти всегда происходит упругое рассеяние и только в одном проценте случаев — испускание одного кванта, как раз и показывает, что электромагнитные взаимодействия не являются очень сильными. Сила электромагнитного взаимодействия определяется замечательной постоянной — тонкой структурой, которая выражается следующим образом:

$$\frac{e^2}{hc} \cong \frac{1}{137}.$$

Здесь величина элементарного заряда, выраженная в естественных единицах, мала, порядка одной сотой.

Это обстоятельство влечет за собой важные теоретические и практические следствия. Оказывается, что для вычисления различного рода электромагнитных процессов можно применять теорию возмущения, т. е. считать взаимодействие заряда с электромагнитным полем слабым. Это не значит, что во всех случаях теория возмущения хороша. Некоторые величины, связанные с определением, например, электромагнитной массы электронов, мы вычислить не можем потому, что в этом случае малая величина $\frac{e^2}{hc}$ умножается на математически и физически бессмысленные расходящиеся интегралы.

Однако если не ставить вопрос об определении массы электронов (не потому, что этот вопрос не важен и не интересен, а потому, что он пока еще недоступен), а говорить о других вопросах, например об определении вероятности испускания квантов или упругого рассеяния, или величины магнитного момента (считая заряд и массу заданной), то квантовая теория дает ответ на все вопросы с точностью, которая, если подходить практически, заведомо превосходит возможности современных экспериментов. Однако было бы неосторожно считать, что теория на этом основании правильна. Может быть, она и неправильна. Хочу только заметить, что во всех случаях, когда квантовая электродинамика подвергалась проверке, она оказывалась верной. Мы можем сказать, что когда расстояния между взаимодействующими зарядами порядка 10^{-14} см и соответственно времени, равному этому расстоянию, деленному на скорость света, квантовая электродинамика полностью описывает эксперимент и не может дать ответа только

на вопросы типа определения массы электрона, т. е. почему заряд равен $\sqrt{1/137}$.

Слабое взаимодействие еще слабее электромагнитного, оно проявляется в таких процессах, в которых происходит распад различных элементарных частиц. Слабые взаимодействия при небольших энергиях примерно в 10^{-10} — 10^{-12} раз меньше, чем электромагнитные. Хотя они очень слабые, тем не менее их практическая и принципиальная роль отнюдь не соответствует величине 10^{-10} ; они обнаруживают замечательные свойства. Например, при этих взаимодействиях не сохраняются такие величины, как четность. Им присуща удивительная универсальность. В случае электромагнитных взаимодействий мы не понимаем, почему все заряды одинаковы, почему они равны по абсолютному значению $4,8 \cdot 10^{-10}$.

Совсем недавно вышла работа одного крупного физика-теоретика Гелл-Манна и независимо от нее молодого ученого из Швейцарии Швайга, который предполагает возможность существования в природе частиц с дробным зарядом $1/3$ или $2/3$. Независимо от того, есть ли такие дробные заряды или нет, возникает вопрос: почему все известные нам заряды одинаковы? Равенство зарядов обнаруживается и в слабых взаимодействиях. То, что можно назвать слабым зарядом, в некоторых условиях оказывается универсальным.

Перейдем к сильным взаимодействиям. В первую очередь это взаимодействия, которые удерживают протоны и нейтроны в ядрах. Они ответственны за ядерную энергию.

Если рассматривать столкновение быстрого протона со скоростью порядка скорости света с протоном, что будет соответствовать энергии протона не порядка полумиллиона вольт, как у электрона, а миллиарду вольт, то обнаружится, что испускание других частиц, эквивалентных квантам в случае электронов, будет происходить почти в каждом акте соударения. Роль этих квантов играют элементарные частицы, которые называют мезонами, π -мезонами, K -мезонами и т. д. Никакие методы теории возмущения, с блестящим успехом используемые в электродинамике, здесь не годятся. Естественно поэтому, что физика сильных взаимодействий нам пока понятна значительно меньше, чем электродинамика.

Я хотел бы остановиться на некоторых попытках описания сильных взаимодействий. Заранее должен сказать, что эти попытки находятся в самом младенческом состоянии.

Для того чтобы количественно описывать сильные взаимодействия, иметь возможность вычислить вероятности различных процессов, сечение рождения частиц, нужны методы, которые не используют представления о малости; это должны быть методы, пригодные к сильным взаимодействиям.

Очень давно, примерно с 1925 года, в оптике были известны соотношения между преломлением света и его поглощением,

так называемые дисперсные соотношения, где мы имеем дело с двумя явлениями. Одно — преломление света: свет, переходя из одной среды в другую, меняет свое направление. Скорость света в различных средах различна и отличается от скорости его в вакууме; это и приводит к преломлению света. Другое явление — поглощение света, проходящего через вещество, его ослабление. Эти два явления связаны друг с другом дисперсными отношениями.

Физика дисперсных отношений заключается в том, что распространение света в среде характеризуется диэлектрической постоянной ϵ , показывающей связь между электрической индукцией D и напряжением электрического поля E .

$$D = \epsilon E.$$

Эта диэлектрическая постоянная, вообще говоря, зависит от частоты света. Для света, медленно меняющегося (почти статическое поле), мы получаем статический предел диэлектрической постоянной.

Если пропускать через среду быстро меняющееся электрическое поле, то ϵ среды будет иной, а именно функцией частоты ω .

Таким образом, это соотношение можно написать так:

$$D(\omega) = \epsilon(\omega) E(\omega).$$

ϵ — комплексная величина:

$$\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''.$$

Итак, преломление света определяется вещественной частью, а поглощение — мнимой. Если мнимая часть равна нулю, то поглощения нет; в этом случае среда прозрачна. Оказывается, эти две части ϵ связаны друг с другом. Каким образом можно установить эту связь? Из принципа причинности. Я имею в виду, что электрическая индукция пропорциональна электрическому полю, причем индукция в данный момент времени определяется электрическим полем в предшествующие моменты и не зависит от того, что произойдет в будущем. Будущее не влияет на настоящее. Если это записать при помощи элементарных выкладок, то окажется возможным установить для этой функции следующее важное соотношение:

$$\epsilon(\omega) = \int_{-\infty}^0 \kappa(x) e^{-i\omega x} dx.$$

Эта диэлектрическая постоянная не простая функция, а аналитическая функция комплексной переменной ω . Такие функции в некотором отношении «живые существа», у них имеется очень много чрезвычайно важных свойств. В некоторых областях изменения ω функция ϵ/ω не может иметь свои особенности. Это дает возможность установить некоторое,

весьма своеобразное интегральное соотношение между вещественной и мнимой частью. Соотношение имеет вид примерно такого типа:

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{i}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon'(\omega') d\omega'}{\omega' - \omega}.$$

Каков его смысл? Если производить измерение поглощения света в среде (слабо поглощающей), то по этой формуле можно вычислить ε' , т. е. преломление света в данной среде. Вот практический результат. Приведенное соотношение рассматривалось физиками как важное, но вспомогательное соотношение. Оно годится и в случае сильного взаимодействия.

Когда возник вопрос о разработке методов описания сильных взаимодействий без использования теории возмущения, вспомнили о таких соотношениях. Если среда это газ, то явление преломления и явление поглощения возникают в результате суммирования эффектов взаимодействия света с каждым отдельно взятым атомом. Можно считать, что атомы в газе друг с другом не взаимодействуют. Соотношение между преломлением и поглощением можно превратить в соотношение между процессом рассеяния и процессом поглощения света атомом. Это попытка описать взаимодействие элементарных частиц друг с другом. Свет представляет собой поток квантов. Речь идет о взаимодействии квантов с электронами, входящими в атомы.

В последние годы в этой области проводятся довольно интенсивные исследования. Трудностей много, но на этом пути появляются возможности получить количественные соотношения.

Физику этой области составляют общие принципы причинности и принципы сохранения вероятности. Все они должны быть объединены с требованиями теории относительности и различными симметриями, имеющимися у элементарных частиц. Оказывается, что комбинирование этих общих принципов приводит к очень громоздким и пока еще необозримым соотношениям, судьба которых нам абсолютно не ясна. Не исключена возможность, что эти соотношения в своей совокупности не образуют полную теорию, а если основные принципы правильны (принцип причинности или принцип закона сохранения вероятности), то в этом случае соотношения будут важными, но вспомогательными, как это было в оптике и квантовой механике. Однако, может быть, эти соотношения содержат в себе зерно принципиально новых уравнений движения, таких уравнений, в которых вообще не будут фигурировать точные пространственно-временные координаты.

В заключение я хотел бы сказать о понятии элементарности частиц. Дело в том, что в самое последнее время удалось

сформулировать некоторый критерий, позволяющий установить существование принципиальной разницы между свойствами элементарных частиц и свойствами связанных состояний.

Связанные состояния обладают определенными аналитическими свойствами как функции орбитального момента количества движения. Они имеют своеобразный смысл при любом комплексном значении момента количества движения.

Являются ли элементарные частицы такими же функциями, как связанные состояния? Если бы их функциональные зависимости оказались такого же типа, то мы могли бы сказать, что эти элементарные частицы столь же элементарны, как, например, атом водорода.

На вопрос о различии или сходстве элементарных частиц и сложных систем можно получить ответ даже сейчас, когда мы не имеем теории, именно путем изучения некоторых экспериментов, касающихся рассеяния π - и K -мезонов больших энергий на углы, близкие к 180 градусам.

Профессор Я. А. Смородинский

Частицы, предсказанные теорией

Теория верна, если она объясняет результаты опыта. Но теория проявляет свою наибольшую силу тогда, когда она предвосхищает открытия. В истории физики элементарных частиц было много примеров того, как общие теоретические принципы приводили к предсказаниям фундаментальной важности. Эти примеры тем более поучительны, что истинный смысл законов, составляющих основы теории, порой оставался туманным; иногда он выяснялся лишь спустя много времени. То, что в астрономии случилось однажды, при открытии планеты Уран, в физике происходило много раз.

Первой предсказанной элементарной частицей было нейтрино. Существование ее основывалось на убеждении, что общие законы физики должны выполняться и в микромире, в частности и законы сохранения энергии и импульса. Когда было обнаружено, что в бета-распаде энергия куда-то пропадает, Паули в 1930 году сказал, что это может происходить только в том случае, если вылетает какая-то частица, которая настолько слабо взаимодействует с веществом (она не заряжена и не имеет массы), что ее почти нельзя заметить. Паули назвал эту частицу нейтроном, потом она стала называться нейтрино. Физики давно уже научились регистрировать нейтрино и изучать его свойства. В 1963 году нейтрино считалось одной из самых изученных (если не сказать, полностью изученных) частиц. Физики знали два вида нейтрино. Одни — с симметрией левого винта, спин которых направлен против импульса: их называли нейтрино. Другие имели спин, направ-

ленный по импульсу, т. е. симметрию правого винта; их назвали антинейтрино. Сейчас уже известны четыре вида нейтрино. Они сопровождают позитронный и электронный бета-распад и распад плюс пиона π^+ и минус пиона π^- . Эти четыре нейтрино помогают соблюдению закона сохранения импульса в процессах бета-распада ядер и мезонов. Два из них всегда сопутствуют положительному и отрицательному мюону, два других — электрону и позитрону.

Физики недоумевают, чем отличается, например, мюонный нейтрино от электронного. Оба они вертятся как левый винт, у обоих нет массы — каким же образом они сохраняют информацию о своем рождении? А они ее, несомненно, хранят.

Слишком большая симметрия в этом случае мешает понять, в чем тут дело.

Следующая история произошла с участием другого теоретика Дирака, который впервые нашел уравнение для электрона, движущегося со скоростью, сравнимой со скоростью света. К удивлению, Дирак обнаружил, что, кроме нужных решений уравнений с положительной энергией, существует еще и решение с отрицательной энергией. Дирак понял, что речь идет не об отрицательной энергии электрона, а о частице с положительной энергией и с положительным зарядом. Кстати, еще Эйнштейн, до открытия теории относительности (а также Паули) указывал на то, что в любой теории всегда вместе с частицами одного знака заряда обязаны существовать частицы другого знака заряда. Это очень тонкое следствие специальной теории относительности, которое имеет силу общего закона природы.

Дирак сначала предположил, что речь идет о протоне, который имеет другую массу, но Паули довольно быстро увидел, что в теории речь идет не о приблизительной симметрии, а о точной, и что для каждой отрицательной частицы должна быть точно такая же положительная. Это обязательно даже для нейтральных частиц. Так, сейчас известен, например, антинейтрон, который отличается от нейтрона другим знаком магнитного момента.

Таким образом, было предсказано существование позитрона и открыт новый закон нашего века, закон зарядовой симметрии. Теперь никто не сомневается в его существовании.

Напомню, что несколько лет назад постепенно назревала паника, когда никак не могли найти антипротон. Эта паника длилась около полугода, пока в Беркли (США) был открыт антипротон. За ним был открыт антинейтрон, и больше сомнений в справедливости нового закона сохранения не возникало. Это второй случай открытия новой частицы вместе с новым четко сформулированным законом.

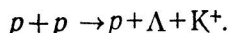
Несколько лет назад был обнаружен удивительный факт, что некоторые частицы рождаются только в паре с другими.

Происходит коллективное рождение частиц. Частицы, не желающие рождаться в одиночестве, — это тяжелые барионы — гипероны, которые можно представить себе как возбужденные нуклоны, имеющие большую массу. Гипероны при распаде излучают пионы, например:

лямбда-гиперон $\rightarrow \pi^- + \text{протон}$.

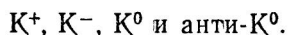
сигма плюс-гиперон $\rightarrow \pi^+ + \text{нейтрон}$ и т. д.

Если протоны сталкиваются с протонами, то гиперон может возникнуть только тогда, когда одновременно с гипероном вылетает К-мезон:



Известны девять тяжелых частиц-барионов. Это прежде всего нуклоны: протон и нейтрон. Далее идут более тяжелые нейтральный лямбда-ноль-гиперон и три сигма-гиперона: положительный, нейтральный и отрицательный. За ними следуют еще более тяжелые кси-гипероны: отрицательный и нейтральный. Наконец (об этом будет речь ниже) имеется еще один самый тяжелый омега-минус-гиперон. Кроме того, существуют еще, конечно, и девять антигиперонов.

Вместе с ними существуют четыре К-мезона, или каона:



Опыт показал, что Λ - и Σ -гипероны рождаются вместе с K^+ или K^0 , а при рождении кси-гиперонов рождаются даже два каона. Например, не существует реакции, когда два протона превратились бы в два-сигма-плюс. Закон сохранения заряда позволяет, энергии хватает, однако реакции нет.

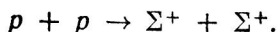
Тогда была выдвинута смелая гипотеза, что, кроме тех свойств частиц, которые мы более или менее хорошо знаем — заряда и массы частиц, существует еще свойство, которое называется *странностью*. Из опыта мы знаем, как приписывать странность частицам.

Странность S приписывается так:

протон и нейтрон имеют	$S = 0$
гипероны Λ Σ^\pm 0	$S = -1$
гипероны Ξ^- 0	$S = -2$
гиперон Ω^- имеет	$S = -3$

Античастицы имеют странность обратного знака.

Закон сохранения странности делает невозможным реакцию



У двух протонов странность равна нулю, а у двух сигм странность равна -2 .

Для того чтобы процесс мог происходить, необходимо ком-

пенсировать его рождением каонов. Странность K^+ и K^0 — 1, а K^- и анти- K^0 имеют $S = -1$.

Мы не знаем, с чем связана странность. В конце концов мы, может быть, и поймем, почему в релятивистской механике такое свойство возникает. Оно не имеет, по-видимому, классического аналога, поэтому нельзя объяснить его наглядно. Мы приписываем странность частицам только на основании экспериментальных фактов и формулируем закон сохранения странности, замечательный еще и тем, что он приближенный.

Мы видим, что Λ может превратиться в нуклон, излучив пион. Однако такой распад происходит редко. Λ живет примерно 10^{-10} сек, что на шкале ядерных времен, где один оборот соответствует времени порядка 10^{-23} сек, время очень большое. Поэтому, с точки зрения микромира, закон сохранения странности весьма точный закон, хотя и не абсолютный.

Вместо странности теперь пользуются другим числом — гиперзарядом Y , которое получается из странности, если добавить к ней барионное число:

$$Y = S + B.$$

Барионное число равно 1 для барионов, — 1 для антибарионов и 0 для остальных частиц. Таким образом, гиперзаряд $Y = 1$ имеют нуклоны, анти-гипероны и K^+ и K^0 , гиперзаряд $Y \approx -1$ имеют антинуклоны, Ξ -гипероны и K^- и анти- K^0 , $Y = 0$ имеют лямбда- и сигма-гипероны и их партнеры: анти- Λ и анти- Σ , а также все пионы. Ω^- -гиперон имеет гиперзаряд $Y = -2$.

Очевидно, что закон сохранения гиперзаряда и его следствия совпадают с законом сохранения странности и следствием из него.

Закон сохранения странности придумали двое ученых — японец Нишиджима и американец Гелл-Манн. Когда закон был предложен, не были еще известны ни сигма-ноль, ни кси-ноль-гипероны, не существовало и ряда античастиц. Так что схема была известна неполностью. Однако обнаруженная закономерность и смелые гипотезы позволили предсказать новые частицы, которые были вскоре открыты.

В этом третьем примере элементарный закон основывался на скудном материале и привел к открытию, физический смысл которого мы не вполне понимаем и сейчас.

В последние годы было открыто огромное число нестабильных резонансных частиц, которые живут очень недолго; сейчас их открыто около 80. Неясно, следует ли считать их элементарными или нет, но они существуют и, по-видимому, ничуть не хуже других. Поток открытий был угрожающим, но никакой видимой связи между новыми частицами не обнаруживалось. Надо было опять обратиться к пасьянсу и расположить частицы так, чтобы можно было предсказать их судьбу

Пасьянс раскладывали многие, но успех пришел к Гелл-Манну и Нейману. Они обнаружили нечто новое, но в 1962 году это открытие не приняли достаточно серьезно. Из их теории (которая получила название восьмеричного пути) следовало, что все в то время известные гипероны (а их было 8) образуют нечто единое, в том же смысле как считали едиными и симметричными три пиона или два нуклона.

В этой теории в схему восьмерок уложились сначала мезоны, потом многие резонансы, а затем началось заполнение удивительного семейства десятки. К концу 1962 и к началу 1963 года возникло положение, которое пояснено в таблице. Слева написана масса частиц в миллионах электронов-вольт, а справа символы частиц. Знаки означают заряды.

1676	?
1530	$\Sigma^* - \Sigma^{*0}$
1385	$\Sigma^* - \Sigma^{*0} \Sigma^{*+}$
1238	$\Delta - \Delta^0 \Delta^+ \Delta^{++}$

Δ означают резонансы, возникающие при рассеянии пионов нуклонами. Среди них есть резонанс Δ^{++} , который распадается на протон и положительный пион.

Бросается в глаза, что разности масс между Δ и Σ^* и между Σ^* и Σ^{*0} почти одинаковые — по 145 миллионов вольт.

Такая эквидистантность следует и из теории. Теория также показывала, что должна была быть и десятая частица с массой 1676 Мэв; она отмечена на схеме знаком вопроса. Неоткрытую еще частицу называли омега-минус. Было ясно, что ей присущи такие качества, которых никогда не обнаруживали у других частиц: странность — 3 и гиперзаряд — 2. Омега-минус должна была обладать еще одним замечательным свойством: в отличие от остальных членов десятки ее время жизни оценивалось примерно в 10^{-10} сек.

Такая частица в конце 1963 года была открыта. Это омега-минус-гиперон со спином, по-видимому, $3/2$, гиперзарядом —2, отрицательно заряженная и стабильная. На фотопластинке она прошла заметный путь. Это самый удивительный пример из всех, которые я привел. Обнаруженная частица обладала особенностью, которая может быть, не сразу бросилась в глаза. Мы видим десяток гиперонов, которые постепенно утяжеляются — сначала 1238, потом 1385 и до 1676. Гипероны с малой массой распадаются быстро, а самый тяжелый гиперон оказывается стабильным. В классической теории такого не бывает. Стабилен обычно самый низкий уровень.

Совокупность удивительных свойств, которые воплотились в омега-минус-гипероне, свойств, небывалых для физики, позволяет надеяться на то, что здесь мы встретились с самой

интересной загадкой за много лет. Может быть, открытие омега-мезона и связанной с ним новой симметрии приведет нас к познанию наиболее глубоких тайн микромира.

Профессор И. С. Шапиро

Законы сохранения в физике элементарных частиц

Что означает термин элементарная частица? Ответ на этот вопрос с точки зрения исследователя будет гласить: так называемую элементарную частицу характеризуют физические величины (масса, электрический заряд, спин — собственный момент вращения и др.), которые не вычисляются теоретически, а входят в физическую теорию, как начальные параметры, устанавливаемые экспериментально.

Атом водорода, например, с этой точки зрения, не элементарная частица, поскольку его масса, заряд, момент вращения, энергетические уровни могут быть вычислены, если известны характеристики протона и электрона и мировые физические константы — квантовая постоянная $h = 1,05 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек, и скорость света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

Что же касается протона и электрона, из которых состоит атом водорода, то физические величины, характеризующие эти частицы, являются экспериментальными константами и пока не могут быть вычислены. Главным образом поэтому протон и электрон называют элементарными частицами, подчеркивая то, что их структура количественно еще не понята.

В настоящее время нам известно уже свыше 80 частиц, которые с равным основанием могут быть названы элементарными. Правда, большинство из них нестабильно — они распадаются на другие частицы, и среднее время их жизни очень мало по сравнению с обычными масштабами времени. Однако это обстоятельство не меняет дела, поскольку по временным масштабам, характерным для физики элементарных частиц и ядерной физики, эти частицы живут очень долго (характерным является время, в течение которого происходит взаимодействие между частицами; это время равно радиусу действия ядерных сил, деленному на скорость света, и по порядку величины составляет около 10^{-23} сек).

По временам жизни нестабильные элементарные частицы делятся на две группы: частицы-резонансы, время жизни которых в несколько десятков или сотен раз больше характерного времени взаимодействия, и долгоживущие частицы с гораздо большим временем жизни (от 10^{-16} сек и больше, вплоть до 17 минут). Совершенно стабильных частиц немного — это фотон, протон, антипротон, электрон, позитрон, два нейтрино

и соответствующие им антинейтрино (всего имеется 35 стабильных и долгоживущих частиц). Ясно, что при таком обилии элементарных частиц проблема объяснения их свойств и взаимодействий между ними становится насущной задачей физики. Решить данную проблему — это значит суметь описать (по крайней мере в принципе) все многообразие элементарных частиц с помощью небольшого количества начальных параметров — экспериментальных констант.

Но для этого необходимо понять, каковы родственные связи у разных элементарных частиц, т. е. что у них общего, несмотря на кажущееся различие, и что в них действительно различно, вопреки кажущейся одинаковости.

Эти связи между элементарными частицами проявляются в процессах их взаимодействия и, в частности, в процессах распада, о которых говорилось выше. Эти процессы подчинены закономерностям, которые мы до конца еще не понимаем.

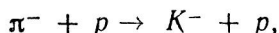
Физическими явлениями в макромире управляют законы сохранения: сохранения энергии, количества движения, момента вращения, электрического заряда. Эти же законы действуют и в мире элементарных частиц. Многие распады и другие процессы превращения частиц друг в друга не происходят потому, что они запрещены законами сохранения. Например, распад в вакууме фотона (частицы, из которых состоит свет) на электрон и позитрон запрещен законами сохранения энергии и количества движения. Распад нейтрона на две частицы — протон и электрон запрещен законом сохранения момента вращения (нейтрон распадается на три частицы — протон, электрон и нейтрино). Распад электрона на нейтрино и фотон запрещен законом сохранения электрического заряда.

Но кроме этих хорошо изученных законов сохранения, в физике элементарных частиц действуют дополнительные запреты, природу которых мы пока не понимаем. Они проявляются в том, что многие процессы распада и превращений частиц, которые разрешены законами сохранения, тем не менее по каким-то причинам не осуществляются. Например, распад протона на позитрон и фотон, разрешенный всеми упомянутыми законами сохранения, в действительности не происходит (или происходит со столь малой вероятностью, что его до сих пор обнаружить не удалось). Другим примером служит отсутствие распада мюона на электрон и фотон (масса мюона в энергетических единицах составляет около 100 млн. электронвольт; мюон нестабилен — со временем жизни $2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$ сек; он распадается на электрон и два нейтрино). Этот процесс также разрешен законами сохранения, но он не происходит.

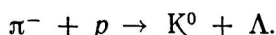
Характерным случаем является также распад недавно открытой эта-частицы (частица с массой около 550 млн. электронвольт). Эта-частица распадается на три пи-мезона (масса каждого пи-мезона составляет около 140 млн. электроно-

вольт) гораздо медленнее, чем это должно было бы происходить, если бы никаких дополнительных запретов не было.

Столь же загадочные явления обнаруживаются при рождении частиц в различного рода столкновениях. Например, при столкновении отрицательно заряженного пи-мезона (π^-) с протоном (p) при достаточно большой энергии могла бы идти такая реакция:



где K^- — отрицательно заряженная частица (называемая К-мезоном) с массой около 500 млн. электроновольт. Эта реакция, однако, не происходит. Вместо нее наблюдается процесс, в котором нейтральный К-мезон рождается в сопровождении другой нейтральной частицы — лямбда-гиперона (масса этой частицы составляет 1115 млн. электроновольт):



Здесь символом K^0 обозначен нейтральный К-мезон, а заглавной греческой буквой Λ — лямбда-гиперон.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что, кроме обычных законов сохранения, мы сталкиваемся в мире элементарных частиц с какими-то новыми правилами запрета.

Анализ экспериментальных данных показывает, что все наблюдаемые дополнительные ограничения могут быть описаны введением нескольких новых законов сохранения. Так, распад протона на позитрон и фотон можно запретить, постулировав закон сохранения барионного заряда. Отличный от нуля барионный заряд приписывается только тяжелым частицам (протону, нейтрону и более тяжелым — гиперонам). Распад мюона на электрон и фотон запрещается введением специфического мюонного заряда, который равен нулю у электрона. Замедленность распада этой частицы интерпретируется как проявление закона сохранения так называемого изотопического спина. И наконец, невозможность одиночного рождения К-мезона при столкновении пи-мезона и протона объясняется законом сохранения странности — величины, специально введенной с этой целью (пи-мезону и протону приписывают странность 0, К-мезону странность +1, лямбда-гиперону — странность -1).

Введение новых законов сохранения целесообразно, ибо с их помощью удается описать не только свойства, рассмотренные в приведенных примерах, но всю совокупность разнообразных экспериментальных данных. Вместе с тем эти новые законы представляют собой пока лишь способ определенной систематизации экспериментального материала, так как до сих пор нам не удалось понять их природу. К законам сохранения энергии, количества движения, момента вращения мы не только привыкли, но и понимаем их происхождение, видим

их общий источник; эти законы можно вывести исходя из двух постулатов, лежащих в основе всей современной физики — принципа наименьшего действия и из свойств симметрий пространства и времени.

Закон сохранения энергии есть следствие однородности времени, т. е. того факта, что физические законы не меняются во времени. Закон сохранения количества движения — следствие однородности пространства: внутренние свойства тел не меняются при перенесении тела из одного места в другое. Закон сохранения момента вращения — результат изотропии пространства, т. е. того, что внутренние свойства тел не меняются от поворотов в пространстве. Несколько сложнее обстоит дело с законом сохранения электрического заряда, но и здесь установлена глубокая связь с общей теорией электромагнитных явлений, в частности с тем фактом, что частицы электромагнитного поля — фотоны имеют равную нулю массу покоя.

Такого понимания новых законов сохранения, проявляющихся в физике элементарных частиц, пока еще нет, и выяснение смысла этих законов сохранения, их общих оснований, составляет, с моей точки зрения, одну из главных проблем современной теории элементарных частиц.

Академик И. Е. Тамм

О фундаментальных проблемах современной физической теории

Боюсь, что я буду говорить несколько в ином плане, чем предыдущие докладчики. Говорили здесь о чрезвычайно существенных вещах, рассказывали об очень интересных свойствах элементарных частиц. В частности, упоминали о возможности внести какой-то порядок в множество известных сейчас типов элементарных частиц, систематизировать их и в какой-то мере предсказать новые, еще не обнаруженные экспериментом типы элементарных частиц.

Но как еще далеко положение в физике элементарных частиц от положения в атомной физике. Если сопоставить их, то положение в физике элементарных частиц, и в особенности проблема систематизации различных типов частиц, напоминает то время, когда еще велись поиски принципов систематизации свойств различных химических элементов, которые впоследствии вылились в периодическую систему элементов Менделеева. Эта система сыграла важнейшую роль во всем развитии химии и физики, хотя только примерно через 60 лет после ее создания удалось понять структуру электронных оболочек атомов, определяющую их химические свойства.

Это сопоставление, как мне представляется, подчеркивает

важность исследований по систематике элементарных частиц, которым посвящается в настоящее время столь много труда и внимания. Вместе с тем, наряду с поисками такой формальной системы необходимы и поиски новой физической теории, которая позволила бы объяснить все свойства элементарных частиц исходя из некоторых общих принципов, как это сделала квантовая теория в отношении химических свойств атомов.

Дело в том, что современная квантовая теория, хотя она очень многое объяснила и многое предсказала, все же внутренне противоречива и по существу неудовлетворительна. Это относится только к релятивистской квантовой механике. Когда мы изучаем движение частиц с небольшими скоростями и можем пренебречь вытекающими из теории относительности релятивистскими соотношениями, иными словами, когда мы остаемся в пределах нерелятивистской квантовой механики, то все здесь ясно и незыблемо. Нерелятивистская квантовая механика также последовательна и незыблема в области своей применимости, как ньютонова механика в своей области. Только ретрограды могут искать способы отвергнуть принципы квантовой теории и вернуться к классике.

Другое положение в релятивистской квантовой механике. Ее принципиальная неудовлетворительность видна очень явно. При производимых с ее помощью вычислениях значений различных физических величин, как например взаимодействия элементарных частиц или длины волны излучаемого ими света, всегда получаются бесконечные значения этих величин, т. е. абсурдный результат. В конце сороковых годов был найден метод устранения бесконечностей из результатов теории (метод перенормировок). Дело сводится в сущности к тому, что из одной бесконечной величины по определенному рецепту вычитается другая бесконечная величина, так что их разность оказывается конечной и должна соответствовать наблюдаемым величинам. Во многих случаях подобный рецептурный прием дает блестящие результаты: вычисленные величины подтверждаются опытом с точностью до многих знаков после запятой. Но плодотворность рецепта не искупает внутренней неудовлетворительности концепции: нельзя безнаказанно вводить в теорию физически бессмысленные, принципиально ненаблюдаемые понятия.

Многие физики, в том числе и лично я, убеждены, что для понимания явлений, протекающих в ультрамалых пространственно-временных масштабах и при экстремально больших энергиях, потребуются коренной пересмотр современных физических представлений, столь же радикальный, как совершенный ранее теорией относительности и квантовой теорией, и потребуются построение новой физической теории, совершенно по-новому синтезирующей основы теории относительности и квантовой теории.

Еще в тридцатых годах Гейзенберг указал на то, что каждая новая фундаментальная теория вносит в физику новую фундаментальную константу. Теория относительности внесла в качестве такой константы скорость света и по отношению к этой константе определяются границы применимости дорелятивистских теорий. В квантовой механике роль константы, по отношению к которой определяется применимость классической теории, играет квант действия, постоянная Планка. Когда мы изучаем физические процессы в больших масштабах, для которых величина так называемого действия гораздо больше постоянной Планка, можно пользоваться классическими соотношениями; когда же речь идет об областях, где величины действия сопоставимы с постоянной Планка, требуется квантовая теория.

Что же касается будущей теории, то границы применимости существующих представлений и теорий будут, по всей вероятности, определяться некоей новой фундаментальной константой размерности длины, из численного значения которой можно будет, в частности, вычислить величину масс элементарных частиц. Какова будет эта новая теория?

Каждый физик определяет ее контуры по-своему — здесь нет единства взглядов. Позволю себе кратко охарактеризовать то направление, которое меня больше всего привлекает. Наряду с ним существует и ряд других направлений поисков, и никто пока не может сказать, какое именно направление приведет к цели. Чтобы разъяснить характер направления, которое меня лично привлекает больше, чем другие, напомним основную посылку квантовой механики — принцип неопределенности. Мы не можем одновременно, в одном и том же эксперименте, точно измерить координаты частицы и ее импульс. Порознь это можно сделать. Но при точном измерении координаты частицы ее импульс обязательно изменится, и притом совершенно неконтролируемым образом, и наоборот. Часто представляют дело таким образом, будто принцип неопределенности ограничивает наши знания о мире. На самом деле квантовая механика — это колоссальное расширение и обогащение наших знаний: мы знаем теперь, что каждая частица обладает не только корпускулярными, но и волновыми свойствами. Понятие частицы обогащается, расширяется. В классической теории один и тот же объект не может обладать и корпускулярными свойствами (например, находится в определенной точке пространства) и свойствами волновыми (ведь само понятие длины волны имеет смысл только в том случае, если волновое поле занимает конечный объем). В принципе неопределенности речь идет отнюдь не о неточности определения той или иной величины, а об отсутствии в природе состояний, в которых частица одновременно обладает точно определенным положением и точно определенным импульсом. Таких

состояний нет, потому что импульс частицы определяется ее длиной волны, а при точной локализации частицы длина соответствующей волны становится неопределенной.

Я склонен думать, что подобно тому, как в основе квантовой теории лежит принцип неопределенности, относящийся к координатам и импульсу, так в основе нового этапа теории будет лежать принцип неопределенности, относящийся к координатам, взятым самими по себе. Это означало бы, что если, например, состояние частицы характеризуется точно определенным значением ее координаты x , то другие ее координаты y , z и t не могут при этом иметь точно определенных значений, причем неопределенность их значений характеризуется некоей фундаментальной константой l , имеющей размерность длины (и играющей роль, аналогичную роли постоянной Планка h в современной квантовой теории).

В обоснование этой догадки можно привести ряд соображений. Как, например, определяется на опыте положение какой-либо частицы? Ее освещают пучком света (или пучком электронов или других частиц) и, регистрируя рассеянный частицей свет, определяют ее положение. Существенно, что при этом точность определения положения рассеивающей свет частицы зависит от длины волны света, которым мы ее освещаем: чем точнее нужно определить положение частицы, тем более короткими волнами нужно ее освещать. Но, с другой стороны, существует прямая пропорциональность между длиной волны и энергией частиц (в данном случае фотонов, составляющих пучок света). Поэтому переход к коротким волнам, необходимый для точного измерения координат частицы, означает переход к фотонам больших энергий. Однако фотоны больших энергий не просто рассеиваются на освещаемой ими частице, но помимо этого за счет своей энергии порождают в акте рассеяния новые элементарные частицы, число которых тем больше, чем больше энергия фотонов. Поэтому для определения положения измеряемой частицы необходимо регистрировать не только рассеянные ею фотоны, но и все вновь рожденные ими элементарные частицы. Хуже всего то, что многие из этих вновь рожденных частиц нестабильны, т. е. через ничтожное время после своего возникновения самопроизвольно распадаются на ряд других элементарных частиц, разлетающихся уже не из той точки пространства, в которой находилась измеряемая нами частица.

Анализ всех этих осложняющих фактов и приводит к мысли (хотя она, конечно, и не может считаться строго доказанной), что абсолютно точное определение всех координат, характеризующих положение частицы, принципиально неосуществимо.

Но если это так, то вообще невозможно построить последовательную теорию, в которой состояния элементарных частиц

характеризуются их положением в пространстве и во времени. Где же выход из этого положения?

Дело в том, что в современной квантовой теории существуют два равноправных способа описания состояний элементарных частиц. При так называемом пространственно-временном способе состояние частицы характеризуется ее волновой функцией $\varphi(x, y, z, t)$, частицы x, y, z и времени. Знание этой волновой функции содержит в себе максимально полную информацию о состоянии частицы и определяет собою не только вероятность того или иного положения частицы в пространстве, но и вероятные значения ее импульса и энергии. При другом способе описания состояние частицы характеризуется волновой функцией $\psi(p_x, p_z, p_y, E)$, зависящей не от координат x, y, z, t , а от компонент импульса частицы p_x, p_y, p_z и ее энергии E . Эта волновая функция также содержит максимально полную информацию о частице, и определяет не только импульс и энергию частицы, но и вероятность того или иного положения частицы в пространстве. Зная одну из этих функций, можно точно вычислить значение и другой функции.

Повторяю, в современной квантовой теории оба эти способа равноправны. Но если действительно в отношении пространственно-временных координат имеет место принцип неопределенности, а точность значений импульса и энергии, как имеются основания думать, принципиально не лимитирована, то в основе теории должно лежать описание состояний элементарных частиц не в обычном четырехмерном пространстве с координатами x, y, z и t , а в так называемом импульсном пространстве, в котором роль координат играют слагающие p_x, p_y, p_z импульса частицы и ее энергия E .

Еще в 1947 году американский физик Х. Снайдер опубликовал две статьи, в которых он указал, что из гипотезы о том, что импульсное пространство не плоское (эвклидово), а искривлено, т. е. имеет кривизну, непосредственно вытекает (в указанном выше смысле) неопределенность координат элементарных частиц, характеризуемая фундаментальной константой l . Далее он указал, что есть основания надеяться, что при надлежащем выборе характера кривизны импульсного пространства из теории будут устранены все те бесконечные (т. е. абсурдные) величины, о которых уже говорилось.

К сожалению, ни сам Снайдер и никто из зарубежных физиков не развивал больше этих идей. У нас в СССР появился ряд ценных исследований в этом направлении, в особенности работы Ю. А. Гольфанда и В. Г. Кадышевского. Однако ни им и никому другому, насколько мне известно, не удалось указать такой характер искривления импульсного пространства, при котором из теории действительно устранялись бы все бесконечности — оставалась так называемая «угловая расходимость».

Я должен признаться, что за последние годы я привык к

тому, что у меня рождаются физические идеи, которыми я очень увлекаюсь, но которые потом с вероятностью 99,9% рушатся и оказываются негодными. И все же я не могу не сказать вам, что после того как я долгое время безуспешно пытался продвинуться в направлении развития идей Снайдера, за последние 10 дней мне пришло в голову очень простое обобщение и конкретизация этих идей, которое, как мне кажется, действительно устраняет из теории все бесконечности, в том числе и «угловые расходимости». Конечно, потребуется еще много времени для окончательной проверки этих гипотез и для сравнения выводов из них с опытом, но в данный момент меня привлекает в этом то, что вся теория базируется на очень малом числе постулатов, может быть представляющихся весьма парадоксальными, но в сущности очень простых по своему содержанию. Основное отличие от исходных работ Снайдера в двух пунктах: в допущении, что пространство импульсов имеет не постоянную, а переменную кривизну и не обладает так называемой трансляционной инвариантностью, и, во-вторых, в своеобразном инвариантном законе сложения векторов. Здесь я не могу подробнее изложить содержание этих гипотез.

Заканчивая, я хочу сказать, что хотя в настоящее время поиски новой теории идут в самых различных направлениях и никто, конечно, не может знать, какое из этих направлений окажется эффективным, все же я не сомневаюсь, что новая физическая теория будет создана в сравнительно недалеком будущем. Эта теория, как говорил Н. Бор, несомненно будет «сгазу» (сумасшедшей), сумасшедшей не в смысле нелогичности или непоследовательности — напротив, она должна быть строго логичной и строго последовательной, — а сумасшедшей в смысле необычности, кажущейся парадоксальности, как сумасшедшими казались многим в период их создания и теория относительности и квантовая теория.

Один крупный американский физик — Фримен Дайсон — в недавней статье утверждал, что новая теория появится лишь в следующем столетии. Не могу согласиться с таким пессимистическим выводом. Великие мыслители масштаба Эйнштейна рождаются редко, но теперь, когда фундаментальными проблемами физики занимается в сотни раз больше людей, чем в начале нашего столетия, вероятность появления нового гения в области теоретической физики увеличилась соответственно во много раз. Мое глубочайшее убеждение, что недалеко то время, когда появится новый Эйнштейн. Я не знаю, где он появится — в Новосибирске, Алжире или Америке, — но он появится, и новая физическая теория, последовательно охватывающая как все ранее бывшие нам известными физические явления, так и явления, протекающие в только открывающемся перед нами мире элементарных частиц больших энергий, будет создана.