

ВСЕСОЮЗНАЯ ЯДЕРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

М. П. Бронштейн, Ленинград,

24—30 сентября 1933 г. в Ленинграде состоялась Первая всесоюзная ядерная конференция, организованная Ленинградским физико-техническим институтом. На конференции был заслушан ряд докладов советских и иностранных ученых и состоялась оживленная дискуссия. В дальнейшем приведены краткие изложения важнейших докладов, составленные по тем записям, которые я вел в качестве одного из секретарей конференции. Читатели „Успехов физических наук“ смогут по ним ознакомиться с содержанием примерно трех четвертей сделанных на конференции сообщений. Некоторые не менее важные сообщения, напр. доклад Д. В. Скобельцына (Ленинград) о космических лучах, доклады С. Э. Фриша (Ленинград) и Разетти (Рим) о механических и магнитных моментах ядер, доклады харьковских физиков (Синельников, Ситников, Лейбунский) о их работе по методике получения ионных и электронных потоков высоких напряжений и по дезинтеграции ядер, не могут быть, по разным техническим причинам, включены в наш обзор. Несмотря на эту неполноту, мы надеемся, что наш обзор представит интерес для тех советских физиков, которые не могли по тем или иным причинам присутствовать на конференции.

Доклад П. А. М. Дирака (Кембридж) был посвящен теории позитрона. Открытие позитрона вновь воскресило интерес к одной старой теории Дирака (1929 г.), которая предсказала существование частиц, повидимому обладающих всеми наблюдаемыми свойствами позитронов. Известно, что в нерелятивистской

теории кинетическая энергия имеет вид $W = \frac{1}{2} mv^2$ и, следовательно, всегда положительна. Но в специальной теории относительности Эйнштейна имеет место другое соотношение, а именно:

$$W^2 = m^2 c^4 + c^2 p^2$$

где p — импульс. Откуда

$$W = \pm \sqrt{m^2 c^4 + c^2 p^2}.$$

Из двух возможных знаков квадратного корня в классической теории всегда выбирается плюс. Это делается для того, чтобы получилось согласие с опытом. Но квантовая теория не может ограничиться простым игнорированием таких состояний частицы, в которых кинетическая энергия отрицательна. Волновое уравнение обладает тем свойством, что наличие какого-либо внешнего возмущения приведет к переходам в состояния с отрицательной кинетической энергией. (В классической теории не было таких переходов, так как W или больше, чем mc^2 или меньше, чем $-mc^2$, а все классические динамические переменные непрерывны и не могут перескочить через пропасть ширины $2mc^2$.) Многие старались устранить в квантовой теории возможность таких переходов, видоизменяя эту теорию. Так напр. это делал Шредингер, но его теория страдала тем недостатком, что она не удовлетворяла требованию релятивистской инвариантности, и можно думать, что любое видоизменение квантовой теории, устраняющее переходы в состояния с отрицательной кинетической энергией, будет страдать тем же роковым недостатком. Поэтому имеются две

возможности: или квантовая теория вообще ошибается, предсказывая эти переходы, или состояния с отрицательной кинетической энергией имеют физический смысл. Разберем первую возможность. Всякая физическая теория имеет свои границы применимости. В частности и квантовая теория перестает быть применимой, когда приходится оперировать с длинами порядка e^2/mc^2 (классический радиус электрона), так как существование и стабильность электрона не объясняется квантовой теорией. Если эту длину e^2/mc^2 рассматривать как длину волны, то, перечисляя ее на энергию фотона, мы получим около 60 миллионов электрон-вольт. Поэтому квантовая теория не может давать верных результатов в области энергий, превышающих это число. Но $2mc^2$ имеет величину порядка всего лишь одного миллиона вольт, и нет причины для квантовой теории быть неверной в этой области энергий. Поэтому первая возможность кажется Дираку неудовлетворительной, и он останавливается на второй. Какой физический смысл приписать состояниям с отрицательной энергией? (Слов „кинетическая“ в дальнейшем для краткости опускается.) Всякая частица, обладающая отрицательной энергией, имеет странные свойства: чем быстрее она движется, тем меньше ее энергия, поэтому она должна быть весьма неустойчивой и, спонтанно теряя энергию, получать огромные скорости. В этом нет никакой логической невозможности, но существуют ли такие частицы в природе? Если, например, такой электрон движется через заданное электромагнитное поле, то он должен испытывать отклонение в такую сторону, как если бы у него был положительный заряд (отрицательная энергия равносильна отрицательной массе, а так как в уравнении движения входит только e/m , то можно оставить знак массы прежним, переменив лишь знак заряда). Все это напоминает нам позитрон. Но позитрон имеет положительную энергию. Это показывает, что объяснение нужно несколько видоизменить. Поэтому Дирак предлагает следующую гипотезу: допустим, что в реальном мире почти все электронные состояния с отрицательной энергией заняты электронами, но что мы никак не воспринимаем такого распределения электронов вследствие его однородности, и только незанятые электронами уровни, являясь чем-то исключительным, могут быть замечены нами так же, как мы замечаем занятые состояния с положительной энергией. Легко видеть, что такое незанятое состояние с отрицательной энергией, или „дырка“, в области отрицательных состояний будет вести себя, как обыкновенная частица с положительным зарядом. В самом деле, отсутствие отрицательной энергии можно трактовать как присутствие положительной энергии, потому что два минуса дают плюс. Кроме того, рассматривая движение электронов, сидящих на тех уровнях с отрицательной энергией, вблизи которых находится „дырка“, легко видеть, что „дырка“ будет двигаться в заданном внешнем поле, как частица с положительным зарядом. Остается только рассмотреть вопрос о том, какое поле производит „дырка“, но с этим вопросом связаны некоторые трудности, и о нем будет подробно сказано дальше.

Из гипотезы Дирака вытекает ряд следствий. Если допустить, что позитрон есть такая „дырка“, то

- 1) заряд позитрона должен быть в точности равен $+e$,
- 2) его масса должна быть равна в точности массе электрона, как это показал Вейль и др.

Подтверждается ли это экспериментом? Отношение заряда позитрона к его массе известно с точностью лишь до 50%, но во всяком случае то, что о нем известно, не противоречит сделанным выше утверждениям.

3) Электрон с положительной кинетической энергией не может перейти в уже занятое состояние с отрицательной энергией, но в незанятое состояние, т. е. в „дырку“, он перейти может. При этом произойдет „аннигиляция“, т. е. дырка заполнится и обе частицы (электрон с положительной энергией и позитрон) перестанут быть наблюдаемыми. Если ввести такую систему отсчета, чтобы центр тяжести обеих частиц в ней покоился, т. е. результирующий импульс равнялся нулю, то из законов сохранения энергии и импульса вытекает, что в результате аннигиляции должны появиться по крайней мере два кванта лучистой энергии. Теория позволяет вычислить вероятности аннигиляции. Длинное вычисление показывает, что порядок величины этой

вероятности такой же самый, как если бы электрон и позитрон были двумя шариками с радиусом e^2/mc^2 , которые имеют скорость c и обязаны уничтожиться при каждом столкновении друг с другом. Точное значение вероятности аннигиляции зависит от скорости позитрона. Теория приводит к тому, что вероятная продолжительность жизни для позитрона, медленно движущегося сквозь воздух (при давлении 1 ат и при нормальной температуре) равна $3 \cdot 10^{-7}$ сек. Если позитрон движется быстро, то продолжительность жизни несколько больше. Такая величина продолжительности жизни согласуется с экспериментом, так как, с одной стороны, она достаточно велика для того, чтобы быстрые позитроны проскакивали через камеру Вильсона, не уничтожаясь по дороге, с другой же стороны, она настолько мала, что позитроны не могут быть столь же обычным объектом лабораторного исследования, как отрицательные электроны.

Существует возможность и другого процесса аннигиляции: в присутствии третьего тела, которое может взять на себя избыточный импульс, например в присутствии атомного ядра, законы сохранения энергии и импульса уже не требуют, чтобы излучались два кванта, а поэтому может излучиться и один. Обратный процесс таков: один квант в поле атомного ядра поглощается с одновременным созданием позитрона и обыкновенного электрона с положительной энергией. Легко видеть, что этот процесс заключается в вырывании квантом одного из электронов с отрицательной энергией и в перенесении его в состояние с положительной энергией, т. е. по существу это не что иное, как фотоэффект. Количественная теория такого фотоэффекта была разработана независимо друг от друга Пайерльсом, Оппенгеймером и Ферми, но напечатана покамест одним лишь Оппенгеймером. Оказывается, что тяжелые ядра будут более способствовать такому фотоэффекту, чем легкие, причем на основе такой теории возможно дать истолкование аномального рассеяния гамма-лучей в хорошем согласии с измерениями Грея и Тэррента.

Перейдем теперь к вопросу о поле, вызываемом позитроном. В отличие от вопроса о движении позитрона в заданном поле, удовлетворительно разрешенного теорией, вопрос о поле самого позитрона еще не выяснен окончательно. Ведь мы имеем бесконечное множество состояний с отрицательной энергией. Можно утверждать даже, что число электронов с отрицательной энергией в единице объема должно оказываться бесконечным. С этой бесконечностью нужно уметь математически работать. Если мы сделаем обычное предположение: $\text{div } \mathbf{E} = 4\pi\rho$, то при бесконечном ρ оно теряет всякий смысл. Поэтому приходится сделать допущение, что некоторое „нормальное“ распределение электронов по состояниям не вызывает никакого поля, и только разность между действительным распределением и этим нормальным является источником поля. В качестве нормального распределения естественно выбрать такое, в котором все состояния с отрицательной кинетической энергией заняты, а все состояния с положительной кинетической энергией свободны — при этом окажется, что поле позитрона совпадает с полем заряда $+e$. Однако дело обстоит так просто только в отсутствии внешнего поля: если таковое присутствует, то состояния с заданной кинетической энергией оказываются нестационарными, а потому нужно определить „нормальное“ распределение каким-нибудь другим образом. Кроме того, это распределение необходимо вычесть из действительного распределения зарядов, т. е. нужно вычесть одну бесконечность из другой, хотя такое действие в математике не определено. Только в одном случае удалось разрешить удовлетворительно эту задачу, а именно в случае статического поля (Дирак и Пайерльс). Для этого Дирак применяет свой метод, который в его книге (русский перевод, стр. 254) назван „методом плотности“. Каждый электрон характеризуется волновой функцией $\psi_r(q)$, где r — номер электрона, а q его координаты (включая и координату спина). Плотность электронов изображается в виде матрицы

$$\sum_r \psi_r(q') \psi_r(q'') = (q' | R | q''),$$

которая таким образом определяет распределение электронов. Она должна удовлетворять условию

$$R^2 = R,$$

которое дает, что все собственные значения этой матрицы равны или нулю или единице (принцип Паули: в каждом состоянии не больше одного электрона). Квантовое уравнение движения для этой матрицы имеет вид:

$$i\hbar \dot{R} = HR - RH,$$

где H — гамильтониан одного электрона, включающий внешнее поле и поле остальных электронов.

Какое же распределение уместно избрать в качестве „нормального“, т. е. не производящего поля? В качестве такового Дирак и Пайерлс избирают распределение

$$R_0 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{W}{|W_0|} \right)$$

где W есть оператор кинетической энергии:

$$\frac{W}{c} = p_1(z, p) + p_3 mc.$$

(Для того, чтобы построить R_0 как функцию W , нужно избрать такое „представление“, в котором матрица W диагональна; R_0 будет диагонально в том же представлении, причем его айгенверты, соответствующие положительным айгенвертам W , равны, как легко видеть, нулю, а айгенверты, соответствующие отрицательным W , равны 1.) Причина, по которой R_0 выражено через W , а не через H (через кинетическую, а не полную энергию), заключается в том, что в гамильтониан H входит потенциал, к которому можно, не меняя его физического смысла, прибавить любую постоянную, в то время как W инвариантно по отношению ко всем таким изменениям потенциала.

Распределение R_0 не является стационарным. Вычитая R_0 из распределения R , удовлетворяющего условию

$$0 = HR - RH, \quad R^2 = R,$$

мы получаем плотность, вызывающую поле. Если внешнее поле не очень сильно, то можно применить теорию возмущений. Детали вычислений не представляют интереса, но кое-что отметить все же следует. Если взять диагональный элемент $R - R_0$ по отношению ко всем четырем координатам и просуммировать по значениям спина, то получится искомая плотность. Она получается в виде расходящегося интеграла, что может показаться катастрофическим, но на самом деле это расходящийся интеграл совсем не так зловредна. Ведь теория, как мы видим, не применима к очень большим энергиям (больше 60 млн. вольт), а интеграл расходится именно вследствие очень глубоких отрицательных уровней. Если интеграл просто напросто обрезать вблизи 60 млн. вольт (т. е. вблизи импульса $p = 137 mc$), то он станет конечным, а между тем он устроен так, что точное место, где он обрезается, не имеет существенного значения. В результате получается для плотности приближенное выражение

$$\frac{e^2}{\hbar c} \left\{ \rho - \frac{2}{15\pi} \left(\frac{\hbar}{mc} \right)^2 \nabla^2 \rho \right\}$$

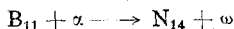
где ρ есть плотность, вызывающая внешнее поле. Написанное только что выражение и есть та плотность, которая накладывается на ρ . Физически это можно выразить так, что заряды, вызывающие внешнее поле, производят некоторую деформацию или „поляризацию“ в распределении электронов, сидящих на отрицательных уровнях, причем плотность „поляризованного“ распределения накладывается на первоначальную плотность ρ . Главную роль играет первый член, который попросту нейтрализует $\frac{1}{137}$ часть заряда, вызывающего внешнее поле. Отсюда следует тот поразительный результат, что измеряемые нами значения статических зарядов на $\frac{1}{137}$ меньше действительных значений этих

зарядов. (Второй член формулы приводит лишь к тому, что эта компенсирующая плотность поляризованного распределения не в точности совпадает пространственно с теми точками, где сидят заряды, вызывающие внешнее поле, а размазана вокруг этих точек в небольших объемах с линейными размерами h/mc .) Можно думать, что для быстро движущихся зарядов такое экранирующее действие электронов с отрицательной энергией не имеет места. Это не было строго доказано, но физически это совершенно естественно, так как в том месте, через которое очень быстро проносится заряд, поляризация просто не успеет установиться. Если это так, то есть возможность экспериментально проверить выводы теории, пользуясь теми явлениями, в которых играют роль очень быстрые электроны (рассеяние очень быстрых электронов, рассеяние очень жестких гамма-квантов электронами). Так как в формулах, описывающих эти явления, встречается заряд электрона (в формуле Клейна-Нишины, напр., в четвертой степени), то, подставляя в эти формулы заряд электрона, измеренный статически, мы должны получить расхождение с опытом. Например, по формуле Клейна-Нишины должно получаться на 3% меньше поглощение, чем в действительности. Что касается формулы Резерфорда для рассеяния электронов, то в ней должно получаться расхождение кроме того и по причине „поляризационной“ плотности, размазанной на расстоянии 10^{-11} см вокруг ядра, что равносильно отступлению от закона Кулона.

Дирак подчеркивает, что эта совместная с Пайерльсом работа сделана так недавно, что не все в ней, быть может, успело стать достаточно ясным. Поэтому эти результаты надо считать предварительными. Что касается до всей теории в целом, то она не вполне закончена, ибо необходимо 1) решить задачу о „поляризации“ однородного фона электронов с отрицательной энергией в любых электромагнитных полях, 2) представить всю теорию в релятивистски инвариантной форме.

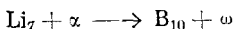
Доклад Фредерика Жолио (Париж) о нейтронах содержал обзор экспериментальных фактов, полученных в лаборатории Ф. Жолио и его жены г-жи Ирины Кюри-Жолио (дочери знаменитой г-жи Кюри-Склодовской, открывшей радий). Эта лаборатория обладает весьма активным препаратом полония (150 милликури), дающим больше миллиарда альфа-частиц в секунду. Интенсивность нейтронного испускания определяется по ионизации, производимой протонами, выбитыми потоком нейтронов из парафина или из какого-либо газа, содержащего водород (метан или еще лучше бутан). Вместе с нейтронами испускаются и гамма-лучи, но для того чтобы испускание имело место, нужно, чтобы энергия альфа-частиц была больше некоторого порога, причем для гамма-лучей этот порог ниже, чем для нейтронов. Отсюда следует, что при некоторых промежуточных энергиях альфа-частиц возможно возбуждение ядра с последующим испусканием гамма-лучей, но без выбрасывания нейтронов (у азота только гамма-лучи и наблюдались). При возрастании энергии альфа-частиц растут интенсивности испускаемых нейтронов и гамма-лучей, причем обе кривые идут параллельно друг другу. У бериллия-девять наблюдены две группы быстрых нейтронов (с энергиями $4,5 \cdot 10^6$ и $7,8 \cdot 10^6$ электрон-вольт).

Весьма большой интерес в докладе Жолио представило изложение его точки зрения на массу нейтрона. Известно, что Дж. Чэдвик вывел значение массы нейтрона из энергетического баланса реакции выбивания нейтрона из бора. Формула этой реакции, по Чэдвику, такова:

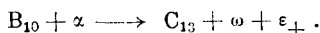


(α обозначает альфа-частицу, ω — нейтрон, числа соответствуют атомным весам). Прибавив слева массу, соответствующую кинетической энергии падающей альфа-частицы, а справа аналогичную массу, соответствующую кинетической энергии нейтрона (эту энергию можно для этой цели знать лишь приблизительно), и зная массу ядер B_{11} и N_{14} по данным Астона, Чэдвик нашел, что масса нейтрона лежит между 1,005 и 1,008. Поэтому он принял, что она равна 1,0065 (единица массы = четверть массы атома гелия). Но если принять

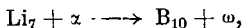
это, то, как утверждает Жюлио, возникает ряд трудностей: во-первых, получается, что нейтрон, вылетающий при реакции



должен иметь энергию $12 \cdot 10^6$ вольт. Но опыт, как мы видели, не дает больше $7,8 \cdot 10^6$ вольт. Правда, американец Кюри получает в опытах с камерой Вильсона и более быстрые нейтроны, вылетающие при этой реакции, но Жюлио по разным причинам считает его измерения ошибочными. Поэтому нужно допустить, что при этой реакции выделяются и фотоны, берущие избыток энергии. Этим как будто бы устраняется эта трудность. Но возникнет вторая: согласно измерениям Бейнбриджа масса ядра Be_9 равна 9,011. Это больше, чем сумма масс двух альфа-частиц и одного нейтрона, если приписать нейтрону чадвиковскую массу. Поэтому бериллий должен был бы оказаться радиоактивным, т. е. испускать альфа-частицу. Последние опыты Гендерсона показали, что вопреки утверждению, высказанному Лангером и Райтом, бериллий нерадиоактивен. Это является убийственным для чадвикского значения массы. Поэтому Жюлио делает гипотезу, что нейтроны вылетают не из изотопа B_{11} , а из изотопа B_{10} и что формула реакции такова:



где ϵ_+ обозначает положительный электрон. Отсюда получается для массы нейтрона число 1,011, и трудность с объяснением устойчивости бериллия-девять сейчас же исчезает. Что касается до реакции выбивания нейтрона из бериллия, то и там приходится допустить, что некоторый избыток энергии уносится фотоном или же парой, состоящей из электронов обоих знаков. Значение массы нейтронов, предложенное Жюлио, приводит к трудности объяснения баланса реакции



если положит $\text{Li}_7 = 7,011$ (по Бейнбриджу) и $\text{B}_{10} = 10,008$ (по Астону), но эта трудность, как думает Жюлие, разъяснится, если для Li_7 и B_{10} будут получены сравнимые между собою результаты. Пока же выбивание нейтронов из лития является аргументом в пользу Чадвика и против Жюлио.

Вопрос о точном значении массы нейтрона весьма интересен, так как он связан с вопросом о том, что устойчивее — нейтрон или водородный атом (см. также изложение доклада Перрена).

Доклад Франсиса Перрена (Париж) был посвящен вопросу о структурных элементах атомного ядра. Существуют три различные точки зрения: согласно одной из них, наиболее старой, основными элементами, из которых строятся ядра, являются протоны и электроны. Нейтрон рассматривается как комплекс, состоящий из электрона и протона. Если эту точку зрения трактовать в духе обычной волновой механики, то она сразу же приводит к известным трудностям; получается не тот вращательный момент и не та статистика для ядра азота (так называемая „азотная катастрофа“), остается непонятным, почему ядро не захватывает снаружи электронов даже тогда, когда это энергетически выгодно и т. д. Другая точка зрения, предложенная Жаном Перреном (отцом докладчика), заключается в том, что ядра состоят из нейтронов и положительных электронов (позитронов). Сам протон при этом трактуется как сложная частица, состоящая из позитрона и нейтрона. Бета-распад при этом трактуется как одновременное рождение позитрона и электрона, из которых первый захватывается нейтроном, а другой улетает прочь. Эта точка зрения, при ее трактовке в духе обычной волновой механики, также приводит к трудностям. В частности пришлось бы допустить, что позитроны подчиняются статистике Бозе и не обладают спином. Это разрушило бы симметрию между позитронами и электронами, которой требует теория Дирака. Следует заметить, что все эти трудности вероятно связаны с применением нерелятивистской волновой механики, а это применение все равно незаконно, так как запертые в объеме ядра (линейные размеры от 10^{-13} до 10^{-12} см)

электроны или позитроны должны обладать скоростями, близкими к скорости света. Возможно, что в будущей релятивистской теории противоречие между обеими точками зрения окажется значительно меньшим, чем нам представляется теперь. В рамках же существующей теории всего удобнее пользоваться третьей точкой зрения, а именно: ядра состоят из протонов и нейтронов, которые являются элементарными частицами, способными переходить друг в друга. Этой точкой зрения Перрен преимущественно и пользуется.

Протоны и нейтроны образуют между собою различные комбинации, сохраняющие в пределах ядра более или менее индивидуальное существование. К числу таких комбинаций принадлежит альфа-частица („гелион“ по терминологии Перрена). Так как она очень устойчива, то естественно допустить, что все ядра состоят из альфа-частиц, нейтронов и не более, чем одного протона (если бы был еще протон, то оба протона вместе с двумя нейтронами образовали бы альфа-частицу). Далее Перрен обращает внимание на тот факт, что не существует ядер, в которых протон был бы связан с альфа-частицами без всяких нейтронов. Отсюда Перрен делает вывод, что протон в ядре всегда связан с нейтроном если не в составе самой альфа-частицы, то по крайней мере в виде группы протон-нейтрон. Эта группа, которую Перрен называет „гидрон“, тождественна с ядром водородного изотона („дейтон“ по терминологии американцев). До сих пор не наблюдалось расщеплений с выбрасыванием дейтона, если не считать одной из „вилок“, сфотографированных Блэккеттом, которая, согласно Перрену, может быть объяснена без противоречия с законом сохранения энергии только при допущении, что ядро азота, сталкиваясь с альфа-частицей, дает ядро кислорода и дейтон.

Перрен подробно остановился и на вопросе о массе нейтрона. Согласно Чэдвику эта масса равна 1,0065 (единицей массы является четверть массы атома гелия), согласно Жолио она равна 1,011. Против Чэдвика Перрен выдвигает то соображение, что атом водорода устойчив и не превращается в нейтрон, хотя его масса больше, чем 1,0065). Правда, аналогичным аргументом против Жолио было бы то, что никто не наблюдал превращения нейтрона в атом водорода. Но как знать? Может быть, такое превращение и происходит, говорит Перрен, ведь мы не наблюдаем свободного нейтрона сколько-нибудь продолжительно. В последнее время Лауренс, на основании энергетического баланса наблюденных им расщеплений при столкновении дейтонов с разными ядрами, приписал нейтрону даже массу 0,9995. Однако Перрен не считает эту гипотезу серьезной. Лауренс исходил при этом из допущения, что дейтон, разбиваясь при этом столкновении, дает быстрый протон и нейтрон, который также улетает прочь. Но согласно Перрену возможно, что нейтрон при этом не улетает, а остается в составе ядра. Во всех случаях, исследованных Лауренсом, такой захват должен на самом деле дать очень устойчивую комбинацию, и этим, согласно Перрену, объясняется большая энергия вылетающего протона. (В последовавшей дискуссии А. И. Лейпунский и И. В. Курчатов предложили для проверки взгляда Перрена бомбардировать дейтонами такие ядра, которые не дадут с нейтроном устойчивых комбинаций, например алюминий. Если и при этом получатся быстрые протоны, то это говорит против толкования Перрена.) Таким образом определенная Лауренсом масса принадлежит не свободному, но связанному нейтрону. Эта масса (0,9995) очень близка к обычному значению разности между массой двух изотопов одного и того же элемента, отличающихся друг от друга на один нейтрон. (Заметим, что такое же толкование опытов Лауренса, какое дал Перрен, независимо от него предложил В. Эльзассер.) Самым решающим аргументом в пользу предположенного Ф. Жолио значения массы нейтрона Перрен считает отсутствие радиоактивности у ядра бериллия-девять. Если принять это значение, то бериллий-девять оказывается устойчивым, хотя и легко разбиваемым. Медленную группу нейтронов, испускаемую бериллием, которую открыл Пьер Оже, можно объяснить, как указал Эльзассер, предположением что альфа-частица при этом не захватывается.

В заключение Перрен привел различные соображения о том, как распределены протоны и нейтроны ядра между имеющимися там уровнями энергии. Возможно, что предположение об образовании максимального числа частиц

является слишком грубым, так как энергия связи между альфа-частицами в ядре не может считаться малой по сравнению с их внутренней энергией сцепления. Поэтому более уместно говорить об ядре, как о совокупности протонов и нейтронов, а не альфа-частиц с хвостом из нейтронов и максимум одного протона *. При этом для объяснения устойчивости углеродного ядра (^{12}C) Перрен делает весьма странную с точки зрения автора этих строк гипотезу о том, что шесть протонов и шесть нейтронов этого ядра сидят на втором уровне, оставив первый более глубокий уровень свободным (на этом уровне могут поместиться два протона и два нейтрона). Перрен думает, что несуществование или большая редкость ядра „бериллий-восемь“ объясняется невозможностью расположить протоны и нейтроны этого ядра так, чтобы не было частично заполненных уровней. С нашей точки зрения такое объяснение является в высшей степени подозрительным.

Доклад Л. Х. Грея (Кембридж) относился к аномальному рассеянию гамма-лучей открытому Чао и исследованному с тех пор Тэррэнтом и Греем. Вопрос представляет огромный интерес в связи с теоретическими исследованиями, о которых будет идти речь ниже. Основные результаты Грея и Тэррэнта были в свое время опубликованы; в настоящем пересказе доклада Грея мы отметим лишь то, что еще не было опубликовано. Прежде всего число веществ, в которых изучалось рассеяние гамма-лучей, теперь увеличилось. Исследовались Pb, Sn, Fe, Cu, K_2SO_4 , C, H_2O . Оказалось, что аномальное рассеяние очень плавно меняется с атомным номером. В частности то обстоятельство, что медь, обладающая нечетным атомным номером, ложится на одну кривую с элементами четного атомного номера, можно считать убедительным аргументом против гипотезы о причинах рассеяния, предложенной Гамовым (искусственный бета-распад под влиянием гамма-лучей). Рассеяние углеродом, ядро которого состоит только из альфа-частиц, также говорит против гипотезы Гамова.

В настоящее время Грей не считает более, что аномально рассеянные лучи являются характеристическими для какого-либо составного элемента ядра. Первичное излучение непосредственно действует на вторичное, причем на каждый квант первичных лучей с энергией больше 2 млн вольт приходится четыре или больше мягких кванта ($\frac{1}{2}$ млн. а вольт) в рассеянных лучах. Таким образом почти вся аномально поглощенная энергия превращается в аномально рассеянную, причем поперечное сечение ядра для такого процесса пропорционально квадрату атомного номера. Вопрос о существовании и о точном положении „порога“, который по Гreau, Тэррэнту и Чао лежал вблизи 2 млн. вольт, еще не решен. (Жюлио в дискуссии по докладу Грея указал, что парижские измерения не подтвердили этого результата Чао.) Грей считает возможным теперь, что „аномальное“ поглощение начинается у 1 млн. вольт но сперва растет очень медленно, вследствие чего порог в прежних измерениях ядра получился равным 2 млн. вольт.

Вопрос о причинах расхождения между кембриджскими измерениями и измерениями Мейтнер еще не ясен. Лица, прибывшие только что из Копенгагена, сообщают, что Якобсен получил результаты, отличные и от результатов Мейтнер и от результатов Тэррэнта и Грея.

В последнее время Оппенгеймер и Плессетт выдвинули гипотезу, что аномальное поглощение связано с образованием „пар“ (электрон + позитрон) вблизи ядра, а аномальное рассеяние — с происходящей вслед за этим аннигиляцией позитрона. Это дало бы поперечное сечение, пропорциональное квадрату заряда ядра и примерно того же порядка величины, как у Тэррэнта и Грея. Порог был бы около 1 миллиона вольт ($2mc^2$). Возможно образование неравных энергий позитрона и электрона, что могло бы объяснить жесткую компоненту Грея-Тэррэнта. Наиболее решительным аргументом против толкования Оппенгеймера Грей считает то обстоятельство, что при рассеянии ду-

* Перрен приводит схему уровней с их квантовыми числами, вычисленную Эльзассером.

чей ThC'' (2,6 млн. вольт) не $\frac{1}{2,6}$, а почти 100% энергии кванта, принимавшего участие в поглощении, отдается в виде аномально рассеянных квантов. Это противоречие исчезнет только в том случае, если допустить, что каждый первичный квант производит не одну, а две „пары“ электронов и позитронов с энергией приблизительно по 0,5 млн. вольт.

Вопрос об аномальном рассеянии является одним из самых интересных и наиболее острых экспериментальных вопросов ядерной физики. В своей информации о копенгагенской конференции д-р Вейсскопф, между прочим, упомянул, что М. Дельбрюк вывел из теории „дырок“ тот качественный результат, что пустое пространство вблизи атомного ядра, будучи в „поляризованном“ (см. доклад Дирака) состоянии, может когерентно рассеивать гамма-лучи. Поэтому результаты Мейтнер также, быть может, доступны истолкованию с точки зрения теории Дирака. Между тем экспериментаторы все еще не согласны между собой в том, как именно происходит аномальное рассеяние.

Доклад Гамова (Ленинград) содержал изложение его последних работ о ядерных уровнях. Весьма правдоподобно, что силы, действующие на частицы внутри ядра, сравнительно невелики во внутренних областях ядра, но быстро возрастают у поверхности ядра, так что силовое поле имеет вид потенциальной ямы с плоским дном и крутыми стенками. Аппроксимируя эту модель прямоугольной ямой по стенкам бесконечной высоты, мы получаем возможность вычислить уровни движущихся в ядре частиц. В реальных ядрах эта схема уровней будет, разумеется, сильно искажена, особенно в своей верхней части. Однако Гамов допускает, что, вообще говоря, чередование азимутальных квантовых чисел, характеризующих уровни, остается даже при и этом искажении прежним. Теория дает для случая прямоугольной ямы следующий порядок: S, P, D, S, F, P, G, D . . . (считая в порядке возрастающих энергий). Эта схема может быть проверена на RaC' . Измерения Резерфорда дают приближенные энергии девяти групп длиннопробежных α -частиц RaC' , что соответствует положениям ядерных уровней. Измерения Эллиса дают интенсивность девяти гамма-линий и, что еще важнее, коэффициент внутренней конверсии, что позволяет отличать дипольные переходы от квадрупольных (Тейлор и Мотт). Это дает схему уровней:

S	— 0,000·10° вольт
P	— 0,612
D	— 0,838
S	— 1,426
F	— 1,611
P	— 1,743
G	— (не найден)
D	— 1,779

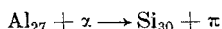
Не все уровни соответствуют длиннопробежным α -частицам, так как при большом азимутальном квантовом числе вероятность вылета α -частицы очень мала (для P в 1,3 раза, для D в 4 раза, для F в 16 раз и для G в 105 раз меньше, чем для S-уровня). Из 21 математически возможных переходов 11 на самом деле наблюдаются и находятся в полном согласии с принципом отбора. Из остальных 10 переходов два должны иметь интенсивность нуль из-за правила отбора, четыре падают в неисследованную область спектра, и четыре не наблюдаются вероятно из-за очень маленькой интенсивности.

Наличие α -частиц с меньшей энергией, чем в основной группе α -частиц (тонкая структура) связано, как известно с тем, что после распада ядро остается в возбужденном состоянии. Интенсивность быстро падает с увеличением энергии и с увеличением азимутального квантового числа в возбужденном состоянии. Если в основном состоянии α -частица имеет азимутальное квантовое число нуль, то интенсивности медленных групп будут соответственно весьма малы. Но если в основном состоянии это число не нуль (а есть некоторые указания на то, что так обстоит дело в случае радиоактивности актинона и вероятно также С-продуктов), то ядра исходного элемента и продукта

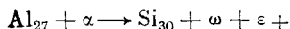
распада обладают разными вращательными моментами, и может случиться, что для некоторых медленных групп разность между вращательным моментом исходного ядра в возбужденном состоянии и продукта распада равна нулю, а это может привести к тому, что у короткопробежных α -частиц будет очень много (быть может, даже больше, чем в основной группе). У таких элементов очень легко обнаружить тонкую структуру α -лучей. Этим и объясняется существование интенсивных групп тонкой структуры у С-продуктов, у радиоактиния и у актинона. У остальных элементов тонкая структура лежит на грани измерения.

Замечательно, что разности уровней у ядра, возбужденного при α -распаде, почти в четыре раза меньше разностей уровней ядра Ra C', возбужденного при β -распаде, и это является аргументом в пользу того, что при бета-распаде гамма-излучение связано с возбуждением протонов.

Интересное сообщение сделал Ф. Жолио о позитронах. Известно, что Ф. Жолио и г-жа Жолио наблюдали трэки положительных электронов еще до того, как было сделано открытие Андерсона. Эти трэки исходили от источника нейтронов ($\text{Be} + \text{Po}$), но были истолкованы, как направленные к этому источнику трэки комптон-электронов, вызванных вторичными гамма-лучами, которые в свою очередь получились в результате рассеяния первичных гамма-лучей бериллия. Это сложное объяснение пришлось сделать потому, что существование положительных электронов казалось слишком мало вероятным. В настоящее время уже известно, что излучение $\text{Be} + \text{Po}$ способно приводить в разных веществах к возникновению положительных электронов. Отношение числа положительных электронов к числу отрицательных равно 0,05 в случае алюминия, 0,18 в случае меди, в случае свинца и 0,40 в случае урана. Если между облучаемым веществом и источником вставить два сантиметра свинца, то число позитронов уменьшается очень сильно, в то время как этот свинцовый фильтр задерживает нейтроны всего лишь на несколько процентов. Этим доказывается, что возникновение позитронов связано не с нейтронами, а с гамма-лучами (превышение числа отрицательных электронов над числом положительных объясняется наличием комптоновского рассеяния). Можно ожидать, что сумма энергий обоих членов пары (электрон + позитрон) будет на миллион вольт (на $2mc^2$) меньше, чем энергия гамма-кванта. Измерения в камере Вильсона, однако, показывают, что разность между энергией первичного кванта и величиной $2mc^2$ есть только верхняя граница для суммы энергий членов пары. Обыкновенно эта сумма несколько меньше, что по мнению Жолио указывает на то, что часть энергии уходит в виде рассеянного кванта. В дискуссии Дирак отметил другую возможность, которая представляется ему более вероятной, а именно, что остающаяся энергия поглощается ядром. Скобельцын указал на то, что его вильсоновские фотографии, относящиеся к комптоновскому эффекту в газах, также указывают на наличие пар, причем энергия положительного электрона систематически превосходит энергию отрицательного электрона той же пары. Затем Жолио остановился на своих недавних исследованиях возникновения позитронов при бомбардировке алюминия альфа-частицами полония. Из его опытов вытекает, что расщепление алюминия происходит в одних случаях по формуле



а в других случаях по формуле



где ϵ + обозначает позитрон, а π — протон. Эти опыты весьма важны, так как одно из их возможных толкований заключается в том, что протон в состоянии расщепляется на нейтрон + позитрон. Дирак указывает на то, что это расщепление, быть может, по аналогии с бета-распадом происходит с нарушением закона сохранения энергии. Впрочем, говорит Дирак, существование верхней границы в бета-спектре делает несохранение энергии очень маловероятным. Но сохранение энергии может быть примирено с калориметрическими измерениями Эллиса только в том случае, если ввести придуманные Паули гипотети-

ческие „нейтрино“ (частицы без заряда и с массой порядка массы электрона), которые вылетают из ядра вместе с бета-электроном и уносят с собою некоторую энергию. (Все прочие частицы, которые могли бы компенсировать размазанность энергий в бета-спектре — нейтроны и фотоны — поглотились бы калориметром.)

Гвидо Бек (Прага) сделал доклад о своей теории непрерывного бета-спектра. Бек обращает внимание на следующие факты: 1) На расстояниях от ядра, которые гораздо больше, чем линейные размеры ядра (e^2/mc^2), но меньше, чем комптоновская длина волны (h/mc), должна быть применима дираковская теория с ее переходами в отрицательные состояния и т. д. Здесь должны образовываться пары (позитрон + электрон), причем из принципа неопределенности явствует, что место рождения такой пары не может быть определено с точностью большей, чем h/mc .

2) Экспериментальным фактом является непрерывный характер бета-спектра, причем „нейтрино“ представляют единственное средство спасти закон сохранения энергии. Однако допущение „нейтрино“ не уменьшает, а увеличивает затруднения, так как, обладая ничтожно малой массой, они не будут внутри ядра подчиняться волновой механике.

3) Существует резкая граница непрерывного бета-спектра.

Гипотеза Бека заключается в следующем: ядро теряет определенную энергию ΔE , переходя из одного энергетического состояния в другое. Если эта энергия превосходит $2mc^2$, то за ее счет может в пространстве радиуса h/mc вокруг ядра образоваться „пара“. Кинетические энергии W и W' отрицательного и положительного электрона дают в сумме $\Delta E - 2mc^2$.

Поэтому энергия отрицательного электрона принимает всевозможные значения, но не превосходящие $\Delta E - 2mc^2$ (резкая граница!). Вероятности тех или иных значений W могут быть вычислены на основании теории Дирака. Получающееся распределение энергий среди отрицательных электронов хорошо совпадает с экспериментальными кривыми бета-спектров. Что касается энергии позитрона W' , то Бек постулирует, что она не может быть наблюдаема (как „нейтрино“): позитрон ловится ядром и его энергия исчезает бесследно. Теория Бека вызвала много споров среди участников конференции, но в общем не завоевала себе признания.