

ПРОБЛЕМА АТОМНОГО ЯДРА

И. Е. Тамм, Москва

Еще лет 5 назад среди большинства физиков господствовали очень пессимистические настроения относительно того, можно ли в ближайшем будущем ожидать существенных успехов в области физики атомного ядра. Очень многим казалось, что для того, чтобы сколько-нибудь существенно продвинуться вперед в этом трудном вопросе, необходимо такое развитие техники физического эксперимента, какое может быть осуществлено только в течение длинного ряда лет. Блестящие открытия последних лет показали, однако, что в пределах досягаемости современного физического эксперимента лежит громадная неизведанная область явлений, которая только сейчас начинает перед нами раскрываться и значение которой трудно переоценить.

Как от всякого проникновения в новую область, как от всякого действительно принципиального шага вперед, от развития физики ядра можно ожидать не только новых сведений о новых областях явлений, но совершенно несомненно, что эти новые знания позволят увидеть в новом свете и тот круг фактов, который относится к, казалось бы, хорошо изученным областям физики, и приведут к пересмотру и существенному расширению физических понятий и представлений вообще.

Вместе с тем, как и со всяким крупным, принципиально важным успехом науки, с развитием ядерной физики, несомненно, будут связаны практические применения, причем есть основание думать, что как раз в области физики ядра будущее сулит очень большие технические и практические перспективы.

Я позволю себе прежде всего кратко охарактеризовать основные особенности этой области физического исследования. К числу основных ее характеристик относится, с одной стороны, чрезвычайная малость геометрических размеров объекта исследования; по своим линейным размерам ядро составляет примерно лишь одну стотысячную долю атома. Изучение таких малых объектов представляет громадные трудности, но эти трудности, к счастью, частично компенсируются другой характерной особенностью этого круга явлений, а именно: огромной величиной энергии, с которой сопряжены явления ядерной физики. Энергия элементарных ядерных процессов примерно в миллион раз превышает энергию обычных физических и химических процессов. Это обстоятельство, с одной стороны,

облегчает исследования ядерных процессов, с другой стороны, оно обуславливает важные практические перспективы, о которых я буду говорить несколько позже.

Сейчас я хотел бы только отметить, что это сочетание малых размеров и громадности энергии вовсе не случайно и находит свое объяснение в современной квантовой механике. Дело в том, что согласно квантовой механике, в частности согласно принципу неопределенности, если какая-нибудь частица, например под влиянием каких-либо сил, принуждена находиться в малом участке пространства, то она не может не иметь большой кинетической энергии. Можно сказать, что если вы каким-либо образом сужаете, ограничиваете объем, внутри которого может находиться частица, то этим самым вы неизбежно повышаете ее кинетическую энергию. На основании квантовой механики можно вычислить, что кинетическая энергия частицы, находящейся в объеме, столь малом, как объем ядра, не может быть меньше десятков и даже сотен миллионов электрон-вольт. Но раз кинетическая энергия движения частиц в ядре столь велика и раз они при этом все же из ядра не вылетают, значит они удерживаются внутри ядра какими-то очень большими силами. Таким образом мы приходим к оценке энергии ядерных процессов, согласующейся с данными опыта и раскрывающей нам внутренние причины этого замечательного сочетания малости геометрических размеров с громадностью энергии.

Позвольте мне перейти к вопросу о строении ядра. Надо сказать, что в этом вопросе еще до 1932 г., который во многих отношениях является рубежом в развитии ядерной физики, господствовали совершенно неправильные представления. Считалось, что ядро состоит из протонов и электронов, и хотя представление о наличии в ядре этих двух сортов частиц наталкивалось на целый ряд непреодолимых противоречий, тем не менее не было видно никакого выхода из этих затруднений. Совершенно неожиданно в 1932 г. было открыто существование нейтрона — частицы, масса которой примерно равна массе протона и которая, с точки зрения атомных и ядерных масштабов, относится, таким образом, к числу тяжелых частиц, ибо как протон, так и нейтрон примерно в 2 тыс. раз тяжелее электрона. Однако, в отличие от протона и электрона, нейтрон не имеет электрического заряда. Открытие этой новой, незаряженной частицы явилось совершенно неожиданным, совершенно противоречащим электрической картине строения вещества, которая так укрепилась в течение последних десятилетий.

Как только нейтрон был открыт, Д. Д. Иваненко была высказана мысль о том, что ядра состоят только из протонов и нейтронов. Эта гипотеза легла в основу чрезвычайно важных работ ряда физиков, особенно Гейзенберга, и в настоящее время весьма хорошо обоснована, так что вряд ли может существовать сомнение в том, что ядра состоят только из протонов и нейтронов. Нейтрон представляет собой совершенно своеобразную частицу. Будучи лишен электрического заряда, он, насколько мы знаем, практически не взаимодействует с электроном. С другой стороны, существуют

чрезвычайно большие силы взаимодействия протона с нейтроном, и именно этими силами обуславливаются устойчивость и строение атомных ядер. Дело в том, что между входящими в состав ядра протонами существует электрическое отталкивание одноименных зарядов. Но несомненно, что на малых расстояниях ядерного масштаба эти силы отталкивания, преобладающие на больших расстояниях, играют совершенно второстепенную роль по сравнению с силами притяжения между протонами и нейтронами. Природа этих сил притяжения между протонами и нейтронами совершенно своеобразна. Эти силы не относятся ни к числу электрических или электромагнитных сил, ни к числу сил тяготения, т. е. не принадлежат ни к одному из классов сил, бывших нам ранее известными. Наши сведения о притяжении между нейтронами и протонами еще очень скудны. Я отмечу здесь только своеобразную зависимость этих сил от расстояния. Если по горизонтали откладывать расстояния R между двумя частицами, а вниз откладывать ту энергию притяжения между частицами, которая соответствует силам взаимодействия между ними, то сплошная кривая на рис. 1 будет со-

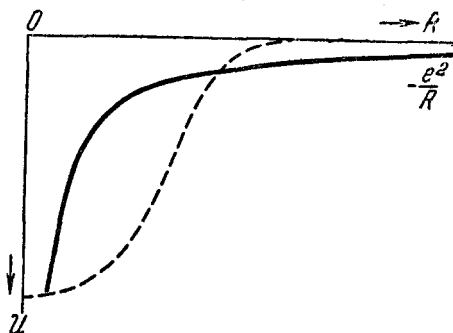


Рис. 1.

ответствовать обыкновенному кулонову притяжению противоположно заряженных частиц $-\frac{e^2}{R}$, в то время как пунктирная кривая в самом грубом приближении дает представление о зависимости специфических сил притяжения между протоном и нейтроном от расстояния. Видно, что на больших расстояниях эти силы не играют никакой роли по сравнению с силами электрическими,

тогда как на малых расстояниях, внутри ядра, силы притяжения между нейтронами и протонами, наоборот, существенно превышают силы кулонова отталкивания протонов друг от друга. Замечу, что выдержать на чертеже правильный масштаб невозможно, так что приведенный чертеж дает только очень грубое качественное представление о соотношении этих двух классов сил.

То обстоятельство, что специфические силы взаимодействия нейтронов и протонов до последнего времени нам были неизвестны, отчасти обуславливается именно тем, что они действуют только на весьма коротких расстояниях, при непосредственном сближении протона и нейтрона.

Надо сказать, что между частицами, входящими в состав ядра, вероятно существуют и другие силы помимо притяжения между протонами и нейтронами и помимо электрического отталкивания между протонами. Так, между протонами существуют, повидимому, также еще силы неэлектрического происхождения, вероятно

того же происхождения, что и силы, действующие между протонами и нейтронами. На это указывают последние опыты по аномальному рассеянию быстрых протонов в водороде. Возможно, далее, что существуют силы взаимодействия между нейтронами. Однако во всяком случае можно сказать, что основную роль во всех процессах, идущих в ядре, играют силы притяжения между протонами и нейтронами, которые схематически изображены на рис. 1, и что именно ими обуславливается устойчивость ядер.

С точки зрения принципиальной, открытие нейтрона имеет чрезвычайно большое значение. Оно показало несостоятельность электрической картины строения вещества, которая еще очень недавно безраздельно господствовала в физике, вернее оно установило границы круга применимости соответствующих представлений. Конечно, в той области, на основе изучения которой создавалась электрическая картина строения вещества, — в области атомных и электронных явлений, — в этой области она продолжает сохранять свою значимость, ибо взаимодействие электронов с ядром, так же, как и электронов друг с другом, целиком определяется электрическими силами. Более того, ввиду малости размеров ядра по сравнению с размерами атомов, при рассмотрении большинства физических и химических процессов ядро можно трактовать просто как электрический заряд, ибо структура ядра в большинстве случаев на этих процессах не сказывается.

Резкое противоречие между существованием незаряженного нейтрона и установившимися взглядами на электрическое строение вещества привело к тому, что в первое время после открытия нейтрона высказывалось предположение, что нейтрон представляет тесное объединение протона с электроном. В настоящее время можно быть убежденным, что это предположение неправильно и что нейтрон является столь же элементарной частицей, как и протон. В конце доклада я к этому вернусь и остановлюсь на некоторых фактах, доказывающих это положение.

Одним из наиболее важных способов изучения строения ядра, несомненно, является изучение ядерных реакций, т. е. таких реакций, в которых происходят не перегруппировки атомов, а превращения атомных ядер, превращения химических элементов. Хотя искусственное расщепление ядра было впервые осуществлено еще 15 лет назад Резерфордом, только в самые последние годы началось обильное накопление нового фактического материала. В настоящее время число ядерных реакций, известных нам, превышает 200.

Характерной особенностью этих реакций пока что является чрезвычайно ничтожная их эффективность. Для осуществления большинства реакций приходится бомбардировать какое-нибудь вещество потоком быстро движущихся заряженных частиц — протонов, альфа-частиц, дейтронов и т. д., причем очень небольшая доля частиц, которыми бомбардируется данное вещество, вступает в реакцию с ядрами вещества. Эта доля колеблется от одной стотысячной до одной миллиардной. Эта малая эффективность обу-

словливается прежде всего малостью размеров ядра, малой вероятностью того, что данная быстролетящая частица как раз попадет в одно из ядер бомбардируемого вещества, занимающих столь малую долю объема всего вещества. Помимо этого существенную роль играет также тот факт, что все тяжелые заряженные частицы, бомбардировка которыми вызывает ядерные реакции, обладают, как и все атомные ядра, положительным электрическим зарядом и потому на сравнительно больших расстояниях весьма сильно отталкиваются ядрами. И только при непосредственном соприкосновении частиц друг с другом вступают в игру специфические силы притяжения между протоном и нейтроном, преодолевающие силы электрического отталкивания.

Правда, если бомбардировать вещество не заряженными частицами, а нейтронами, эффективность реакций может стать сравнительно очень большой. Однако само получение нейтронов связано с реакциями первого типа, с малоэффективными реакциями, осуществляемыми или путем бомбардировки ядер заряженными частицами или путем освещения γ -лучами. Поэтому практического значения ядерные реакции и превращения химических элементов пока не могут иметь, хотя в некоторых специальных случаях они могут приобрести практическое значение уже в ближайшие годы. Так например, не исключена возможность, что в ближайшее время изготовление искусственных радиоактивных веществ путем соответствующих ядерных реакций окажется возможным в достаточно больших масштабах и что эти вещества будут широко применены в медицине.

Реакции, происходящие при бомбардировке различных веществ нейтронами, отличаются рядом интересных и своеобразных особенностей. Так например, оказывается, что в случае бомбардировки медленными нейтронами выход реакции бывает чрезвычайно большой, во много раз — иногда в тысячи раз — превышающий тот полезный выход реакции, который можно было предвидеть, исходя из простого подсчета вероятности попадания нейтрона в какое-либо из атомных ядер бомбардируемого вещества. Иными словами, число вступивших в реакцию нейтронов существенно превышает число попаданий нейтронов в ядра, которое можно рассчитать на основе простых геометрических соображений. Этот факт, совершенно непонятный с точки зрения классической физики, становится понятным, если принять во внимание волновые свойства нейтрона и учесть, что согласно квантовой механике в известных случаях мерой эффективных размеров частицы является длина волны, соответствующей этой частице, и что при малых скоростях частицы эта длина волны может быть очень велика.

Но если факты чрезвычайно большого выхода продуктов реакции при бомбардировке медленными нейтронами и находят принципиальное объяснение в волновой механике, то до самого последнего времени чрезвычайную трудность представляло объяснение некоторых особенностей этих реакций. В частности нельзя не упомянуть о замечательном явлении так называемого селективного поглощения

нейтронов, заключающегося в том, что при бомбардировке медленными нейтронами различных веществ весьма малые изменения скорости нейтронов в некоторых случаях приводят к колоссальному изменению вероятности захвата нейтронов ядрами бомбардируемого вещества, к колоссальному изменению количества вещества, прореагировавшего в результате бомбардировки. Интервалы скоростей, внутри которых нейтроны являются исключительно активными в смысле возбуждения реакции, оказываются весьма узкими, причем положение этих узких интервалов скоростей самым причудливым образом зависит от природы бомбардируемого вещества.

Эти явления представлялись чрезвычайно загадочными, и только около $2\frac{1}{2}$ недель назад появилась замечательная статья Бора, которая открыла возможность их объяснения. В этой статье Бору впервые удалось выяснить целый ряд характерных особенностей строения атомных ядер и связанных с этим особенностей ядерных реакций. Для того чтобы пояснить особенности строения ядер, Бор сравнивает его с хорошо известным строением атома или, вернее, со строением внешней электронной оболочки атома, которая окружает центральное ядро атома и в которой протекает большинство физико-химических процессов. Теория строения атома — строения электронной оболочки атома, представляет чрезвычайно трудную хотя бы потому, что, подобно теории ядра, она связана с проблемой движения большого числа взаимодействующих тел — десятков электронов, которые не только притягиваются ядром, но и отталкиваются друг от друга. Известно, что в классической механике даже проблема движения трех тел, взаимно притягивающих друг друга, представляет уже весьма серьезные затруднения. Понятно, насколько усложняется эта задача, когда взаимодействуют не три, а десять, иногда сотни тел. Для того чтобы разобраться в движении такой сложной системы, совершенно необходимо прибегнуть к приближенным способам.

В вопросах строения атома пригодным первым приближением оказалось следующее: в известных случаях можно считать заданным движение всех электронов в атоме, кроме одного, и затем исследовать движение этого одного электрона, который нас в данный момент интересует, в зависимости от заданного движения других электронов. Другими словами, проблему многих тел приближенно можно заменить проблемой одного тела, пренебрегая в первом приближении обратным действием выделенного нами электрона на движение остальных электронов. Этот приближенный способ позволил нам разобраться в строении атома. Бор подчеркивает в своей статье, что такого рода привычное нам приближение совершенно неприменимо в случае ядра ввиду того, что взаимная связь — взаимодействие частиц, входящих в состав ядра, чрезвычайно велика. В ядре нельзя выделить движение одной частицы из сложного движения всей системы, ибо движение каждой частицы существенно влияет на движения всех остальных частиц, т. е. нельзя заменить проблему многих тел проблемой одного тела, движущегося в заданном поле сил. Это, с одной стороны, чрезвычайно усложняет

теорию ядра, с другой стороны, учет этого обстоятельства позволяет разобраться в ряде характерных особенностей ядерных реакций. Для того чтобы пояснить свою мысль, Бор прибегает к следующей иллюстрации.

Представим себе (рис. 2) доску с чашеобразным углублением и шарик, который катится по доске и попадает в чашу. Если бы эта чаша была пуста, то шарик пробежал бы подну чаши и затем снова вылетел бы наружу, на поверхность доски. Но если в чаше находится большое количество других шариков, то первый шарик, попав в чашу, столкнется с каким-нибудь из находящихся в ней

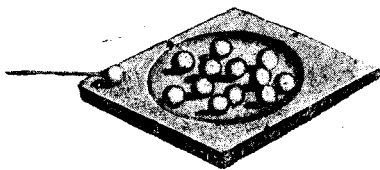


Рис. 2.

шариков и передаст ему свою энергию. В свою очередь и этот шарик, соударяясь с другими, передаст часть своей энергии соседям, и т. д. В результате энергия движения первого шарика весьма быстро распределится между шариками, находившимися в чаше, и шарики придут в состояние беспорядочного движения. При этом

ни один из находящихся в чаше шариков не будет иметь достаточно энергии для того, чтобы выскочить из чаши и подняться вверх на поверхность доски до тех пор, пока под влиянием случайных столкновений избыточная энергия, принесенная первым шариком, вновь не сконцентрируется случайно в одном из них, так что этот шарик сможет вылететь наружу. Таким образом существует такое полустойчивое состояние этой системы, когда избыточная энергия первого шарика, достаточная по своей величине для вылета его или другого шарика наружу, распределяется малыми порциями на все шарики, вследствие чего ни один из шариков в течение известного времени не может вылететь из чаши, и вся система продолжает находиться в состоянии полустационарного движения.

Нечто аналогичное происходит в случае ядерных реакций. Если представить себе вместо шарика нейтрон, то этот нейтрон, попадая в ядро, застревает в нем и передает ему свою энергию. При этом принесенная влетевшим в ядро нейтроном избыточная энергия передается не одному какому-нибудь определенному нейтрону или протону ядра, а благодаря чрезвычайно сильной связи, взаимодействию частиц в ядре, распределяется малыми порциями по всем частицам ядра. Поэтому должно пройти довольно значительное время, пока эта избыточная энергия не сконцентрируется опять на какой-либо одной частице или группе частиц, которая получит, таким образом, достаточно энергии, чтобы вылететь наружу из ядра.

Таким образом становится понятным существование промежуточных полустойчивых состояний ядра, отделяющих момент проникновения в ядро нейтрона от момента вылета из ядра этой же или какой-либо другой частицы. Этот латентный период аналогич-

чен своего рода радиоактивности, потому что энергия полуустойчивого — довольно длительного — состояния ядра достаточно велика для того, чтобы мог произойти распад ядра. Вылет из ядра в конце латентного периода одной или нескольких частиц и является таким распадом ядра, аналогичным радиоактивному распаду. Этот тип полуустойчивых состояний совершенно не встречается в электронной оболочке атома. Если влетевший в атом электрон ударом передаст свою энергию одному из электронов атома, то этот второй электрон, вообще говоря, со всей этой энергией вылетит из атома, ибо взаимодействие между электронами в атоме сравнительно настолько слабо, что обмен энергии между ними произойти не успеет.

Хотя в теории сложных молекул и приходится встречаться с полуустойчивыми состояниями, аналогичными только что описанным, однако в большинстве случаев в основе таких состояний лежит совершенно другой механизм. Нам были известны такие полуустойчивые состояния ядер, когда система (ядро) имеет достаточно энергии для того, чтобы произошел ее распад, сопровождающийся вылетом наружу частей или осколков этой системы (α -радиоактивность), однако существование этих состояний объясняется наличием сил отталкивания между частями, входящими в состав системы. Эти силы создают вокруг ядра так называемый потенциальный барьер, препятствующий вылету α -частиц из ядра наружу. Таким образом наличие потенциального барьера также создает возможность существования полуустойчивых состояний ядер с избыточной энергией, но природа этих состояний в этом случае совершенно иная.

Теория Бора, основную мысль которой я изложил, дала ему возможность впервые объяснить и избирательное поглощение нейтронов и целый ряд других особенностей ядерных реакций. Можно не сомневаться, что эта теория будет иметь очень большое значение для всей ядерной физики. Бору мы были обязаны выяснением строения атома и теорией строения периодической системы элементов. Повидимому, теперь тому же Бору удалось выяснить основные особенности строения ядра.

Я хотел бы теперь после вопроса о строении ядра остановиться на другом замечательном открытии, тоже относящемся к 1932 г., на открытии позитрона. Хотя позитрон и не входит в состав ядра, однако открытие его существования имело громадное значение для всей ядерной физики. История открытия позитрона совершенно отлична от истории открытия нейтрона. В то время как нейтрон был открыт совершенно неожиданно, существование позитрона было предсказано теоретически.

В 1930 г. Дирак, исходя из анализа основных положений квантовой механики в сочетании с основными положениями теории относительности, исходя в частности из собственных своих работ, в которых впервые был дан известный синтез этих двух независимо друг от друга развивавшихся теорий, пришел к парадоксальному выводу, что если основы этих теорий — квантовой механики,

с одной стороны, и теории относительности, с другой, — верны, то в природе должны существовать частицы положительного электрического заряда, отличающиеся от электрона только знаком своего заряда и имеющие ту же массу, что и электрон. В отличие от протонов, тоже обладающих положительным зарядом, но обладающих массой в 2000 раз большей, чем электрон, эти частицы были названы позитронами.

В первых работах Дирака по этому вопросу имелись некоторые неправильные положения, не было ясно, что масса положительных частиц должна быть равна массе электрона, но это недоумение скоро разъяснилось.

Согласно теории Дирака эта гипотетическая частица — позитрон — должна была обладать в высшей степени поразительными свойствами. При соударении позитрона с электроном обе эти противоположно заряженные частицы могут взаимно нейтрализоваться и исчезнуть, причем энергия этой „пары“ частиц — электрона и позитрона — переходит в иную форму энергии, например в энергию света. Возможен и обратный процесс, когда при известных условиях свет очень большой частоты (γ -лучи или очень жесткие рентгеновы лучи) может исчезнуть при одновременном возникновении за счет его энергии „пары“ противоположно заряженных частиц — электрона и позитрона. Эти процессы получили весьма неудачное название аннигиляции материи и материализации энергии, которые совершенно не соответствуют смыслу философского понимания термина „материя“. Благодаря процессам исчезновения (нейтрализации) „пары“ с переходом ее энергии в энергию света длительность существования позитронов в земных условиях чрезвычайно мала, потому что за очень короткое время каждый позитрон, наверное, соударится с каким-либо электроном, которые всюду на земле присутствуют в избытке, и при этом соударении нейтрализуются и исчезнет.

Эта теория Дирака казалась настолько парадоксальной, что никому не пришла мысль проверить ее экспериментально. Впрочем, и сам автор считал ее слишком парадоксальной, чтобы доверять ее выводам, хотя в исходных положениях теории нельзя было найти каких-либо уязвимых мест. Совершенно независимо от этой теории в 1932 г. позитрон был неожиданно открыт американцем Андерсоном при исследовании космических лучей. Вскоре после этого открытия было установлено, что с помощью γ -лучей можно легко получать позитроны в лабораторных условиях. В настоящее время получение позитронов не представляет трудности. Замечательно, что не только самое существование позитрона, но и различные его свойства: вероятность нейтрализации позитрона при соударении его с электроном, вероятность возникновения „пары“ за счет энергии света, — все эти явления и факты, как оказалось, находятся в полном соответствии с теорией Дирака. Несомненно, что в истории физики едва ли можно указать другой столь блестящий пример, полностью подтвердившийся на опыте научного предсказания, как триумф теории Дирака.

Надо сказать, однако, что, несмотря на несомненную ценность и замечательный успех теории Дирака, теория эта все же имеет уязвимые места. С одной стороны, в ней имеются трудности скорее более формального характера, связанные с разделением уровней отрицательной и положительной энергий при наличии силовых полей, но есть и некоторые недостатки более глубокого, принципиального характера.

Дело в том, что теория Дирака оперирует представлениями о существовании бесконечного числа электронов, заполняющих все пространство и находящихся в так называемых состояниях отрицательной энергии, но благодаря равномерности, с которой они заполняют все пространство, недоступных нашему наблюдению. Только тогда, когда равномерность заполнения пространства электронами отрицательной энергии нарушается, это отклонение от равномерности (так, называемая „дырка“) проявляется в виде появления положительного электрического заряда — позитрона. Введение в рассмотрение такого недоступного наблюдению фона электронов отрицательной энергии представляется с общей точки зрения мало удовлетворительным, и я не думаю, чтобы оно могло надолго удержаться в науке. В настоящее время мы не знаем, каким образом можно было бы видоизменить теорию Дирака, имеющую громадные заслуги и, несомненно, отражающую существенную долю истины. Но мне все же представляется, что современная ее форма претерпит в будущем существенные изменения.

Для пояснения своей мысли напомним, например, что так называемые преобразования Лоренца были впервые получены Лоренцом на основе представления о существовании неподвижного и недоступного наблюдению эфира. Впоследствии теория относительности отбросила это совершенно неудовлетворительное представление, но полностью сохранила самые преобразования Лоренца, имеющие для нее совершенно фундаментальное значение.

Открытие позитрона нарушило сложившееся за последние 50 лет глубокое убеждение в вечности и неразрушимости электрона. Когда был открыт закон сохранения электричества, который и поныне представляется совершенно незыблемым, то этот закон вначале понимался в том смысле, что алгебраическая сумма электрических зарядов ни в каких процессах не может изменяться. Возникновение же и исчезновение в равном количестве положительного и отрицательного электричества (например, при электризации трением) при этом считалось вполне возможным. Однако с конца прошлого века успехи электронной теории привели к тому, что эта общая формулировка закона сохранения электричества была постепенно вытеснена более узким утверждением, согласно которому не только алгебраическая сумма зарядов сохраняется неизменной, но и каждый отдельный элемент заряда — электрон или протон — является неизменной и вечной частицей. Открытие позитрона и явлений нейтрализации позитрона и электрона, с одной стороны, и возникновения „пар“, с другой, ведет к тому, что мы от этого представления о вечности электрона вынуждены отказаться

и должны вернуться к исходной форме закона сохранения электричества, относящейся лишь к алгебраической сумме зарядов. Правда, современная Диракова теория позитрона формально основывается на представлении о сохранении числа электронов, но это достигается лишь введением в рассмотрения ненаблюдаемого фона электронов отрицательной энергии — представления, носящего формальный характер, которое вряд ли надолго сохранится в науке.

Когда были открыты существование позитрона и явления образования и исчезновения „пар“, то сразу удалось ответить на один важный недоуменный вопрос, возникавший в связи с явлениями радиоактивного β -распада. При β -распаде из ядра вылетает электрон (в отличие от α -распада, когда из ядра вылетает тяжелая положительная α -частица). Факт вылета электронов из ядра считался до последнего времени несомненным доказательством того, что электроны всегда имеются в ядре, хотя это представление и приводило к неразрешимым противоречиям. Сейчас можно быть убежденным, что ядра состоят только из протонов и нейтронов и что никаких электронов в ядре не существует, причем при β -распаде электроны возникают в самый момент вылета из ядра за счет существующего уменьшения энергии ядра и соответствующего изменения его заряда так же, как при излучении света атомом фотон, или световой квант, возникает в момент вылета из атома в самом акте излучения. Заряд, который уносит с собой электрон, компенсируется соответствующим изменением заряда ядра, так что общая сумма зарядов не изменяется при β -распаде.

В настоящее время нам известны не только явления радиоактивного β -распада, в которых из ядер вылетают электроны, но и явления позитронного распада, в которых из ядер вылетают позитроны. Путем различных ядерных реакций удается изготовлять неустойчивые, так называемые искусственно радиоактивные ядра, которые потом распадаются по законам радиоактивного распада и выбрасывают из себя в некоторых случаях электроны, в некоторых же случаях позитроны. Эти явления позитронного и электронного распада представляют чрезвычайно большой интерес. Ввиду того что законы обоих явлений весьма сходны между собой, оба эти явления часто называются β -распадом. Приведем два наудачу взятых примера искусственной радиоактивности. Например, помимо устойчивого известного всем азота ${}^{14}_7\text{N}$ с атомным весом 14 и порядковым номером 7 имеются два неустойчивых изотопа азота, т. е. два сорта ядер, с тем же зарядом 7, но с различной массой: в одном случае 16 (${}^{16}_7\text{N}$), в другом случае 13 (${}^{13}_7\text{N}$), которые получают искусственно в результате некоторых ядерных реакций. Азот ${}^{16}_7\text{N}$, распадаясь, дает кислород ${}^{16}_8\text{O}$, причем из него вылетает электрон. Сумма зарядов — так как заряд ядра кислорода равен 8 — сохраняется при этом распаде ($7=8-1$).

С другой стороны, азот ${}^{13}_7\text{N}$, распадаясь, дает позитрон и ядро углерода ${}^{13}_6\text{C}$ с зарядом 6, правда, не обычного углерода

с массой 12, а изотопа углерода с массой 13, но это не существенно.

Можно толковать такого рода процессы как превращение одного из внутриядерных протонов в нейтрон или наоборот. Например, в азоте $^{16}_7\text{N}$ имеется 7 протонов с положительным зарядом и 9 нейтронов без зарядов (общая масса равна 16). При распаде этого ядра из него вылетает электрон, причем один из его нейтронов превращается в протон. Таким образом получается ядро кислорода, в котором имеется 8 протонов вместо 7 и 8 нейтронов вместо 9.

Наоборот, при распаде азота $^{13}_7\text{N}$ происходит сопровождаемое вылетом позитрона превращение одного из протонов в нейтрон. Таким образом можно сказать, что в первом примере радиоактивного распада ($^{16}_7\text{N}$) мы имеем случай превращения нейтрона в протон и электрон, а во втором примере ($^{13}_7\text{N}$) — превращения протона в нейтрон и позитрон.

Возможность такого рода превращений тяжелых частиц — нейтронов и протонов — друг в друга при одновременном вылете соответствующих легких частиц — электронов и позитронов — является чрезвычайно важным фактом. В частности этот факт является одним из подтверждений того, что нейтрон и протон являются равноправными частицами. Если бы имели место только превращения одного типа, например только превращения нейтрона в протон и электрон, то можно было бы утверждать, что протон является элементарной частицей, тогда как нейтрон состоит из протона и электрона. Но поскольку протон также может превращаться в нейтрон и позитрон, то нужно считать эти превращения переходом тяжелой частицы из заряженного состояния (протон) в незаряженное (нейтрон) и обратно, причем эти переходы сопровождаются излучением соответствующей энергии и заряда.

Надо сказать, что когда говорят о наличии определенного числа протонов и нейтронов в ядре, то это надо понимать с известной осторожностью. Дело в том, что взаимодействие протонов и нейтронов внутри ядра настолько сильно, силы, действующие на эти частицы, настолько велики, что нельзя считать, что электрические и магнитные свойства протонов и нейтронов в ядре таковы же, как и свойства свободных нейтронов и протонов вне ядра.

Несомненно, дело обстоит не так просто. В частности несомненно, что нельзя указать, является ли данная внутриядерная тяжелая частица протоном или нейтроном, потому что внутри ядра происходит постоянное превращение нейтронов в протоны и обратно.

Исследование радиоактивного β -распада имело чрезвычайно большое значение для всей области ядерных явлений.

Рассказывая здесь о β -распаде, я пользовался вполне естественным представлением, что если электроны вылетают из ядра, то уносимая ими энергия берется из запаса внутриядерной энергии.

Однако при экспериментальной проверке это естественное, казалось бы, предположение не подтвердилось. Дело в том, что можно измерить баланс энергии при радиоактивном β -распаде. Сделать это экспериментально не так просто, но все же возможно. И вот оказалось, что этот баланс энергии не сходится.

Когда лет 6—8 назад это обстоятельство стало известным, то с самого начала в среде физиков образовалось два течения. Одна группа физиков считала это нарушение закона сохранения энергии вполне реальным и считалась с ним как с определенным фактом. Другая же группа физиков, прежде всего Паули, высказывала предположение, что это несохранение энергии может объясняться просто тем, что при β -распаде часть энергии ядра уносится в форме, которая пока не может быть обнаружена нашими измерительными приборами. Было высказано предположение, что одновременно с электроном вылетает из ядра некоторая иная, гипотетическая частица, которая была названа нейтрино. Эта частица, как и нейтрон, лишена заряда, но в отличие от нейтрона обладает очень малой массой; может быть даже ее масса, как и масса светового кванта, целиком сводится к массе движения. Предполагалось, что при β -распаде часть энергии уносится этой частичкой — нейтрино, — вылетающей одновременно с электроном из ядра, но ускользающей пока от непосредственного наблюдения.

Существенный успех этой гипотезы относится к 1934 г., когда Ферми удалось построить настоящую теорию β -распада, основанную на законе сохранения энергии и на предположении о вылете нейтрино из ядра одновременно с вылетом электрона. На основе этой теории удалось объяснить ряд особенностей β -распада. Например, при радиоактивном распаде электроны вылетают из ядра с самыми разнообразными энергиями. Ферми удалось объяснить, по крайней мере в общих чертах, количественное распределение этих электронов по энергиям. Также удалось объяснить экспериментальный факт определенной зависимости между быстротой распада радиоактивных элементов, т. е. тем, что называется периодом распада, и той максимальной энергией, с которой могут вылетать электроны при распаде данного элемента.

Неудивительно, что теория Ферми получила весьма широкое признание. Нужно сказать, что убедительность этой теории в значительной степени связана с тем, что, как показал Ферми, гипотеза об одновременном с электроном вылете из ядра еще одной частицы — нейтрино — не является просто гипотезой, специально придуманной только для спасения закона сохранения энергии. Почему, собственно говоря, электрон не может вылететь из ядра без партнера, без этой гипотетической частицы нейтрино? Анализ закона сохранения моментов количества движения показал, что вылет одного электрона при распаде ядра невозможен. Из закона сохранения моментов количества движения в его квантово-механической уточненной форме следует, что превращение нейтрона в протон и электрон невозможно, если одновременно с этим не зарождается еще одна частица — нейтрино. Подобно этому и превращение протона в нейтрон и позитрон

обязательно должно сопровождаться вылетом нейтрино. Это обстоятельство существенно повышает убедительность теории Ферми.

Вместе с тем теория Ферми позволила существенно продвинуться вперед в вопросе о природе сил взаимодействия между протонами и нейтронами, в вопросе, который играет столь важную роль для всей ядерной физики.

Как только был открыт нейтрон, Гейзенберг сразу же высказал определенную гипотезу о природе своеобразных неэлектрических сил взаимодействия между протоном и нейтроном, которая по необходимости сводилась в то время к довольно расплывчатому указанию на связь этих сил с возможностью обмена зарядами между нейтроном и протоном, т. е. с возможностью превращения протона в нейтрон одновременно с превращением другого нейтрона в протон.

Так как такая возможность обмена зарядами между протоном и нейтроном непосредственно заключена в теории Ферми, то, естественно, возникает мысль построить на основе теории β -распада теорию ядерных сил взаимодействия.

В 1934 г., около двух лет назад, я высказал гипотезу, что таким образом можно связать две совершенно разнородные области явлений: β -распад, с одной стороны, и силы связи ядерных частиц, с другой, и подвергнул эту гипотезу количественной обработке. Одновременно со мной эта мысль была высказана также Д. Д. Иваненко.

Идея тех расчетов, которые мною были произведены, заключается в следующем. Нам хорошо известны явления электромагнитные, связанные с существованием электрических зарядов, т. е. электронов и протонов. В электромагнитных явлениях мы прежде всего встречаемся с излучением энергии зарядами в форме света и других электромагнитных волн или с точки зрения гипотезы световых квантов — в форме фотонов или световых квантов. Таким образом электрические заряды, с одной стороны, характеризуются способностью излучать энергию в форме света. С другой стороны, они характеризуются тем, что между ними имеются определенные электрические силы взаимодействия, так называемые кулоновы силы. Эти два круга явлений — излучение света и взаимодействие зарядов — не являются независимыми друг от друга, а органически между собой связаны. И кулоновы силы зависят от величины заряда, которой характеризуется данная частица, и излучение света данной частицей зависит от той же величины ее заряда. И если знать законы взаимодействия заряженных частиц, то на основании этого можно теоретически определить законы излучения света. Обратное, если знать законы излучения света электрическими зарядами, то отсюда можно теоретически вывести силы взаимодействия этих зарядов. Так что, повторяю, эти два круга явлений между собой тесно связаны.

Перейдем теперь к нейтронам и протонам. Они также характеризуются способностью излучать энергию, но только не в форме световой, а в форме пары частиц, состоящей либо из электрона и нейтрино, либо из позитрона и нейтрино, т. е. в форме того самого излучения, которое проявляется в явлениях β -распада. И так

же между нейтронами и протонами существуют определенные силы взаимодействия. Эти два круга явлений должны быть связаны между собой внутренней связью, подобно тому, как это имеет место в электромагнитных явлениях.

Эта мысль может быть облечена в количественную форму. Исходя из теории β -распада, данной Ферми, и из экспериментальных данных относительно быстроты протекания радиоактивного β -распада, можно теоретически вычислить силу взаимодействия между протоном и электроном. Когда я впервые произвел эти вычисления около двух лет назад, результаты оказались в высшей степени неудовлетворительными. Величина сил взаимодействия между протонами и нейтронами, вычисленная на основании данных о β -распаде, оказалась чуть ли не в 10—12 раз меньше величины, непосредственно определяемой из опытных данных. Эта неудача привела к тому, что я отбросил эту гипотезу как не согласующуюся с опытом и пришел к мысли о некоторой иной возможной природе сил взаимодействия между нейтроном и протоном. На разработку этой второй гипотезы я затратил около полутора лет и только в конце прошлого года убедился в ее несостоятельности.

Между тем первая моя гипотеза за это время получила существенное развитие. Во-первых, Бетэ и Пайерльс показали, что в принципе возможно, не нарушая физического содержания теории Ферми, так изменить математическую форму законов излучения легких частиц (электронов, позитронов, нейтрино), сопровождающего превращение нейтрона в протон и обратно, чтобы эти законы излучения соответствовали нашим сведениям о β -распаде и чтобы вместе с тем из них вытекали по указанной мною схеме силы взаимодействия тяжелых частиц правильной величины. Иными словами, они показали, что трудности, с которыми встретилась моя гипотеза и которые меня лично испугали, могут быть устранены некоторым математическим видоизменением теории, не нарушающим ее физической сущности.

Во-вторых, Виг в Риме указал, что, основываясь на моей гипотезе, возможно, хотя бы качественно, по порядку величины, объяснить некоторые аномальные свойства тяжелых частиц, которые до последнего времени представлялись весьма загадочными. А именно протон, как и электрон, помимо заряда обладает и магнитным моментом, т. е. в известном отношении эквивалентен магнитной стрелке. Опыт показал, что этот магнитный момент протона имеет аномальную величину, т. е. не ту величину, которую нужно было ожидать согласно теории Дирака, тогда как магнитный момент электрона согласуется с этой теорией. Еще более поразительно, что, как вытекает из совокупности наших сведений о нейтроне, и нейтрон, не обладая электрическим зарядом, повидимому, все же обладает некоторым магнитным моментом, тогда как с точки зрения современной теории все магнитные свойства и явления связаны с движением электрических зарядов. Этот парадоксальный факт с точки зрения развитой выше концепции также находит свое объяснение, по крайней мере с качественной стороны.

Наконец, Гейзенберг указал, что в рамках этих представлений оказывается возможным понять качественно величину массы протона и нейтрона. Подобно тому как масса электрона является массой электромагнитного происхождения, так масса протона и нейтрона в основном связана со специфическими силами взаимодействия тяжелых частиц неэлектрического происхождения, так же как масса электрона связана с кулоновыми силами.

Надо сказать, что в настоящее время ни в коей мере нельзя считать, что изложенная теория уже достигла удовлетворительного состояния. Если оказывается возможным качественно охватить разнообразный круг явлений, то в количественном развитии теории встречаются большие трудности. Если между вычисленной и наблюдаемой величинами сил взаимодействия тяжелых частиц и нет столь большого разрыва, как казалось вначале, то все же сколько-нибудь удовлетворительное количественное объяснение всего интересующего нас круга явлений пока оказывается невозможным, так что теория, несомненно, нуждается в дальнейшей разработке. Трудности, связанные с количественной формулировкой теории, могут иметь разнообразные причины. Во-первых, эти трудности могут быть связаны с основной гипотезой о существовании нейтрино, которая до сих пор является частицей гипотетической в отличие от нейтрона и позитрона, существование которых не подлежит сомнению. Во-вторых, если нейтрино и существует, то могут быть сомнения в том, что уравнения движения нейтрино, которыми мы пользуемся в построении теории, соответствуют действительности.

И, наконец, третья причина может лежать в том, что для развития количественной стороны нашей теории необходимо знание свойств электронов, которые, с одной стороны, являются промежуточным звеном в механизме сил взаимодействия и, с другой, возникают в результате β -излучения. При этом существенную роль играют электроны чрезвычайно больших энергий, таких энергий, при которых современная теория электрона заведомо перестает быть применимой.

Весьма возможно, что более точная теория электронов больших энергий внесет изменения в количественные результаты современной теории взаимодействия тяжелых частиц. Повторяю, что в количественном отношении современная теория очень далека от совершенства. Однако она позволяет охватить единым образом очень разнообразный круг явлений β -распада, силы взаимодействия, определяющие строение атомных ядер, величину магнитных моментов и величину массы тяжелых частиц; она получила в настоящее время широкое признание, и пока не существует никакой другой теории, которая позволила бы иным образом объяснить известные нам факты.

Я хотел бы теперь очень кратко коснуться того вопроса, который уже дебатировался в прениях по предыдущим докладам в связи с недавно появившейся работой Шенкланда. Результаты этой работы, относящейся к области рассеяния γ -лучей, области, очень тесно связанной с кругом явлений ядерной физики, противоречат закону сохранения энергии. Эти результаты не могут считаться пока окон-

чательными, необходимы их тщательная проверка и повторение, и трудно сказать, к чему эта проверка приведет. С другой стороны, эти опыты никак нельзя сбросить со счетов. Если проверка подтвердит результаты опытов Шенкланда, то очень трудно предвидеть те изменения, которые в связи с этим придется внести в современную физическую теорию *.

Я хотел бы в связи с этим остановиться на тех недоразумениях, которые часто встречаются, когда поднимается вопрос о несохранении энергии. А надо сказать, что экспериментальные исследования интересующего нас круга явлений не в первый раз ставят нас перед этим вопросом: вспомним сказанное выше о балансе энергии при β -распаде.

Прежде всего не может быть никакого сомнения в справедливости закона сохранения энергии в отношении громадного круга большинства обычных физических и химических явлений и даже в отношении большинства ядерных реакций.

Хотя я вовсе не думаю, что в настоящий момент, пока опыты Шенкланда не проверены и не уточнены, имеется почва для плодотворного обсуждения возможности несохранения энергии, все же, поскольку перед нами за последнее время этот вопрос вставал неоднократно, мне хочется внести ясность в самую постановку вопроса. Необходимо строго отличать вопрос о справедливости данного конкретного физического закона сохранения энергии от вопроса о справедливости гораздо более общих и глубоких философских положений. Несомненно, что научное познание не может не базироваться на положении о вечности и неразрушимости материи и движения в общем, философском смысле этих терминов. Эта необходимая общая предпосылка всякого научного познания в частной области науки — в физике — находила свое выражение в том, что физика всегда основывалась и будет основываться на тех или иных законах сохранения. Но вопрос о том, имеет ли данный частный вид закона сохранения — закон сохранения энергии — всеобщую значимость, или же применимость этого закона сохранения ограничена определенным кругом явлений, причем он сам является пригодным для данного ограниченного круга явлений следствием некоего более общего закона сохранения, содержание которого мы пока не можем предвидеть, — этот вопрос может решить только опыт.

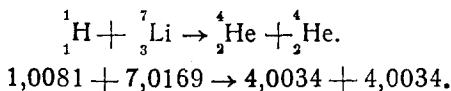
Я уже указывал, что не может быть никакого сомнения в применимости закона сохранения энергии к большому кругу ядерных процессов, не говоря уже об обычных химических и физических процессах. Этот закон во всяком случае применим ко всем тем процессам, в которых скорости частиц не слишком велики, т. е. к большинству ядерных реакций. В последнее время изучение ядерных реакций привело к блестящему подтверждению закона сохранения энергии и того закона пропорциональности энергии и массы,

* Проверка опытов Шенкланда, выполненная в самое последнее время одновременно в нескольких лабораториях, показала несостоятельность этих опытов. *Прим. при корректуре.*

который является одним из наиболее важных выводов теории относительности Эйнштейна. Согласно этому закону Эйнштейна всякое изменение массы сопровождается соответствующим изменением энергии и, наоборот, всякое изменение энергии связано с соответствующим изменением массы. Это положение до последнего времени нельзя было подвергнуть непосредственной опытной проверке, потому что преобразования энергии в обычных физико-химических процессах слишком малы, чтобы можно было заметить соответствующие им чрезвычайно малые изменения массы. Поэтому приходилось обращаться, главным образом, к соображениям астрофизического порядка. Только в области ядерных процессов, где мы имеем дело с громадными энергиями, изменение массы, соответствующее данному изменению энергии, становится доступным для измерения и, как оказывается, полностью соответствует предсказаниям теории.

Позвольте привести конкретный пример. Одна из наиболее хорошо изученных ядерных реакций происходит при бомбардировке лития быстрыми ядрами водорода. Конечно, водород нужно предварительно ионизировать, что может быть осуществлено, например, помещением в водород накаливаемой металлической нити. Получаются голые ядра водорода, которые ускоряются электрическим полем до больших скоростей и затем падают на пластинку, содержащую литий. В результате соударения ядер водорода и лития получаются два ядра гелия (α -частицы), которые разлетаются в противоположные стороны со очень большой кинетической энергией, существенно превышающей кинетическую энергию исходных частиц водорода и лития. Эти разлетающиеся α -частицы можно наблюдать самыми разнообразными методами, например можно наблюдать вспышки, получающиеся при ударе α -частиц о фосфоресцирующий экран.

На этой реакции можно проверить закон сохранения массы. Можно измерить массы всех входящих в реакцию атомов и записать значения масс следующим образом:



Сумма масс слева равна 8,0250, сумма масс справа равна 8,0068, таким образом в этой реакции масса продукта на 0,0182 единицы меньше исходной массы. Это кажущееся нарушение закона сохранения массы объясняется тем, что в данной реакции выделяется очень большая энергия. Действительно, энергия разлетающихся в результате реакции ядер гелия, как показывает непосредственное измерение их скорости, на $2,72 \cdot 10^{-5}$ эрг превышает начальную энергию движения ядра водорода (ядро лития до реакции заметной скорости не имеет). Согласно теории относительно-сти этому количеству энергии соответствует определенная масса, численно равная энергии, деленной на квадрат скорости света. Выразив эту массу в атомных единицах, получаем 0,0182, т. е. как раз разницу между исходной массой и массой продуктов реакции,

Таким образом непосредственные измерения полностью подтверждают закон сохранения энергии и закон сохранения массы в той обобщенной их форме, которая следует из теории относительности. Приведенные данные о массах и энергии рассматриваемой реакции можно истолковать так, что при проверке закона сохранения масс нужно принимать во внимание зависимость массы частицы от скорости. Когда скорость разлетающихся ядер гелия постепенно уменьшается благодаря соударениям со встречающимися на их пути атомами, их масса соответственно уменьшается, причем избыток массы вместе с энергией передается окружающим телам (например, в форме тепловой энергии).

Экспериментальная проверка закона сохранения энергии и соотношения Эйнштейна в области ядерной физики сыграли весьма положительную роль в смысле улучшения техники экспериментирования. Дело в том, что массы ядер непосредственно измеряются специальными приборами, в частности масс-спектрографом Астона. Когда были изучены первые ядерные реакции, то было проверено соотношение Эйнштейна, с одной стороны, на основе данных о массах ядер, полученных Астоном, а с другой — на основе прямых измерений кинетической энергии ядер до и после реакции. Результаты измерений подтверждали законы сохранения. Однако в дальнейшем, по мере увеличения точности изучения ядерных реакций, обнаружились расхождения между данными опытов и законами сохранения. Вскоре было высказано предположение, что дело здесь не в том, что основные положения теории не верны, а в том, что в измерения Астона вкралась экспериментальная ошибка.

Действительно, наметившиеся расхождения побудили Астона проконтролировать свои измерения, в результате чего он нашел в своей установке определенный источник экспериментальных ошибок. Устранение этих недостатков привело к полному экспериментальному подтверждению как закона сохранения энергии, так и закона эквивалентности массы и энергии.

Внутри ядер таится совершенно неисчерпаемый запас энергии. Если человечество овладеет этим запасом, а рано или поздно это должно случиться, то это будет иметь решающее значение для всей нашей техники и экономики. Однако в настоящее время всякие предсказания о сроке, когда практическое овладение ядерной энергией станет возможным, были бы совершенно беспочвенны. Из истории физики хорошо известно, что при оценке срока, отделяющего фундаментальное научное открытие, открытие новой области физических явлений, от практического использования этого открытия, самые лучшие умы человечества нередко впадали в грубейшие ошибки да и не могли не впадать. Когда Герц открыл электромагнитные волны, ему был направлен специальный запрос: можно ли применить это открытие для беспроволочного телеграфирования. Он ответил, что нельзя. А через очень короткое время, лет через 8, беспроволочное телеграфирование было осуществлено Поповым и Маркони. С другой стороны, бывали ошибки и противоположного характера. После изобретения радиотелеграфии

Поповым и Маркони в конце прошлого столетия очень многим казалось, что дальнейшее применение электромагнитных волн для передачи энергии без проводов на расстояние не представит особых затруднений. Однако до сих пор эта проблема остается в таком же неутешительном положении, как и 30—35 лет назад, и разрешение ее представляется нам безнадежным.

В настоящее время мы только начинаем проникать в совершенно новую область явлений. Наши знания о ядре находятся в столь зачаточном состоянии, что мы даже не можем разумно поставить самый вопрос о практических путях к овладению запасами ядерной энергии. Вопрос этот практического значения в настоящее время не имеет. Для того чтобы вопрос об овладении ядерными явлениями приобрел практическое значение, нужно прежде всего познать эти явления. В этом отношении перед физикой раскрываются громадные перспективы, и можно надеяться, что чисто научные исследования рано или поздно откроют возможность практического овладения ядерной энергией.

Я закончил обзорную часть своего доклада и хотел бы еще сказать несколько слов по двум вопросам.

Во-первых, что касается развития работ по ядерной физике у нас в Союзе, то здесь в связи с докладом А. Ф. Иоффе уже говорилось об имеющихся у нас в этом отношении успехах. Действительно, как наиболее сильную нашу ядерную лабораторию необходимо в первую очередь отметить лабораторию Ленинградского физико-технического института, работы которой имеют очень ценный характер и которая за последние годы развивается весьма успешно. Из работ этой лаборатории прежде всего нужно отметить исследования Д. В. Скобельцына. В первой группе исследований Д. В. Скобельцыным был выработан метод измерения энергии заряженных частиц путем помещения камеры Вильсона в магнитное поле. Это один из самых ценных методов всей этой области физики, в настоящее время получивший всеобщее распространение. Этот метод в частности позволил Скобельцыну первому обнаружить пути космических лучей в камере Вильсона и лег в основу целого ряда его исследований. В самые последние годы Скобельцын получил чрезвычайно интересные результаты при изучении рассеяния и поглощения быстрых электронов при прохождении их через вещество. Результаты получились совершенно неожиданные, противоречащие ожиданиям современной теории электронов. Нужно отметить, что противоречия между опытом и современной теорией возникают в последнее время в разнообразных областях ядерной физики, и возможно, что существует внутренняя связь между многократно упоминавшимися данными опытов Шенккланда и новыми результатами Д. В. Скобельцына. Я думаю, что Д. В. Скобельцын в своем выступлении в дискуссии подробнее коснется этих исследований, а также остановится на проблеме космических лучей. Изучение космических лучей имеет чрезвычайно важное значение для всей ядерной физики, но за недостатком времени я принужден был опустить этот вопрос в своем докладе.

В том же Ленинградском физико-техническом институте ведутся чрезвычайно ценные, большого научного значения работы братьями Алихановыми, которые выработали новый очень точный метод исследования β -радиоактивности и определения энергии электронов и позитронов. Экспериментальные данные братьев Алихановых являются основным материалом, имеющимся в настоящее время по этому вопросу. В частности полученные ими в последнее время данные о β -спектре RaE имеют очень большое значение для всей теории вопроса.

Чрезвычайно интересны и ценны также работы И. В. Курчатова в том же институте по свойствам нейтрона и по изучению ряда ядерных реакций.

В Харьковском физико-техническом институте приближаются к завершению постройка и освоение специальной высоковольтной лаборатории, которая открывает очень широкие перспективы перед экспериментаторами-ядерниками. Нужно отметить также очень много обещающую работу А. И. Лейпунского, который предполагает использовать в Харькове недавно разработанный им новый, очень остроумный и тонкий метод, открывающий совершенно новые возможности в области исследования β -радиоактивности. Можно рассчитывать, что результаты этих исследований будут иметь большое значение для вопроса о существовании нейтрино.

У нас в Москве имеется физический институт Академии наук, в котором есть ядерная лаборатория. Эта лаборатория является может быть, одной из наиболее молодых ядерных лабораторий в Союзе, но в ней имеется ряд работников, очень удачно работающих в области изучения позитронов и нейтронов. Нужно надеяться, что эта ядерная лаборатория Физического института Академии наук будет успешно развиваться, укрепляться и расти.

Я далеко не охватил всех тех мест, в которых у нас в Союзе ведутся работы по ядру, например я не коснулся работ Радиевого института и Физического института Ленинградского университета. Было бы неправильно, если бы вся работа по ядру полностью была сосредоточена только в немногих лабораториях, но мне представляется, что основная работа по физике атомного ядра у нас в Союзе должна быть сосредоточена в трех институтах: Ленинградском физико-техническом, Харьковском физико-техническом и Московском физическом институте Академии наук.