

10.6. Нейтрон (*)

После «электрон-позитронной» и «протон-антипротонной» пар, третьим по значению «частично-античастичным» $\lambda_{-12 \div -16}$ -вакуумным образованием в микромире является «нейтрон-антинейтронная» пара.

«Нейтроны» совместно с «протонами» и «электронами» образуют стабильные $\lambda_{-12 \div -16}$ -вакуумные образования, которые принято называть «атомами» и «молекулами». В свободном состоянии «нейтроны» не стабильны. Среднее время жизни свободного «нейтрона» – примерно 15 минут. В течение этого времени «нейтрон», как правило, самопроизвольно распадается на «протон», «электрон» и «антинейтрино».

Согласно принятой в данной работе классификации, «антинейтрона» не существует, а имеет место только одна «двуполая» (незаряженная) частица, которую будем называть «нейтрон» с 6-ю (а не с 3-мя) возможными состояниями.

В современной теории сильных взаимодействий полагают, что нейтрон состоит из двух d -кварков с зарядом $(-1/3)$ и одного u -кварка с зарядом $(2/3)$

$$n = d d u . \quad (10.80)$$

В результате такого сочетания нейтрон оказывается нейтральной частицей. За счет простого арифметического сложения зарядов кварков:

$$(-1/3) + (-1/3) + (2/3) = 0 . \quad (10.81)$$

Но на примере «протона» в разрабатываемой здесь теории отдано предпочтение модели, когда заряды «кварков» (или усредненные размеры ядер «кварков», что, по сути, то же самое), входящих в состав «протона», симметричны, т. е. в среднем равны $\pm 1/3$. Алгоритм получения полного заряда «частицы» при этом имеет следующий вид: для «протона»

$$(-1/3 + 1/3 + 1/3) + (1/3 - 1/3 + 1/3) + (1/3 + 1/3 - 1/3) = 3(-1/3 + 1/3 + 1/3) = 1 ; \quad (10.82)$$

для «антипротона»:

$$(1/3 - 1/3 - 1/3) + (-1/3 + 1/3 - 1/3) + (-1/3 - 1/3 + 1/3) = 3(1/3 - 1/3 - 1/3) = -1 . \quad (10.83)$$

Если, например, ядро «атома» состоит из двух «протонов», то имеем 4 валентных «кварка» и 2 валентных «антикварка» с общим зарядом

$$3(-1/3 + 1/3 + 1/3 - 1/3 + 1/3 + 1/3) = 2 .$$

Из этих соображений следует, что «нейтрон» не может состоять из 3-х валентных «кварков», т. к. невозможно составить комбинацию из «кварков» с усредненными зарядами $\pm 1/3$ таким образом, чтобы получилась нейтральная «частица» с зарядом 0.

Однако имеется другая возможность получения модельного представления о нейтральной «частице». Прибавим к ранжирам (10.10) – (10.12) сигнатуру $(- + +)$, соответствующую «позитрону», а к ранжирам (10.13) – (10.15) – сигнатуру $(+ - -)$, соответствующую «электрону». В результате получим 6 возможных «нейтральных» состояний сильно искривленного участка псевдоповерхности Естества:

$$\begin{array}{l} \begin{array}{l} (- - - +) \\ (+ - + -) \\ (+ + - -) \\ \hline (- + + +) \end{array} \quad (10.84) \\ = n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{array}{l} (- - + -) \\ (+ + - -) \\ (+ - - +) \\ \hline (- + + +) \end{array} \quad (10.85) \\ n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{array}{l} (- + - -) \\ (+ - - +) \\ (+ - + -) \\ \hline (- + + +) \end{array} \quad (10.86) \\ n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \begin{array}{l} (+ + + -) \\ (+ + - +) \\ (- - + +) \\ \hline (+ - - -) \end{array} \quad (10.87) \\ + n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{array}{l} (+ + - +) \\ (- - + +) \\ (- + + -) \\ \hline (+ - - -) \end{array} \quad (10.88) \\ n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{array}{l} (+ - + +) \\ (- + + -) \\ (- + - +) \\ \hline (+ - - -) \end{array} \quad (10.89) \\ n(0 \ 0 \ 0 \ 0) \end{array}$$

(напомним, что каждой сигнатуре, входящей в ранжиры (10.84) – (10.89), соответствует совокупность метрик типа (10.47), (10.50) и (10.52)).

Глава 10. Сильные взаимодействия

Ранжиры (10.84) – (10.89), по нашему мнению, соответствуют шести состояниям «нейтрона». В пользу такой модели «нейтрона» свидетельствуют следующие обстоятельства. Во-первых, имеют место электрослабые реакции типа:



где ν_e – электронное «нейтрино». То есть в результате захвата «протоном» «электрона» получается «нейтрон» и испускается электронное «нейтрино». А также наблюдается обратная реакция



т. е. при захвате «нейтроном» электронного «нейтрино» эта нейтральная частица распадается на «протон» и «электрон».

Во-вторых, масса покоя «нейтрона» равна $m_n = 1,6729 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса покоя «протона» $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг. Разность этих масс примерно равна массе «электрона» $m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31}$ кг. Действительно, $m_e \approx m_n - m_p = 9,2 \cdot 10^{-31}$ кг. При этом внутри ядра «нейтрона» могут просматриваться только три составные части (три валентных «кварка»). Ядро бесшельтового «электрона», обладающее правильной сферической формой, может как бы обволакивать три «кварка» «протона». Иначе говоря, ядро «нейтрона» в низшем порядке теории возмущения – это не что иное, как ядро «протона» внутри ядра бесшельтового «электрона» или как ядро «антипротона» внутри ядра бесшельтового «позитрона». Согласно развиваемым здесь воззрениям не «протон» захватывает «электрон», а наоборот большее по размерам ядро «электрона» захватывает совокупность трех меньших по размеру ядер кварков «протона».

Выше мы применили термин бесшельтовый «электрон»/«позитрон», поясним теперь, что имелось в виду. Реакции (10.90) и (10.91) говорят о том, что в «нейтроне» находится не обычный «электрон». В следующем параграфе будет обсуждаться сущность «нейтрино», и будет показано, что электронное «нейтрино» – это не что иное, как шельт (душа) «электрона». Если проанализировать реакции (10.90) и (10.91), то становится очевидным, что в «нейтроне» находится бесшельтовый (т. е. бездушный) «электрон». Такой «электрон» описывается только 4-мя усредненными метриками (7.158а), (7.158б), (7.159в) и (7.159г) без 5-й усредненной метрики (7.158д). Такой бесшельтовый «электрон» (или «позитрон»), входящий в ранжиры (10.84) – (10.89), будем называть e^+ -«кварком» (или e^- -«кварком»). И только в случае воссоединения e^+ -«кварка» с подходящим шельтом он может покинуть «нейтрон», оголяя при этом «протон». «Нейтрон» не стабилен, потому что $\lambda_{-12\pm-16}$ -вакуум насыщен блуждающими «шельтами» (т. е. «нейтрино» и «антинейтрино»), и весьма велика вероятность воссоединения таких «шельтов» с e^+ -«кварком» (или e^- -«кварком»).

К аналогичному выводу пришел Шленов А. Г., он пишет [41]: «В начале XX века многие ученые полагали, что атомные ядра состоят из протонов и электронов. Однако позже результаты экспериментов по определению спинов и магнитных моментов микрочастиц вошли в противоречие с утверждением, что внутри ядра атомов могут находиться электроны – фермионы. Но не может ли ядро состоять из протонов и электронов-бозонов? Исходной посылкой современной теории сильного взаимодействия является утверждение, что между любыми двумя нуклонами (протонами и нейтронами) ядра действуют силы притяжения. Именно это положение и приводит к ряду неразрешимых противоречий. Например, на расстоянии более 10^{-12} см два протона отталкиваются под действием кулоновского взаимодействия. На расстоянии более 10^{-13} см они якобы притягиваются, а на расстоянии менее 10^{-14} см они вновь должны отталкиваться. Что следует из близости значения ядерной плотности у всех известных нуклидов, которая составляет порядка 10^{-14} г/см³. Из этого делается вывод, что между протонами на больших расстояниях действуют электромагнитные силы. На ядерных расстояниях они испытывают сильные взаимодействия. А на еще меньших расстояниях начинается отталкивание, необъяснимое с позиций электромагнитных и сильных взаимодействий.

Если между протонами ядра имеются «электроны-бозоны», то указанные выше противоречия разрешаются. «Электроны-бозоны» не обладают спином, а следовательно, и собственным магнитным моментом. Находясь в магнитном поле протонов, такой «электрон-бозон» должен двигаться по ларморовской окружности или в более сложном случае – по спирали с усредненным ларморовским дипольным моментом

$$M_r = -0,5 r_g v_r / c = -23,769 \cdot 10^{-24} \text{ ЭрГ/Гс.}$$

Притом, что экспериментальное значение магнитного момента нейтрона (т. е. электрон – протонной связи) равно

$$M_n = M_p + M_e = -9,663 \cdot 10^{-24} \text{ ЭрГ/Гс.} \quad (10.92)$$

Таким образом мы не одиноки в мнении, что нейтрон состоит из протона и особого рода электрона.

Итак, «нейтрон» в рамках развиваемой в данной работе теории описывается ранжирами (10.84) – (10.89), задающими 6 возможных его состояний.

Существует одна загадка – нарушения симметрии. Свободный «нейтрон» почему-то в большинстве случаев распадается на «протон» и «электрон», а не на «антипротон» и «позитрон». Почему так происходит? От ответа на этот вопрос зависит объяснение того факта, что «электроны» и «протоны» играют в материальном мире значительно большую роль, чем «позитроны» и «антипротоны».

По всей видимости, мы в состоянии ответить и на этот вопрос. Дело в том, что не существует отдельный нейтрон и отдельный антинейтрон. Скорее всего, это одна нейтральная частица («нейтрон»), переходящая в любое из 6-и состояний (10.84) – (10.89). Данное утверждение находится в полном соответствии с современными теориями великого объединения: $SUSY$ лево-правосимметричной модели с E_6 -спектром, $SU(2)_L \times SU(2)_R \times SU(4)_{EC}$ и $SUSY SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(1)_Y$. В этих теориях существует возможность превращения нейтрона в антинейтрон и обратно – антинейтрона в нейтрон. Увеличение со временем t числа антинейтронов n^+ в изначально чисто нейтронном пучке с числом нейтронов n^- оценивается приближенным выражением [122]

$$n^+ \approx \frac{n^- t^2}{\tau_{n^- n^+}^2}, \quad (10.92a)$$

где

$$\tau_{n^- n^+} \approx 10^6 - 10^{10} \text{ с} - \text{т. н. период } n^+ n^- \text{-осцилляций}$$

Одно из экспериментальных подтверждений существования $n^+ n^-$ -осцилляций было получено на реакторе в Гренобле, где удалось получить нижнюю границу для периода $n^+ n^-$ -осцилляций

$$\tau_{n^- n^+} > 0,86 \cdot 10^{-8} \text{ с}.$$

– с точностью 90%.

При этом проблема асимметрии между материей и антиматерией не стоит столь остро и разрешается сама собой.

10.6.1. Структура ядра атомов – исторический экскурс [141]

Еще в начале 1886 года Эжен Гольдштейн, изучавший катодные лучи, обратил внимание и на лучи, что двигались в противоположном направлении. Поскольку катодные лучи (состоявшие из электронов) имели отрицательный заряд, он предположил, что двигавшиеся в противоположном направлении лучи должны были нести положительный заряд. В 1907 году Дж. Дж. Томсон назвал их «положительными лучами».

После того как Резерфорд начал исследовать внутреннюю структуру атома, стало ясно, что положительные лучи – это поток атомных ядер, у которых отсутствует ряд электронов. Эти ядра имели различную величину.

Были ли эти ядра целыми — чем-то вроде изотопов разных элементов? Или состояли из некоторого числа более мелких частиц, соединенных определенным образом? Могло ли быть так, что ядра обязаны своим положительным электрическим зарядом частицам, похожим на электроны, но обладающим не отрицательным, а положительным зарядом?

Все попытки обнаружить этот «положительный электрон» в ядре оказывались тщетными. Самым маленьким было ядро атома водорода, получавшееся при удалении одного электрона. Это ядро имело один положительный заряд, соответствующий по величине заряду электрона. Однако ядро водорода оказалось гораздо массивнее, чем электрон. В результате опытов выяснилось, что масса ядра водорода с одним положительным зарядом примерно в 1837 раз больше, чем электрон с его одним отрицательным зарядом.

Можно ли выбить свободный положительный заряд из массы ядер водорода? Никому из физиков не удавалось это сделать. В 1914 году Резерфорд понял, что это невозможно. Он предположил, что ядра водорода представляют собой частицы, несущие положительный электрический заряд, точно так же, как и электрон являлся носителем отрицательного электрического заряда. Резерфорд назвал ядра водорода протоном от греческого слова «первый», потому что они были ядрами первого элемента.

Почему протон столь значительно превосходит по массе электрон, и сегодня остается одной из загадок физики.

Алсигна отвечает на этот вопрос (см. п.п. 10.2, 10.4).

И все же как быть с ядрами остальных химических элементов? Все другие элементы обладали более массивными ядрами, чем водород. Прежде всего, ученые предположили, что они состоят из соответствующего числа протонов, тесно связанных друг с другом. Например, ядра гелия, имевшие массу в 4 раза большую, чем ядра водорода, должны были состоять из 4 протонов, ядра кислорода, превышавшие по массе ядра водорода в 16 раз, должны были состоять из 16 протонов и т. д. Но эта гипотеза сразу же натолкнулась на противоречия. Ядро гелия должно было иметь массу, превышавшую массу ядра водорода в 4 раза, но его электрический заряд был +2. Если бы оно состояло из 4 протонов, то заряд равнялся бы + 4. Точно так же и ядра кислорода должны были состоять из 16 протонов с зарядом + 16, но на самом деле их заряд равнялся + 8.

Существовало ли нечто, что «гасило» положительный электрический заряд? Таким мог быть только отрицательный электрический заряд, и его следовало искать в электронах, единственной частице, открытой к 1914 году. Попытка исследовать структуру ядер обернулась неудачей, но оказалась полезной, над теорией продолжали работать в 20-х годах XX века. Несмотря на ошибочность гипотезы, удалось добиться больших достижений в ядерной науке, поэтому, чтобы сохранить точность исторического исследования, наблюдения перечислены ниже. Современные же взгляды будут представлены в кратком изложении, чтобы читатель сам мог увидеть, как меняются точки зрения от первых предположений до окончательных выводов.

Тогда некоторые ученые предположили, что кроме протонов, ядра способны содержать примерно половину электронов. Электроны были настолько легкими, что не могли серьезно повлиять на саму массу, но могли уравновесить часть положительных зарядов.

Таким образом, в соответствии с первой гипотезой, позже оказавшейся неверной, атомы гелия содержали не только 4 протона, но и 2 электрона. Тогда получалось, что ядра гелия имели массу 4 и электрический заряд (атомный номер) $4 - 2$, или 2. Такова была предпосылка для дальнейших умозаключений.

Вместе с тем протонно-электронная теория строения атомного ядра прекрасно объясняла появление изотопов. В то время как кислород-16 имел ядра, состоявшие из 16 протонов и 8 электронов, кислород-17 имел один из 17 протонов и 9 электронов, водород-18 – один из 18 протонов и 10 электронов. Их массовые числа были соответственно 16, 17 и 18, но атомный вес был $16 - 8$, $17 - 9$ и $18 - 10$ или 8 в каждом случае. Так же уран-238 имел ядро, состоявшее, согласно этой теории, из 238 протонов и 146 электронов, в то время как уран-235 имел ядро, состоявшее из 235 протонов и 143 электронов. В этих случаях атомное число было соответственно $238 - 146$ и $235 - 143$ или 92 в каждом случае. Однако ядра двух изотопов имели различную структуру, и следовательно, неудивительно, что радиоактивные свойства этих элементов, определяемые их ядрами, должны были отличаться. Так, период полураспада урана-238 должен был в 6 раз превышать эту величину для урана-235.

Обнаружение электронов в ядрах не только объясняло существование изотопов, но, похоже, и подтверждалось двумя следующими суждениями.

Во-первых, было хорошо известно, что одноименные заряды отталкивают друг друга и это отталкивание проявляется тем сильнее, чем ближе друг к другу находятся заряды. Десятки положительно заряженных частиц, сдавленные в микроскопический объем атомного ядра, не могут сохраняться вместе более чем на крошечную долю секунды. Электрическое отталкивание сразу же заставит их разлететься в стороны. В то же время противоположные заряды притягиваются друг к другу, так, протон и электрон могут притягивать каждый по 2 протона (или 2 электрона), отталкивающие друг друга. Отсюда следовал вывод, что присутствие в ядре электронов и протонов взаимно уравновешивает их и приводит к тому, что в целом ядро остается электрически нейтральным.

Во-вторых, при распаде радиоактивных элементов атомы испускают бета-частицы. Уровень заключенной в них энергии доказывал, что они могли выходить только из ядер. Поскольку бета-частицы являлись электронами, становилось очевидно, что внутри атомных ядер должны быть электроны.

Протонно-электронная теория строения атома позволяла так же объяснить природу явления радиоактивности. Чем сложнее структура ядра, тем больше в нем должно находиться протонов и тем сложнее удержать их вместе. Для этого требуется все больше и больше электронов. Наконец, когда общее число протонов достигает 84, соответствующее количество электронов уже не может стабилизировать ядро. Эта теория позволяла объяснить и механизм распада ядра. Предположим, что ядро испускают альфа-частицу. Согласно этой теории, альфа-частицы представляют собой атомы гелия, состоящие из 4 протонов и 2 электронов. Если ядро теряет альфа-частицу, то его массовое число станет снижаться и атомный номер изменится с 4 до 2, то есть станет равным 2. И действительно, когда уран-238 (атомный вес 92) отдает альфа-частицу, он превращается в торий-234 (атомный номер 90). Предположим, что атом испустил бета-частицу. Бета-частица – это электрон, и, если ядра теряют электрон, их массовое число остается почти неизменным (электрон обладает настолько небольшой массой, что по сравнению с массой ядра ее можно не учитывать). Но при излучении электрона теряется часть отрицательного заряда. Следовательно, один из протонов в ядрах, который до этого был

уравновешен электроном, оказывается открытым. Его положительный заряд добавляется к остальным, и атомный номер поднимается на один пункт. Таким образом, торий-234 (атомный номер 90) выпускает бета-частицу и превращается в протактиний-234 (атомный номер 91).

Если при распаде испускаются гамма-лучи, у которых нет заряда, а масса пренебрежимо мала, то ни массовое число, ни атомный номер ядра не меняется, хотя определенная часть энергии утрачивается.

Можно объяснить и более глубокие изменения. В длинном процессе распада уран-238 претерпевает множество изменений и наконец становится свинцом-206. Эти перемены включают эмиссию 8 альфа-частиц и 6 бета-частиц. 8 альфа-частиц связаны с потерей 8×4 , или 32, в массовом числе, в то время как излучение 6 бета-частиц не приводит ни к каким последствиям. И действительно, массовое число урана-238 возрастает до 32, и он превращается в свинец-206. При этом 8 альфа-частиц предполагают изменение в атомном номере 8×2 , или 16, в то время как 6 бета-частиц предполагают изменение в атомном номере 6×1 , или 6. Общие перемены связаны с уменьшением 16-6, или 10. И уран (атомный вес 92) превращается в свинец (атомный номер 82).

Углубившись в детали, связанные с протонно-электронной теорией строения атома, мы показали, что она правомерно привлекла внимание ученых. Теорию, казавшуюся четкой и незыблемой, физики использовали практически без изменений на протяжении 15 лет. И все же, как мы убедимся в дальнейшем, она оказалась неверной, что весьма поучительно. Даже самая лучшая теория может оказаться в чем-то неверной и нуждаться в пересмотре.

Алсигна считает неверной и ныне признанную теорию атома. В отличие от современных воззрений, Алсигна полагает, что ядра атомов состоят из «протонов» и «антипротонов» и связанных с ними бесшельтовых «электронов» и «позитронов», а на «орбитах» ядер этих атомов «вращаются» не одни только электроны, но и несвязанные «электроны» (спин в одну сторону) и «позитроны» (спин в другую сторону).

Несмотря на вышеизложенное, чтобы показать некоторые открытия, совершенные на протяжении 20-х годов XX века, обратимся к терминологии протонно-электронной теории, которая тогда была принята. Ядра элементов всегда состояли из целого числа протонов, их масса должна была составлять целое число, поскольку за единицу принималась масса одного протона (конечно, присутствие электронов добавляло некоторую массу, но для простоты рассуждения мы будем пренебрегать ею). Когда впервые обнаружили изотопы, похоже, именно так и обстояло дело. Однако Астон, продолжавший измерять массу различных ядер более или менее точно в течение всех 20-х годов на масс-спектрометре, обнаружил, что она всегда немного отличается от целых чисел. Как оказалось, одно и то же число протонов имеет различную массу в составе ядра и существуя отдельно.

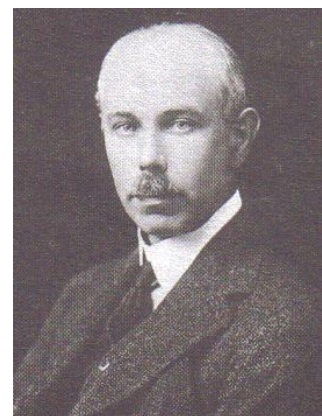
Используя современные стандарты, массу протона определили как равную 1,000825. 12 отдельных протонов тогда должны были иметь общую массу, превышающую обозначенную в 12 раз, то есть составляющую 12,0939. С другой стороны, если 12 протонов были упакованы вместе в ядре углерода-12, их масса составляла 12, так что масса отдельных протонов была равна 1,0000000. Чем же объяснялось показанное нами различие в 0,007825, между изолированным протоном и протоном как частью ядра углерода-12?

В соответствии с особой теорией относительности Эйнштейна, отсутствующая масса должна была проявиться в форме энергии. Следовательно, при соединении 12 ядер водорода (протона) и 6 электронов, чтобы они образовывали ядро углерода, должно быть затрачено значительное количество энергии.

Астон обнаружил, что при образовании все более и более крупных ядер все большая часть массы превращается в энергию (хотя и не вполне пропорционально), пока не достигнет максимума для атомов, подобных железу. Самый распространенный из всех изотопов железа железо-56 имеет массовый номер 55,9349. Следовательно, каждый из его 56 протонов обладает массой 0,9988.

Для более сложных, чем у железа, ядер протоны в ядрах становились еще более массивными. Так, например, уран-238 обладал массой 238,0506, следовательно, каждый из 238 протонов, что он содержал, обладал массой 1,00002.

К 1927 году Астону удалось объяснить, что именно атомы средних элементов, располагавшиеся по соседству с железом, наиболее тесно и рационально организованы. Если очень массивное ядро разбивалось на некие более легкие ядра, упаковка протона оказывалась более прочной и некоторая масса превраща-



Френсис Уильям Астон [141]

лась в энергию. Похожим образом, если очень легкое ядро соединялось с неким более массивным ядром, некоторая масса превращалась в энергию.

Все сказанное свидетельствовало о том, что при любом перемещении по списку атомов, расположенных в соответствии с атомным числом, высвобождается энергия, как и при радиоактивном распаде, когда более массивное ядро разбивалось на несколько меньших.

Предположим, что уран-238 отдает 8 альфа-частиц и 6 бета-частиц, превращаясь в свинец-206. Ядро урана-238 имеет массу 238,0506, каждая альфа-частица 4,0026 (все вместе – 32,0208), каждая бета-частица имеет массу 0,00154 (все вместе – 0,00924), а свинец-206 имеет массу 205,9745.

Все это означает, что ядро урана-238 (масса 238,0506) разделяется на 8 альфа-частиц, 6 бета-частиц и ядро свинца-206 (общая масса 238,0045). Начальная масса оказывается в 0,0461 больше, чем конечная масса свинца, и именно эта пропавшая масса, которая превращается в энергию, порождает энергию гамма-лучей и скорость, с которой испускаются альфа- и бета-частицы.

Как только ученые поняли, что существует энергия, которая становится доступной, когда один вид ядер меняется на другой, перед ними встал вопрос, может ли человек вызывать и регулировать подобные изменения, могут ли они становиться источником полезной энергии, причем такой, о которой раньше не могли и мечтать.

Химическую энергию можно было легко вызывать и контролировать, поскольку она обусловлена изменениями электронов на внешних оболочках атомов. Скажем, подняв температуру системы, можно заставить атомы двигаться с большей скоростью и сильнее сталкиваться друг с другом. Теплового воздействия вполне хватало на то, чтобы принудить электроны перемещаться быстрее. Одновременно создаются условия для возникновения химической реакции, которая не могла бы произойти при низких температурах.

Вызвать ядерную реакцию, то есть раскачать протоны внутри ядер, значительно сложнее. Они гораздо более массивны, чем электроны, и соответственно труднее приходят в движение. Более того, они находятся в самой глубине атома. Физики 20-х годов не располагали средствами для такого повышения температуры, которое могло бы заставить атомы столкнуться друг с другом и сбить ядра с их обычных мест.

Проникнуть в глубины атома могли только субатомные частицы, разогнанные до определенной скорости. Уже в 1906 году Резерфорд использовал поток альфа-частиц, испускавшихся радиоактивным веществом, чтобы бомбардировать золото, и показал, что иногда эти альфа-частицы отклонялись атомными ядрами. Фактически, с помощью проведенного им эксперимента, ученый впервые показал, что атомные ядра действительно существуют.

Резерфорд продолжал свои эксперименты с бомбардировкой ядра. При столкновении с ядром альфа-частица могла передать ему свою энергию и отправить его вперед наподобие одного бильярдного шара, ударяющего по другому шару. Вылетавшие таким образом ядра вызывали при столкновении с веществом свечение (сцинтилляцию). По его интенсивности стало ясно, что одна альфа-частица могла выбивать несколько ядер, каждое из которых давало искрение.

В 1919 году Резерфорд бомбардировал альфа-частицами азот и обнаружил, что он получил такое же свечение, как и бомбардируемый этими частицами водород. Значит, при бомбардировке, полагал Резерфорд, из ядер азота также выбивались протоны. Действительно, как было открыто позже, Резерфорд произвел превращение ядра азота в ядро кислорода. Именно так впервые в истории человек смог осознанно изменить структуру атомных ядер.

Продолжив свои опыты, в 1924 году Резерфорд показал, что альфа-частицы можно использовать, чтобы выбивать протоны из ядер практически всех элементов вплоть до калия (атомный номер 19). Однако оказалось, что возможности альфа-частиц как средства бомбардировки ядер ограничены.

Во-первых, использовавшиеся для бомбардировки альфа-частицы, как, впрочем, и атомные ядра, были заряжены положительно. Это означало, что альфа-частицы и атомные ядра отталкивали друг друга, и большая часть энергии альфа-частиц использовалась для того, чтобы преодолеть силу отталкивания. У массивных и сверхмассивных ядер положительный заряд был больше, отталкивание становилось сильнее, и для элементов с большими, чем у калия, атомами преодолеть силу отталкивания было невозможно, даже для самых быстро движущихся альфа-частиц.

Во-вторых, альфа-частицы двигались лишь в общем направлении к мишени, а не были направлены прямо на ядро. Ядра и альфа-частицы могли столкнуться только случайно. К тому же служащие мишенью ядра настолько малы, что большинство бомбардирующих их частиц пролетало между ними. Позже подсчитали, что при проведенной Резерфордом бомбардировке азота только 1 альфа-частица из 300 000 ухитряется поразить ядро азота.

Результат очевиден. Существует энергия, которую можно извлечь в ходе ядерной реакции, но существует и энергия, которую необходимо затратить, чтобы вызвать эти ядерные реакции. В случае ядерной бомбарди-

ровки субатомными частицами (а это единственный способ, с помощью которого можно вызвать ядерные реакции) затрачиваемая энергия во много раз превосходит ту энергию, что может быть извлечена. Вот почему такое множество субатомных частиц используют свою энергию для ионизации атомов, выбивая из них электроны, и никогда не вызывают ядерных реакций.

Все выглядело так, будто для того, чтобы зажечь свечу, нужно было потратить 30 000 спичек, зажигая их одну за другой. Понятно, что в этом случае применение свечей оказывалось неэффективным.

На самом деле драматическим результатом бомбардировки альфа-частицами оказалось то, что она не имела ничего общего с производством энергии, скорее наоборот – в ходе ядерной реакции поглощалось больше энергии, чем образовывалось.



Фредерик и Ирен Жолио-Кюри [141]

Подобные результаты были впервые получены в 1934 году, когда французская супружеская пара физиков Фредерик Жолио-Кюри (1900 – 1958) и Ирен Жолио-Кюри (1897 – 1956) стали бомбардировать альфа-частицами алюминий-27 (атомный номер 13). Они хотели соединить альфа-частицу с ядрами алюминия-27, чтобы образовать новое ядро с атомным номером на две единицы выше (15) и массовым числом на 3 единицы выше (30). Элемент с атомным номером 15 – это фосфор, состоящий из фосфора-30. Единственный изотоп фосфора, который встречается в природе, – фосфор-31. Фосфор-30 оказался первым элементом, созданным человеком, он был произведен в ходе химических реакций, проведенных в лаборатории.

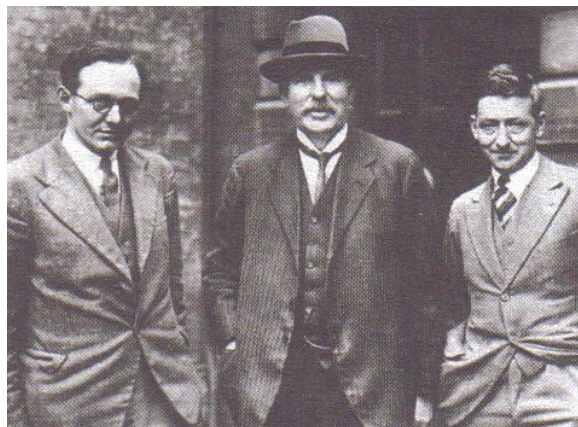
Фосфор-30 не встречался в природе, потому что количество энергии в нем было слишком высоким, чтобы он оставался стабильным. Содержавшаяся в нем энергия выделялась посредством испускания частиц, в результате чего его ядра переходили в стабильное состояние, то есть в кремний-30 (атомный номер 14). Это был пример искусственной радиоактивности. Начиная с 1934 года посредством различных видов бомбардировки альфа-частицами в физических лабораториях разных стран мира были получены тысячи ядер, не существовавших в природе. И каждый из этих элементов оказывался радиоактивным.

Можно ли было каким-нибудь способом сделать бомбардировку ядер более эффективной и увеличить возможность получения полезной энергии в ходе ядерных реакций?

В 1928 году американский физик русского происхождения Георгий Гамов (1904 – 1958) предположил, что вместо альфа-частиц для бомбардировки ядер можно использовать протоны. Правда, протоны были вчетверо легче альфа-частиц и соответственно столкновение оказывалось менее эффективным. В то же время протоны обладали только половиной положительного заряда альфа-частиц и не должны были столь же сильно отталкиваться ядрами. Кроме того, протоны оказались более доступными, чем альфа-частицы. Чтобы получить достаточное число протонов, нужно было всего лишь ионизировать самые распространенные атомы водорода, то есть избавиться их от одного электрона, оставив один протон.

Конечно, протоны, получаемые путем ионизации атомов водорода, обладали незначительной энергией, но существовал ли способ наделять их большей энергией? Протоны несли положительный заряд, следовательно, на них можно было влиять электрическим или магнитным полем. С помощью устройства, вырабатывающего подобные поля, можно было разогнать протоны, заставляя их двигаться все быстрее и быстрее и таким образом приобретать все больше и больше энергии.

В конце концов, если сообщить протонам достаточную энергию, то они могли вызвать внутри атома большие разрушения, чем альфа-частица, несмотря на то что первая обладала большей массой. По всем вышеуказанным причинам протоны были более интересным средством бомбардировки ядер, чем электроны.



Изобретатели первых ускорителей – Эрнест Т. С. Уолтон (слева) и Джон Д. Кокрофт (справа) с лордом Э. Резерфордом (в центре) в Кембриджском университете в начале 1930-х годов [141]

Физики пытались построить «ускорители» частиц. Первый образец такого устройства представили в 1929 году два британских физика, Джон Кокрофт (1897 – 1967) и Эрнест Уолтон (1903 – 1995). Посредством их прибора, получившего название «электростатический ускоритель», образовывались протоны, обладавшие достаточно высокой энергией, чтобы вызывать ядерные реакции. В 1931 году физики использовали ускоренные протоны, чтобы разрушить ядра лития-7. Это оказалась первая ядерная реакция, вызванная искусственными бомбардирующими частицами.



Эрнест О. Лоуренс держит в руках модель первого циклотрона (снимок 1930 г.) [141]

В то же время были разработаны и другие типы ускорителей частиц. Самым известным стал ускоритель, построенный в 1930 году американским физиком Эрнестом Орландо Лоуренсом (1901 – 1958). В нем использовался магнит, заставлявший протоны двигаться по постепенно расширяющейся окружности, приобретая энергию с каждым оборотом, пока наконец они не начинали двигаться, не подчиняясь влиянию магнита, по прямой с максимальной энергией. Такой прибор был назван «циклотроном».

Циклотрон быстро усовершенствовали, используя большие магниты и более сложное устройство. Первый циклотрон имел диаметр всего лишь четверть метра, в то время как диаметр современного прибора достигает 2000 метров. Протонные синхротроны (потомки того первого циклотрона) производили частицы, энергия которых в миллион раз превышала энергию тех, что образовывались с помощью первого циклотрона Лоуренса.

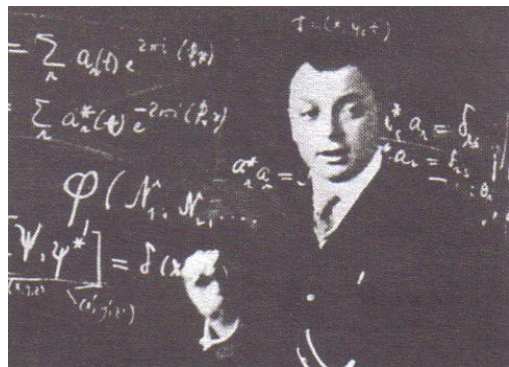
По мере того как увеличивались размеры, ускорители становились более эффективными и мощными и, соответственно, более полезными для изучения структуры ядер и природы самих субатомных частиц. Однако они не способствовали тому, чтобы превратить в реальность мечту о полезной ядерной энергии. Хотя в них освобождалась ядерная реакция значительно большая, чем та, что получалась в ходе первоначальных бомбардировок Резерфорда, все же гораздо большая энергия требовалась для производства частиц.

Неудивительно, что Резерфорд, первым проводивший ядерную бомбардировку, пессимистически смотрел на атомную энергетику. До конца своих дней (он умер в 1937 году) он полагал, что никогда не удастся освободить энергию ядер и применить ее для нужд человечества. Поэтому он считал бесполезной болтовней разговоры о промышленном применении ядерной энергии.

Новое направление утвердилось после того, как неохотно, но все же признали, что в столь тщательно разработанной протонно-электронной теории строения атома существует пробел. Поводом для сомнений стало явление, получившее название «ядерный спин». В 1924 году австрийский физик Вольфганг Паули выдвинул гипотезу, что свободные протоны и электроны ведут себя так, будто они вращаются вокруг своей оси. Это вращение (названное спином) могло происходить в любом направлении (с востока на запад или с запада на восток). Квантовая теория показывает, что каждая частица обладает угловым моментом спина. Протон и электрон имели спин $-1/2$. Если частица вращалась в одном направлении, то ее спин составлял $+1/2$, если в другом, то соответственно $-1/2$.

Алсигна в этом расходится с современными воззрениями. Она полагает, что если «участниц» («электронов» и «антипротонов») спин направлен в одну сторону, то у «античастиц» («позитронов» и «протонов») – в другую.

Когда субатомные частицы собирались вместе, образуя атомные ядра, каждая из них сохраняла свой природный спин, и ядерный спин оказывался тогда равным сумме моментов количества движения, которое имели отдельные частицы.



Вольфганг Паули, читающий лекцию в Копенгагене (апрель 1929 г.) [141]

В частности, предположим, что ядра гелия состоят из 4 протонов и 2 электронов, как и считали в 20-х годах. Предположим также, что из 4 протонов 2 имеют спин $+1/2$ и два $-1/2$. Предположим и то, что существуют 2 электрона, один обладающий спином $+1/2$ и один $-1/2$. Спины уравниваются друг друга, общее угловое движение составит 0. Конечно, возможно, что все 6 частиц вращаются в одном направлении, имея спин $+1/2$ или $-1/2$, в этом случае ядерный спин будет 3 в одном направлении или в другом. Если 5 частиц вращаются в

одном направлении и 1 частица в другом, то общий спин будет составлять 2, в одном направлении или в другом. Короче говоря, если в ядрах содержится четное число частиц, со спином $+1/2$ или $-1/2$, то общий спин составляет ноль или целое число, не важно, какую комбинацию положительных или отрицательных спинов вы выбираете. Общий спин всегда пишется как положительное число.

Однако предположим, что вы имеете дело с литием -7, который, как считали, состоит из 7 протонов и 4 электронов. Если 7 протонов все были $+1/2$, а 4 электрона все $-1/2$ своих спинах, то ядерный спин окажется равным $7/2 - 4/2 = 3/2$.

Если в ядрах имеется нечетное число частиц, то оказывается, что любое сочетание положительных и отрицательных спинов никогда не даст ни нуля, ни целого числа. Сумма всегда будет выражаться дробью. Следовательно, если измерить спин какого-либо атомного ядра, то можно установить, четное или нечетное число частиц содержится в нем.

Сделанные Паули выводы тотчас породили новую проблему. Ядерный спин изотопа азот-14 измерялся все с большей точностью и оказался равным 1. Не приходилось сомневаться в полученных результатах, и, следовательно, пришли к выводу, что в ядрах азота-14 содержится четное число частиц. Но, согласно протонно-электронной теории, атомы азота-14 с массовым числом 14 и атомным номером 7 должны были состоять из 14 протонов и 7 электронов общим числом 21 частица (нечетное число).

Ядерный спин азота-14 указывает на четное число, а протонно-электронная теория на нечетное число. Следовательно, одно из предположений было ошибочным, но какое именно? Ядерный спин появился в результате конкретных измерений, которые можно было повторить, и поэтому все согласились с полученными результатами. Протонно-электронная теория была лишь удобной гипотезой, поэтому ее и стали оспаривать.

Что же было сделано?

Предположим, что протоны и электроны, находящиеся внутри ядер, нельзя было рассматривать как отдельные частицы. Тогда возможно ли, чтобы электрон и протон, принужденные к тесному контакту внутри атомного ядра, могли благодаря силе взаимного притяжения так тесно сомкнуться, что их принимали за единую частицу? Одним из тех, кто в далекие 1920-е годы выдвинул подобную гипотезу, оказался Э. Резерфорд.

Такое протонно-электронное соединение должно было оставаться электрически нейтральным, и в 1921 году американский химик Уильям Харкинс (1873 – 1951) использовал для его наименования термин «нейтрон».

Если в свете этой теории посмотреть на азот-14, то окажется, что он состоит не из 14 протонов и 7 электронов, но из 7 протонов и сочетания из 7 протонов и электронов. Вместо общей суммы 21 частица должно получиться 14, вместо нечетного номера четный. Структура теперь станет соответствовать ядерному спину.

Но как же заставить проявиться уточненную теорию ядерной структуры? Похоже, что имела смысл только протонно-электронная теория, поскольку было известно, что как протоны, так и электроны могли существовать отдельно и их можно было определить. Если также существовала внутренняя протонно-электронная комбинация, можно ли было заставить ее существовать за пределами ядер, определить как изолированную частицу?

На протяжении 1920-х годов ученые вели поиски нейтрона, но они никак не увенчивались успехом.

Главная проблема заключалась в том, что эта частица была электрически нейтральной. Субатомные частицы можно было определить различными способами, но в каждом отдельном случае (сохранившем свою надежность и в настоящее время) использовался их электрический заряд. Благодаря ему движущиеся частицы или отталкивались, или притягивались. В любом случае электроны выбивали атомы, которые сталкивались с движущимися субатомными частицами.

Атомы с выбитыми электронами становились положительно заряженными ионами. Вокруг этих ионов могли формироваться капельки влаги, образовываться пузырьки газа или наблюдались вспышки света, и путь частицы можно было проследить по следу, который оставляли ионы. Хотя гамма-лучи не несли никакого заряда, они представляли собой форму волны, способной ионизировать атомы.

Все те частицы и лучи, что могли оставлять за собой различимый след ионов, назывались ионизирующим излучением, которое было легко выявить.

Однако предполагаемое протонно-электронное сочетание не было ни волной, ни заряженной частицей, а следовательно, не могло ионизировать атомы. Нейтроны должны были проходить среди атомов, не отталкивая и не притягивая электроны и, следовательно, оставляя их невредимыми. Их путь нельзя было проследить. Короче говоря, нейтрон оставался невидимым и его поиски казались напрасной тратой времени. И пока его не нашли, протонно-электронная теория ядерной структуры, несмотря на ее очевидную несоответственность с ядерным спином, все же оставалась рабочей гипотезой.



Вальтер Бёте [141]

Наконец, наступил 1930 год. Немецкий физик Вальтер Бете (1891 – 1957) и его помощник Генрих Беккер бомбардировали альфа-частицами легкий металл бериллий. Они ожидали, что в результате подобного столкновения должны были появиться протоны, но ничего похожего не случилось. Вместе с тем ученые отметили существование некоего вида излучения, которое появлялось одновременно с тем, как альфа-частицы бомбардировали бериллий, и не сохранялось после того, как произошла бомбардировка.

Для того чтобы каким-то образом определить свойства этого излучения, Бете и Беккер попытались поставить на его пути разные предметы. Они обнаружили, что это излучение отличается удивительной проникаемостью. Оно могло проходить даже через несколько сантиметров свинца. В то время единственной известной формой излучения, получаемого при бомбар-



Джеймс Чедвик [141]

дировке материи, которое могло проходить через толстый слой свинца, были гамма-лучи. Поэтому Бете и Беккер решили, что они вызвали гамма-лучи, и написали об этом в своих научных сообщениях.

В 1932 году супруги Жолио-Кюри повторили эксперименты Бете – Беккера и получили те же самые результаты. Однако среди других объектов они поставили на пути нового излучения парафин, который состоял из легких атомов углерода и водорода. К их удивлению, из парафина были выбиты протоны. Поскольку до них подобные эксперименты с гамма-лучами не проводились, Жолио-Кюри не задумались над тем, что данное излучение могло быть чем-то другим. Они просто сообщили, что обнаружили еще одно действие гамма-лучей на вещество.

Английский физик Джеймс Чедвик (1891 – 1974) думал иначе. В том же самом году он установил, что гамма-лучи, не имеющие массы, не обладают кинетической энергией, позволявшей сдвинуть протон с его места в атоме. Даже электрон был слишком легким, чтобы совершать подобное действие. Он не мог сдвинуть протон с места, как шарик для настольного тенниса не может заставить двигаться бейсбольный мяч.

Следовательно, любое излучение, способное выбить протон из атома, должно состоять из достаточно массивных частиц. Если согласиться с этим предположением, то излучение, впервые обнаруженное Бете – Беккером, должно было состоять из протонно-электронных комбинаций. Для их обозначения Чедвик использовал термин, данный Харкинсом, и добился его официального признания. Он получил деньги для опытов по обнаружению нейтрона. В результате своих экспериментов Чедвику удалось установить массу нейтрона, и к 1934 году стало ясно, что нейтрон оказался более тяжелым, чем протон. Новейшие исследования позволили установить массу протона в 1,007825, а масса нейтрона оказалась чуть больше и составила 1,008655. За открытие нейтрона Чедвик получил Нобелевскую премию по физике 1935 года.

Тот факт, что нейтроны были почти такими же тяжелыми, как протоны, позволил предположить, что нейтрон представлял собой сочетание протона и электрона. Логичным показался и тот факт, что отдельный нейтрон периодически разбивался, отдавая электрон и превращаясь в протон. Из большого числа нейтронов половина превращалась в протоны примерно за 12 минут.

И все же, хотя в каком-то смысле мы можем говорить о связи нейтрона с протонно-электронной комбинацией, на самом деле он не является таковой. Нейтрон имеет спин в $1/2$, в то время как протонно-электронное сочетание имеет спин или 0, или 1. Следовательно, нейтрон должен рассматриваться как отдельная незаряженная частица.

Сразу же после открытия нейтрона немецкий физик Вернер Карл Гейзенберг (1901 – 1976) пришел к выводу, что ядра должны состоять из протонов и нейтронов, а не из протонов и электронов.

Российские ученые уверены, что приоритет в разработке протон-нейтронной теории атомного ядра принадлежит профессору Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Дмитрию Дмитриевичу Иваненко. Почему-то Айзек Азимов не пишет об этом ни слова.

На основании последней гипотезы оказывалось легко перейти к первой, если принимали в расчет, что необходимо было просто уравновесить электроны в ядре с помощью протонов и передать те же самые нейтроны для новых соединений.

Получалось, что ядра гелия - 4, состоявшие из 4 протонов и 2 электронов, на самом деле состоят из 2 протонов и 2 нейтронов. Точно так же и ядра кислорода-16 вместо того, чтобы состоять из 16 протонов и 8 электронов, должны были состоять из 8 протонов и 8 нейтронов.

Протонно-нейтронная теория прекрасно соответствовала массовым числам и атомным номерам. Если ядра состояли из x протонов и y нейтронов, атомный номер оказывался равным x , а массовое число $x + y$ (скорее всего, можно определить массовое число ядер в современных терминах. Это число протонов плюс нейтроны в ядрах).

Не менее четко протонно-нейтронная теория ядерной структуры соответствовала изотопам. Предположим, что у нас имеется 3 изотопа кислорода – кислород-16, кислород-17 и кислород-18. У первого из них ядро, состоящее из 8 протонов и 8 нейтронов, во втором будет 8 протонов и 9 нейтронов, третье будет состоять из 8 протонов и 10 нейтронов. В каждом случае атомный вес останется равным 8, но массовое число будет соответственно 16, 17 и 18.

Точно так же и уран-238 состоит из ядер, построенных из 92 протонов и 146 нейтронов, в то время как ядро урана-235 будет состоять из 92 протонов и 143 нейтронов.

На основе данной теории возникает предположение, что нейтроны, а не электроны удерживают вместе протоны вопреки существующей между ними отталкивающей силе и что по мере возрастания массы ядер требуется все больше и больше нейтронов. Вначале требовалось примерно равное количество нейтронов и протонов. Ядро гелия - 4 содержало 2 протона и 2 нейтрона, углерода-12 соответственно 6 протонов и 6 нейтронов, кислорода-16 – 8 протонов и 8 нейтронов и так далее.

Для более сложных ядер потребовались дополнительные нейтроны. Ядра ванадия - 51 содержат 23 протона и 28 нейтронов, на 5 больше, чем общая сумма. В ядрах вис-мута-209 находится 83 протона и 126 нейтронов, то есть на 43 больше, чем общая сумма. В еще более массивных ядрах, содержащих большее число протонов, даже большое количество нейтронов не могло обеспечить стабильность. Именно поэтому все элементы с более тяжелыми ядрами радиоактивны.

Данная теория объясняла и явление радиоактивного распада. Предположим, что ядро отдает альфа-частицу. Альфа-частица представляет собой ядро гелия, состоящее из 2 протонов и 2 нейтронов. Если ядра теряют альфа-частицу, их массовое число должно снижаться до 4, а атомный номер на 2, как и происходит на самом деле.

Предположим, что ядро отдает бета-частицу. Это может показаться удивительным. Откуда происходит бета-частица, если ядра содержат только протоны и нейтроны, но в них нет электронов? Явление поддается объяснению, если считать, что нейтроны являются протонно-электронными соединениями. Внутри множества ядер нейтроны совершенно стабильны и не разделяются, как это происходит с ними в свободном состоянии. Но в некоторых случаях они могут разделяться, и тогда образуются бета-частицы.

Таким образом, получается, что ядро тория - 234 состоит из 90 протонов и 144 нейтронов. Одно из этих ядер можно рассмотреть как разбивающееся для того, чтобы освободить электрон и оставить несвязанный протон. Если в ходе обозначенного действия бета-частица выходит из ядра, количество нейтронов изменяется на один, равно как и число протонов. Ядра тория-234 (90 протонов, 144 нейтрона) становятся ядрами протактиния-234 (91 протон, 143 нейтрона).

Короче говоря, протонно-нейтронная теория ядерной структуры может объяснить не только все явления, наблюдаемые в экспериментах, но и ядерные спины, в то время как протонно-электронная теория не в состоянии сделать этого. Более того, в ходе исследований удалось обнаружить изолированный нейтрон. Поэтому протонно-нейтронная теория была принята.