

НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ*)**НОВЫЕ ОТКРЫТИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ СИММЕТРИИ
ЗАКОНОВ ПРИРОДЫ****В. Вейскопф и Л. Родберг**

Новые недавно выполненные в ядерной физике опыты свидетельствуют о том, что некоторые основные свойства природы имеют далеко не тот характер, который им приписывали. В истории физики редко случалось, чтобы изменение основных принципов следовало из результатов всего лишь нескольких опытов. Но как раз это произошло в настоящее время, и цель данной статьи — разъяснить возникшее положение.

Прежде чем обсудить сами опыты, мы рассмотрим основной закон, на который посягают полученные результаты. Это закон четности.

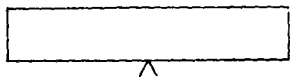


Рис. 1. Однородный стержень с точкой опоры в середине.

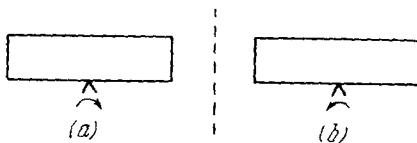


Рис. 2. Зеркальное изображение стержня.

Он может быть выражен в следующей форме: каждый процесс, происходящий в природе, может протекать и так, каким он виден отраженным в зеркале. Это значит, что природа зеркально симметрична. Зеркальное изображение любого объекта есть также возможный объект природы; движение любого объекта, рассматриваемого в зеркале, есть также движение, разрешаемое законами природы. Любой выполненный в лаборатории опыт может быть выполнен таким образом, каким он кажется в зеркале, и любой полученный при этом эффект должен быть зеркальным изображением действительного эффекта. Выражаясь кратко, законы природы инвариантны относительно отражения.

В качестве примера рассмотрим совершенно однородный стержень, поддерживаемый в середине опорой, как это показано на рис. 1. Мы знаем, что такой стержень не будет опускаться, но покажем это, воспользовавшись зеркальной симметрией, или законом четности.

Существуют три возможности: (i) стержень будет поворачиваться по часовой стрелке, (ii) он будет поворачиваться против часовой стрелки, (iii) он останется горизонтальным. Поместим мысленно зеркало так,

*) Fall of Parity L. S. Rodberg and V. F. Weisskopf. Science 125, 627 (1957).

как это показано на рис. 2 (пунктирная линия соответствует зеркалу). Зеркальное изображение стержня и его опоры идентично с объектом. Однако, если движение (i) есть единственно возможное, зеркальное изображение покажет движение (ii), а не единственно возможное движение i, и мы имеем, таким образом, противоречие с принципом четности. Только возможность (iii) идентична со своим отражением и поэтому является единственно верной, так как сам объект идентичен со своим отражением.

Допустим теперь, что трение в точке опоры отсутствует, и будем вращать стержень вдоль оси AA' (рис. 3). В этом случае положение не меняется, так как это вращение в зеркале кажется неизменившимся. Поэтому такое вращение не вызовет наклона стержня.

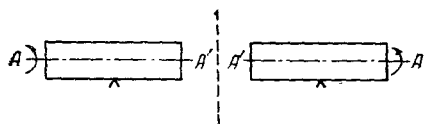


Рис. 3. Вращение стержня, рассматриваемое в зеркале. Направление вращения не меняется при отражении.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Рассмотрим теперь более сложный случай. Исследуем излучение электрического диполя. Такой диполь можно себе представить, например, в виде заряда,

колеблющегося вверх и вниз в направлении оси z (рис. 4). Мы видим, прежде всего, что излучение должно быть симметрично относительно оси z . Это происходит потому, что электрический диполь обладает цилиндрической симметрией относительно этой оси. Мы хотим теперь использовать зеркальную симметрию, чтобы показать, что интенсивность излучения будет одинаковой по обе стороны от плоскости xy . На рис. 5 представлены два случая. Зеркальное изображение осциллирующего диполя идентично с объектом, за исключением сдвига фазы на половину периода. Когда объект движется вверх, изображение движется вниз. Интенсивность излучения не зависит, однако, от времени, и поэтому сдвиг фазы на нее не влияет. Мы видим, что зеркальное изображение характера интенсивности излучения, обозначенное «верно», является точным подобием изображаемого объекта, как это и должно быть, тогда как картина, обозначенная, «неверно», дает перевернутое изображение: у объекта излучение вверх сильнее, тогда как у изображения более сильное излучение направлено вниз. Это не может быть правильно.

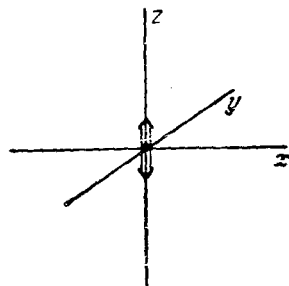


Рис. 4. Осциллирующий диполь.

Рассмотрим теперь связанное с этим излучением электромагнитное поле. Здесь мы исследуем положение движущейся частицы в данный момент времени и соответствующее этому положению электрическое поле так как мы знаем, что после каждой половины периода направления диполя, а также направления поля меняют свой знак. Предположим, что заряд движется вверх. Мы знаем, что электрическое поле должно быть перпендикулярно направлению распространения, и мы должны решить вопрос об относительном направлении электрического поля в двух случаях, один из которых направлен вверх, а другой вниз. Мы хотим осуществить выбор между двумя возможностями, обозначенными на рис. «верно» и «неверно». Воспользовавшись зеркальной симметрией, мы отбросим возможность, обозначенную «неверно». Эта ситуация не может осуществиться, так как здесь после отражения диполь перевернулся тогда как электрическое поле осталось неизменным. (И наоборот, ес-

мы подождем половину периода, то окажется, что зеркальное изображение диполя опять направлено вверх, тогда как электрическое поле пере-менило свое направление.) С другой стороны, в положении «верно» элек-трическое поле «следует» за диполем после отражения (здесь, если мы по-дождем половину периода, зеркальное изображение и электрическое поле перевернутся и воспроизведут существовавшие вначале диполь и электрическое поле). Поэтому ситуация, обозначенная «вер-но», является единственно воз-можной.

С другой стороны, квад-руполь состоит из двух дипо-лей, противоположных друг другу. Он остается неизменным после отражения в зеркале, так что мы имеем здесь обратный случай: электрическое поле из-лучения квадруполя должно быть инвариантно относительно отражения в зеркале, и положе-ние, обозначенное на рис. 6 «неверно», является единственно возможным. Мы можем сказать, что дипольное излучение имеет «нечетную» четность, так как поле E меняет направление; квадрупольное излучение имеет «четную» четность, так как по-ле E после отражения остается неизменным.

В этом рассуждении мы вос-пользовались электрическим по-лем, так как оно само по себе определяет направление (на-правление силы, действующей на положительный заряд). Это направление становится отраженным направлением при рассматривании в зеркале. В отличие от электрического магнитное поле определяет не направление в пространстве, а только направление вращения (например, направление вращения заряженной частицы, создавшей поле). Это направление вращения остается, однако, неизменным после отражения. Необходимо теперь отметить, что «направле-ние» магнитного поля обычно определяется с помощью произвольно вы-бранного «правила правого винта». Это значит, что мы ассоциируем маг-нитное поле с винтом, что позволяет произвольным образом связать направление в пространстве с направлением вращения и представить магнитное поле вектором. Существующее положение обычно описывают, говоря, что электрическому полю отвечает полярный вектор, который меняет свое направление после отражения, тогда как магнитное поле описывается аксиальным вектором, который после отражения свое на-правление не меняет.

Рассмотрим теперь объект, который, подобно винту, имеет «закру-ченность», что означает направление движения, связанное с направ-лением вращения (рис. 7). Его зеркальное изображение имеет противо-положную «закрученность» и также должно существовать в природе

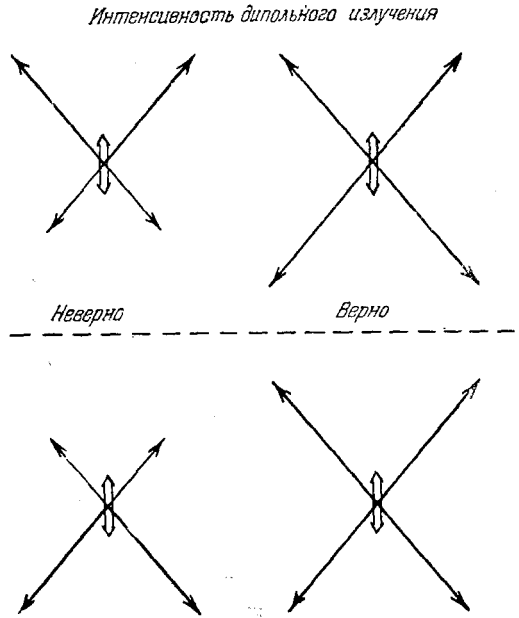


Рис. 5. Схемы интенсивности дипольного излучения и их зеркальные отражения. На схеме с обозначением «верно» излучение одной и той же интенсивности испускается в верхнюю и нижнюю полусферу; в схеме с обозначением «неверно» интенсивность в верхней полусфере больше, чем в нижней.

в соответствии с нашим принципом четности. При этом из рис. 7 мы видим, что нашему пробному зеркалу мы можем придать два положения: одно отражает направление движения, но оставляет неизменным направление вращения, тогда как в другом положении зеркала имеет место обратное действие. В обоих случаях «закрученность» меняется.

Примером является изображенная на рис. 8 тетра-

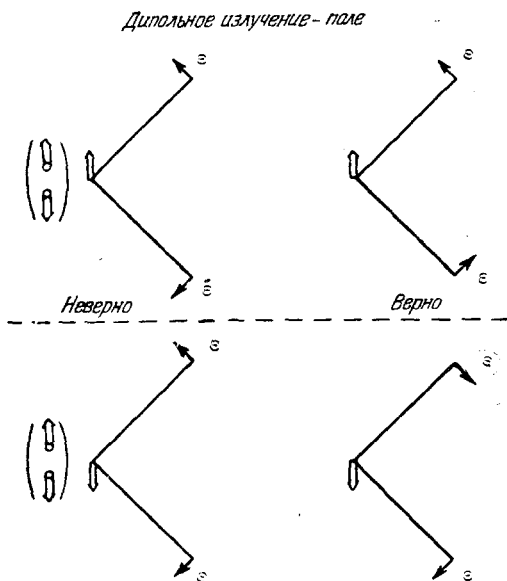


Рис. 6. Распределение электрического поля для излучения диполя и его зеркальное отражение. Маленькие стрелки, обозначенные ϵ , отвечают направлению электрического поля в данный момент времени в волне, испущенной в указанном направлении. Большие стрелки в центре обозначают смещение диполя в данный момент. Две большие стрелки (в скобках) представляют собой символическое изображение квадрупольного источника излучения.

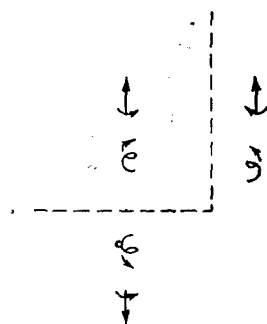


Рис. 7. Спираль и ее зеркальное изображение. Горизонтальное зеркало меняет направление в пространстве, но не направление вращения. Вертикальное зеркало меняет направление вращения, но не направление в пространстве.

эдральная молекула. Мы видим, что отраженная молекула никаким вращением не может быть сделана идентичной с исходной молекулой (точно так же, как мы не можем повернуть нашу левую руку в такое положение,

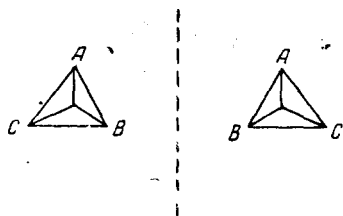


Рис. 8. Асимметричная тетраэдральная молекула и ее зеркальное изображение.

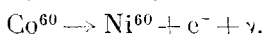
чтобы она совпала с правой рукой). Таким образом, существуют две различные молекулы, которые обе, согласно принципу четности, должны существовать в природе. Примером такого положения является кристалл кварца, состоящий из многих таких молекул. Такой кристалл в большом масштабе иллюстрирует пример с правой и левой рукой. Принцип четности требует, чтобы в природе существовали кристаллы обоих типов.

Хорошо известным примером является сахар, который существует в двух различных разновидностях. Однако в живой материи обнаруживается только «право-ручный» вариант—глюкоза. Как физики мы не считаем, что это свидетельствует о предпочтении, которое природа оказывает

этому варианту. Скорее это можно приписать случайностям, имевшим место при возникновении жизни. Жизнь могла бы точно так же развиваться, используя левозу вместо глюкозы.

БЕТА-РАСПАД

Теперь мы обратимся к рассмотрению реальных опытов, которые пролили новый свет на принцип четности, в частности опытов по β -распаду. Все необходимые нам здесь сведения сводятся к тому, что существуют атомные ядра, испускающие электроны совместно с нейтральными, не имеющими массы покоя частицами, называемыми нейтрино. Например, изотоп кобальта, известный под названием кобальт-60, становится никелем-60, испуская электрон (e^-) и нейтрино (ν)



Ядра кобальта имеют спин; это значит, что, находясь в своем нормальном состоянии, они вращаются, обладая совершенно определенным моментом количества движения. Теперь поставим вопрос: в каком направлении будет испущен электрон? В обычном куске кобальта электроны будут испускаться во всех направлениях, так как вследствие теплового движения ядра хаотически ориентированы по всем направлениям.

Предположим, что мы ориентировали ядра, т. е. подействовали на них таким образом, что оси их вращения установились параллельно данному направлению и все они вращаются одинаковым образом. Это трудная часть опыта, так как заставить ядра выстроиться нелегко. Единственный способ — использовать связанный со спином магнитный момент. Спин можно установить в данном направлении с помощью внешнего магнитного поля, если предварительно удастся достичь температуры, меньшей $0,4^\circ \text{K}$. Таким способом можно ориентировать ядра.

Чего должны мы теперь ожидать? Все ядра вращаются в одном и том же направлении. Применим закон четности. В зеркале (рис. 9) направление вращения сохранится, но направление движения электрона изменится на обратное. Поэтому чертеж с надписью «неверно», где в одном направлении испускается больше электронов, чем в другом, нарушает закон четности: зеркальное изображение явления находится в противоречии с самим явлением. Так как мы считаем, что закон четности справедлив, такую возможность следует исключить. Таким образом, нужно ожидать, что в каждом из указанных направлений будет испущено одинаковое число электронов.

Теперь предоставим слово опыту. Он был выполнен в Государственном Бюро стандартов в Вашингтоне, где имеется криогенная техника для опытов при очень низких температурах. Опыт осуществили Ву из

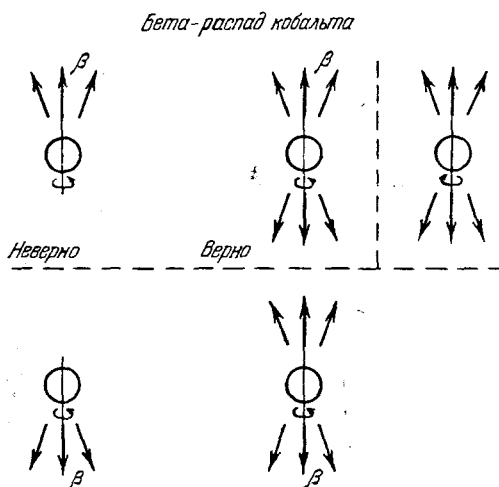


Рис. 9. Бета-распад кобальта. Возможные схемы испускания электронов распада и их зеркальные отражения. Если принцип четности справедлив, то могут осуществиться только зеркально симметричные схемы.

Колумбийского университета и Амблер, Хейворд, Хопмс и Хадсон из Государственного Бюро стандартов. Они ориентировали вращение ядер кобальта и сравнили электронные интенсивности в двух противоположных относительно оси вращения направлениях.

Этот опыт имеет несколько замечательных особенностей. Он принадлежит к тем опытам, произвести которые отважились бы немногие физи-

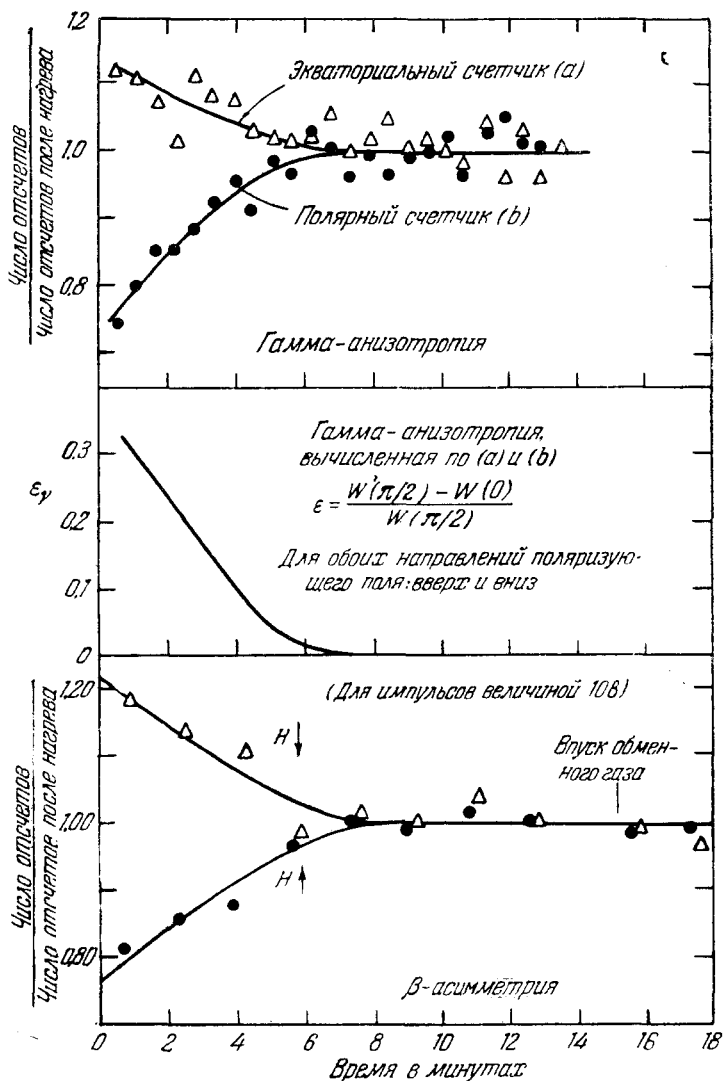


Рис. 10. Экспериментальное наблюдение β -распада кобальта-60 (Бу, Амблер, Хэйворд, Хопмс, Хадсон). Гамма-анизотропия измеряет ориентацию ядер. β -асимметрия измеряет число электронов, испускаемых параллельно и антипараллельно магнитному полю.

ки, ибо его результат «с очевидностью» следовал из зеркальной симметрии. Большие открытия всегда связаны с тем, что «очевидное» подвергается сомнению. В этом случае заслуга принадлежит двум физикам-теоретикам — Ли из Колумбийского университета и Янгу из Института проблемных исследований, которые указали экспериментаторам на необходимость

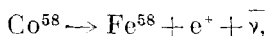
этого опыта. Ли и Янг предположили, что для некоторых слабых взаимодействий, подобных β -распаду, принцип четности может оказаться неверным.

Другой замечательной особенностью этих опытов является величина измеренного эффекта. Число электронов, испускаемых в одном направлении вдоль оси вращения, оказалось на 40% больше, чем в противоположном. В истории физики очень редко случается, чтобы нарушение установленного закона проявилось в первом же опыте в столь большом масштабе. Обычно первые сомнения основываются на малых отклонениях, которые едва превосходят пределы ошибок, и явления порядка 40% обнаруживаются только после больших усилий многих экспериментаторов.

Имея в виду историческое значение этих опытов, желательно показать измеренные кривые. Они воспроизведены на рис. 10. Ось с надписью «время» в действительности является шкалой температуры. Кусок кобальта охлаждался до температуры, при которой его ядра оказывались в состоянии выстроиться, после чего кобальт с течением времени медленно нагревался. Кривая с надписью «гамма-анизотропия» в действительности дает нам долю ориентированных ядер. При большой анизотропии большинство ядер выстроено. По мере нагревания кобальта тепловое движение приводит к тому, что ориентировка становится более беспорядочной и гамма-анизотропия уменьшается. Основной является кривая с надписью « β -асимметрия». Она дает нам число электронов, испущенных в направлении магнитного поля и в противоположном направлении. Мы видим, что интенсивность в одном направлении больше, чем в другом, что число электронов велико, когда спин вращается в определенном направлении, и мало для противоположного направления вращения спина.

Это означает, что принцип четности в этом опыте не выполняется. В самом деле, спин ядра определяет только направление вращения. При этом у электронов оказывается преимущественное направление испускания. Это означает нарушение четности. Факт существования направления в пространстве, связанного с направлением вращения, говорит о наличии определенного «правила руки», осуществляемого в β -распаде Co^{60} . Зеркальное изображение распадающегося ядра кобальта имеет противоположную «ручность» и не может существовать в природе.

Такой же опыт был выполнен с кобальтом-58, который испускает позитроны. Он переходит в железо-58, испуская при этом позитрон (e^+) и антинейтрино:



где $\bar{\nu}$ обозначает антинейтрино. Если при β -распаде испускается отрицательный электрон, как, например, в случае кобальта-60, вместе с ним испускается нейтрино, испускание же позитрона сопровождается испусканием антинейтрино. Еще более замечательным является то, что та же группа физиков действительно обнаружила для случая позитрона противоположную «ручность». При одном и том же направлении вращения ядра отрицательные электроны испускаются преимущественно в одном направлении, а позитроны преимущественно в противоположном.

«ЗАКРУЧЕННОСТЬ»

Возможное объяснение этих новых явлений предложили Ли и Янг независимо Ландау в Москве и Салам в Англии. Они предположили, что «закрученность» связана с нейтрино, так как все другие явления ядерной физике, в которых нейтрино не участвует, обнаруживают полную зеркальную симметрию. С помощью этой гипотезы возникшая асимметрия изолируется от остальной физики. Гипотеза «уменьшает

ущерб» и переносит эти странные свойства на нейтрино, которое и без того было странной частицей.

Ли и Янг, Ландау и Салам единодушны в том, что нейтрино подобно спирали. Его направление вращения и направление движения связаны таким образом, что образуют, скажем, левый винт. Свойством нейтрино

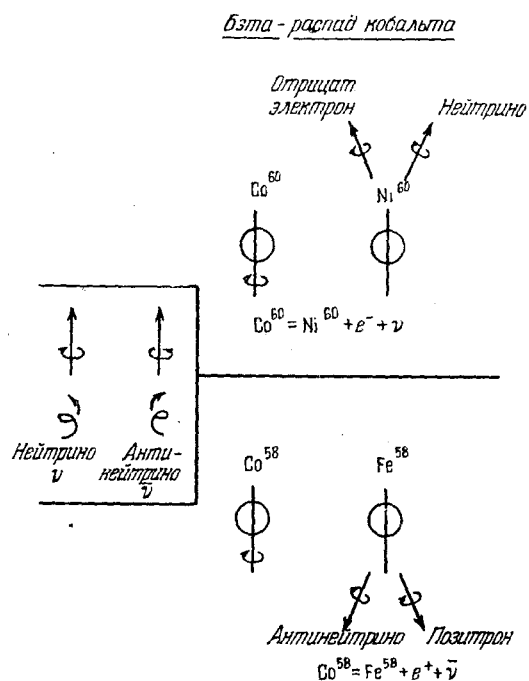


Рис. 11. Объяснение Ли, Янга и Ландау асимметрии при β -распаде кобальта-60 и кобальта-58.

явления (рис. 11). Испущенные частицы должны унести с собой часть спина испускающего ядра. Поэтому направление вращения нейтрино должно совпадать с направлением вращения ядра кобальта. При этом оно должно быть испущено в таком направлении, чтобы образовать левый винт. Это значит, что оно может быть испущено только в одном направлении, именно в направлении, которое образует левый винт с его направлением вращения. Электроны испускаются главным образом в то же направление, что и нейтрино. Таким образом, возникает преимущественное направление испускания электронов, что и наблюдается.

Хорошим подтверждением такого объяснения является опыт с кобальтом-58, который испускает позитрон и антинейтрино. Если гипотеза справедлива, направление преимущественного испускания позитрон должно быть противоположно направлению преимущественного испускания электронов в случае кобальта-60, так как антинейтрино имеет противоположную «закрученность»^{*)}. И, действительно, опыт это подтверждает!

^{*)} Большинство авторов употребляют слово «нейтрино» для частиц, сопровождающих положительный бета-распад, и называют «антинейтрино» частицу, испускаемую при отрицательном бета-распаде. Этот выбор противоположен нашему и приво- к тому, что нейтрино приписывается правая «закрученность». Наш выбор возник тогда потому, что было удобнее ввести в рассмотрение нейтрино раньше антинейтрино.

является то, что его спин (его вращение) должен быть таков, что ось спина параллельна направлению движения, а направление вращения образует с направлением движения левый винт. Предполагается, что антинейтрино имеет противоположные свойства. Оно образует правый винт.

Интересно отметить, что частицы с такими свойствами должны всегда двигаться со скоростью света c и имеют поэтому массу покоя, равную нулю. Если бы они двигались со скоростью v , меньшей c , они должны были бы переменить свою «закрученность» для наблюдателя, движущегося в том же направлении со скоростью, большей v . Таким образом, их «закрученность» должна была бы зависеть от наблюдателя и не была бы их внутренним свойством.

Эти спиральные нейтрин действительно дают возможность объяснить наблюдаемы

ОПЫТЫ С МЕЗОНАМИ

Существуют опыты еще одного типа, в которых наблюдается аналогичное нарушение закона четности. Они выполнены с некоторыми из недавно открытых короткоживущих частиц — мезонами. Наиболее важной из этих частиц является π -мезон, который, вероятно, представляет

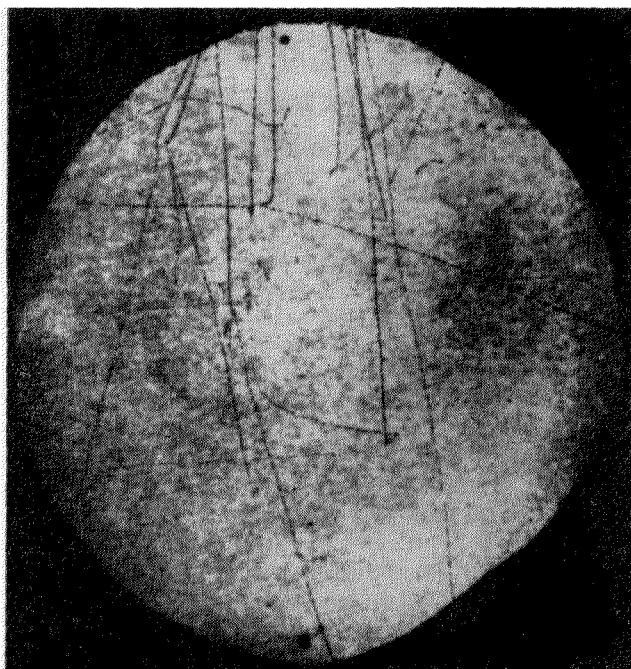


Рис. 12. Фотографии цепи π — μ — e -распадов в пузырьковой камере (Плесс и Вильямс). Черные следы, входящие в камеру сверху, принадлежат π -мезонам. Короткие черные следы в конце следов π -мезонов вызваны μ -мезонами, возникшими при распаде π -мезонов. Длинные прерывистые следы принадлежат электронам, возникшим при распаде μ -мезонов. Электроны испускаются преимущественно в направлении, обратном направлению испускания μ -мезона.

собой «квант» поля ядерных сил. Он ответственен за силы связи, действующие в ядре, и существует в трех разновидностях: положительно заряженный, отрицательно заряженный и нейтральный π -мезон. Масса π -мезонов близка к 270 массам электрона. Известно, что π -мезоны не имеют внутреннего спина. Свободно движущийся заряженный π -мезон имеет весьма малое время жизни*), порядка 10^{-8} сек, и распадается на μ -мезон и нейтрино. μ -мезон по своим свойствам весьма похож на электрон. Он, подобно электрону, заряжен (положительно или отрицательно) и имеет спин, равный $1/2$, но массу, в 206 раз большую массы электрона. Подобно π -мезону, μ -мезон также нестабилен и за время около 10^{-6} сек распадается на электрон и два нейтрино. Эта цепь двойного распада

$$\pi \rightarrow \mu + \nu \rightarrow e + 2\nu + \nu$$

представляет собой весьма интересное и подробно исследованное явление.

*) Незаряженный π -мезон имеет значительно меньшее время жизни, но мы здесь не касаемся этого.

На рис. 12 приведена фотография этих распадов в пузырьковой камере, полученная недавно Плессом, Вильямсом и сотрудниками. Следы на таком снимке оставляют только заряженные частицы, но не нейтрино. Мы замечаем идущие сверху вниз следы π -мезонов, которые обрываются, когда π -мезон останавливается. После этого π -мезоны распадаются, и мы видим короткие следы μ -мезонов, выходящие из последней точки следа π -мезона. В конце этого следа возникает третий след, принадлежащий электрону. Электронные следы имеют большую длину и не являются совершенно прямыми, так как легкий электрон может быть легко отклонен со своего пути. Внимательный наблюдатель, рассматривая подобные фотографии, мог бы заметить, что существует направление преимущественного испускания электронов: в направлении, обратном направлению движения μ -мезона, электроны испускаются чаще. Это явление было установлено в весьма тщательных опытах, которые выполнили Гарвин, Ледерман и Вейнрих из Колумбийского университета и Фридман и Телегди из Чикагского университета.

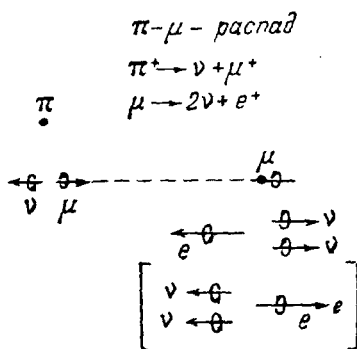


Рис. 13. $\pi - \mu - e$ -распад. Нейтрино представляет собой спираль (здесь нейтрино изображено левой спиралью). Возникший при π -распаде μ -мезон должен обладать той же закрученностью. При распаде μ -мезона испускаются два нейтрино в направлении, противоположном направлению движения электрона большой энергии. Из-за внутренней закрученности нейтрино возможны только указанные относительные направления. Зеркальное изображение этих процессов распада показано в скобках. Согласно принципу четности это также возможные распадные процессы. Опыт показывает, что это не так.

Почему электроны испускаются преимущественно назад? Это является новым примером нарушения правила четности. После того как μ -мезон остановился в конце своего короткого пути, единственным возможным для него движением является вращение. Но каким образом вращение может определить преимущественное направление распада? Только заданием преимущественной «ручности», т. е. правилом винта. Это, очевидно, является нарушением закона четности, так как зеркальное изображение того же процесса обнаружит противоположное преимущественное направление.

Гипотеза Ли и Янга, приписывающая «спиральность» только нейтрино, может объяснить также и эти опыты с мезонами. Это показано схематически на рис. 13. π -мезон распадается на μ -мезон и нейтрино. Спин нейтрино, как уже указывалось, подобен винту, образующему левую систему со своим направлением движения. Отсюда непосредственно следует, что возникающий в этом распаде μ -мезон также должен быть подобен левому винту в смысле своего спина и скорости, так как спин и движение π -мезона до распада были равны нулю, а поэтому спин и движение двух распадных частиц должны иметь противоположное направление. (В общем случае спин μ -мезона не фиксирован относительно направления его движения; Ли и Янг предположили, что такая связь обязательна только для нейтрино. Однако в случае распада $\pi \rightarrow \mu + \nu$ оси спинов параллельны направлению движения μ и ν , благодаря чему как μ -мезон, так и нейтрино оказываются подобными левому винту.)

Рассмотрим теперь второе звено цепи распадов, а именно распад μ -мезона на два нейтрино и электрон. Сохранение импульсов требует чтобы в тех случаях, когда электрон получает большую энергию, оба нейтрино были испущены в направлении, противоположном направлению

испускания электрона. Оба нейтрино обязательно должны быть испущены в направлении движения μ -мезона, так как их направление вращения должно совпадать с направлением вращения μ -мезона (сохранение спина) и должно соответствовать левому венту. Поэтому электроны должны быть испущены главным образом назад, что и наблюдается*).

НОВИЗНА ЯВЛЕНИЯ

Обсудим теперь два опыта, которые, по всей вероятности, нельзя выполнить практически. Их обсуждение, однако, весьма поучительно, так как оно иллюстрирует существенную новизну рассматриваемых явлений.

Прежде всего вернемся к покоящемуся на опоре стержню, с которого мы начали наше обсуждение. Предположим, что он сделан из кобальта-60 и что мы вращаем его вокруг оси AA' (рис. 3). (Этот пример предложил Парселл.) При вращении стержня ядерные спины сами выстраиваются и стержень становится в незначительной степени магнитным. (Это явление называется эффектом Барнетта.) При этом появляется направление преимущественного испускания электронов; они будут поглощаться стержнем, и один конец стержня будет содержать больше энергии, чем другой. (В действительности при нормальных условиях этот эффект настолько мал, что его никак нельзя было бы заметить.) Теория относительности учит нас, что энергия и масса связаны. Поэтому один конец стержня станет тяжелее другого. Таким образом, по крайней мере, теоретически стержень должен будет наклониться. Мы видим, что микроскопический процесс (бета-распад), нарушающий закон четности, должен в принципе привести к макроскопическому наблюдению этого нарушения.

Захариас предложил еще более показательный опыт. Предположим, что небольшой алюминиевый диск покрыт сверху тонким слоем кобальта-60 и удерживается в горизонтальном положении тонкой проволокой, укрепленной в центре тяжести диска, как показано на рис. 14. Такой диск начнет вращаться! И при повторении опыта он каждый раз будет вращаться в том же направлении! Это можно понять из наших предыдущих рассуждений о бета-распаде, если заметить, что электроны, идущие вниз, поглощаются в алюминии, тогда как электроны, испущенные вверх, покинут диск (нейтрино покинут диск в обоих случаях). Электроны, остановившиеся в диске, передадут ему свое вращение, в результате чего диск начнет вращаться. Если покрыть диск кобальтом с другой стороны, он будет вращаться в противоположном направлении.

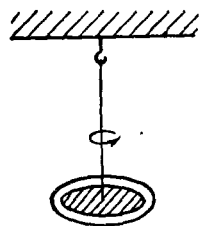


Рис. 14. Алюминиевый диск, подвешенный на тонкой проволоке. Если покрыть диск сверху кобальтом-60, он станет вращаться в указанном направлении.

АНТИМАТЕРИЯ

Весьма поучительно рассмотреть нарушение принципа четности в связи с другими, несколько более известными нарушениями симметрии в нашем физическом мире. Тяжелые ядра атомов всегда заряжены положительно, а легкие электроны отрицательно. После того как в 1930 г. был открыт положительный электрон, физики стали считать, что эта асим-

*) Для того чтобы возможно больше упростить эту трудную цепь рассуждений, мы предполагаем, что оба нейтрино, испускаемые при распаде μ -мезона, идентичны. В действительности более вероятно, что это нейтрино и антинейтрино. В этих условиях мы приходим к тем же выводам, но более сложным путем.

метрия только кажущаяся. Было показано, что световой квант соответствующей энергии может образовать электронную пару, состоящую из положительного и отрицательного электронов. Позитрон по своим свойствам во всех отношениях противоположен электрону: он представляет собой так называемую «античастицу». Если позитрон сталкивается с обычным электроном, обе частицы уничтожают друг друга (процесс, обратный образованию пары) и их масса переходит в энергию возникающих квантов света. Вопрос о зарядовой симметрии стал еще более ясен после того, как в этом году были открыты антипротон и антинейтрон. Антипротон — это отрицательно заряженный протон: он является античастицей для обычного протона. Он образуется при очень больших энергиях, доступных в настоящее время на больших ускорителях. Антинейтрон является античастицей по отношению к обычному нейтрону; он так же, как и нейтрон, нейтрален по заряду, но противоположен нейтрону во всех остальных отношениях. Например, он имеет обратный по знаку магнитный момент и, столкнувшись с нейтроном, аннигилирует, превращаясь в γ -лучи или в другую форму энергии поля, подобно тому, как аннигилирует антипротон с протоном.

Теперь ясно, что зарядовая асимметрия вещества только кажущаяся. Можно было бы построить «антиматерию», используя антипротоны и антинейтроны для ядер и позитроны вместо электронов для электронных оболочек ядер. Такая антиматерия была бы точной копией нашей материи с противоположным зарядом: отрицательными ядрами и положительными электронами. Случилось так, что наш мир сделан из вещества одного типа. Возможно, что некоторые далекие галактики сделаны из вещества другого типа.

Мы многого не знаем о свойствах антиматерии, но весьма вероятно, что существует интересная связь этой проблемы с проблемой четности. Мы отмечали, что кобальт-58, испускающий позитроны, имеет «закрученность», противоположную «закрученности» кобальта-60, испускающего электроны. Кобальт-58 испускает антинейтрино, являющиеся античастицами нейтрино, испускаемых кобальтом-60. Таким образом, античастицы имеют «закрученность», противоположную «закрученности» частиц. Поэтому весьма вероятно, что «антикобальт-60» будет испускать свои позитроны в направлении, противоположном кобальту-60. Если это так то нарушение зеркальной симметрии предстает в новом свете: мы считали до сих пор, что зеркальное изображение распада кобальта-60 не соответствует никакому возможному в природе процессу. Теперь мы видим, что это зеркальное изображение может в точности соответствовать распаду «антикобальта-60». Объединяя вместе две асимметрии природы, асимметрию зарядов и зеркальную асимметрию, мы, возможно, находимся у порога открытия новой, более высокой симметрии, названной Ланда принципом комбинированной четности. Этот принцип заключается в том, что зеркальное изображение любого процесса в природе также является возможным процессом, если только все заряды заменить противоположными зарядами, т. е. если вещество заменить антивеществом. Так как вещество и антивещество совершенно эквивалентны, зеркальная симметрия природы предстает перед нами в новой и более интересной форме.

Мы видим, как возрастание наших знаний о свойствах природы иногда колеблет самые основы наших представлений и заставляет нас более четко осознать существование нерешенных проблем. Чем дальше остров знания продвигается в море неведения, тем больше неизвестного его окружает