

При высокой энергии существуют правые и левые электроны, но вследствие наличия массы такое деление не абсолютно. Чем ближе скорость частицы к скорости света, тем более точной становится для них аналогия со штопором и более строго можно говорить об их «нарезке». Сохранение четности (динамической) в электромагнитном взаимодействии означает, что «лево»- и «правовинтовые» электроны взаимодействуют одинаково, независимо от характера «нарезки».

При отсутствии массы разделение на правые и левые частицы со спином  $1/2$  строгое. Самое строгое разделение достигается уничтожением того, от чего хотят отделиться. Предположим, — не для электронов, а для нейтрино — что существует только один сорт нейтрино с  $spc/\hbar = -E$ , тогда масса их тождественно равна нулю. Они должны двигаться со скоростью  $c$ , чтобы не превратиться в нечто несуществующее. При этом абсолютное разделение левого и правого нейтрино обеспечивается нулевой массой нейтрино.

Нейтрино и антинейтрино *электронейтральны*, и тем не менее отличаются друг от друга \*). Значит, «заряд» нейтрино, а также отличие «зарядов» нейтрино и антинейтрино — это не электрическое явление, а нечто похожее на различия нейтрона и антинейтрона. Такие «заряды» нейтрино и антинейтрино можно отличить экспериментально, о чем мы еще расскажем.

### Несохранение четности

К середине 50-х гг. накопились серьезные трудности в теории распада К-мезонов. Такие распады происходят за счет слабого взаимодействия, и в 1956 г., обсуждая возможность решения этих трудностей, Т. Ли и Ч. Янг поставили вопрос о сохранении четности в процессах слабого взаимодействия. Они показали, что убедительных экспериментальных данных в пользу эквивалентности правого и левого в процессах слабого взаимодействия нет, что процесс слабого взаимодействия и тот же процесс, отра-

---

\*) Заряженная частица с массой, равной нулю, задала бы хлопот! Она рождалась бы парами в сколь угодно слабом электрическом поле  $E$  с вероятностью  $\sim (e^2/\hbar c)^2 E^2/\hbar^4 c^3$  штук/(см<sup>3</sup>·с). При напряженности поля  $E = 1$  СГСЕ = 300 В/см это дает чудовищное значение  $10^{72}$  штук/(см<sup>3</sup>·с). В таких условиях электротехника не могла бы существовать.

женный в зеркале, могут отличаться друг от друга. Они указали опыты, в которых такое отличие можно наблюдать. Эти опыты были поставлены. Гипотеза Ли и Янга подтвердилась.

В опыте Ц. Ву и ее сотрудников изучался  $\beta$ -распад ядер кобальта. Эти ядра были поляризованы. Спин ядер был ориентирован вдоль одного направления,

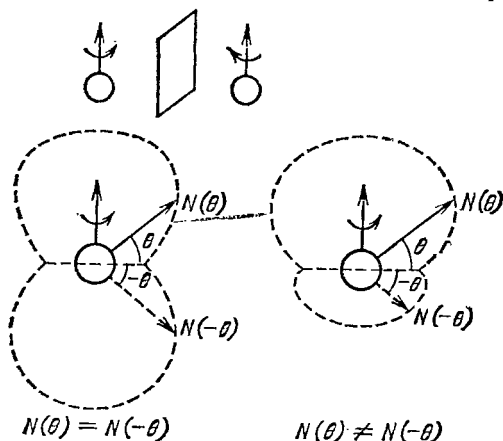


Рис. 26. При отражении в зеркале левополяризованное ядро выглядит как правополяризованное. Из сохранения четности следует, что при распаде поляризованного ядра число электронов  $N(\theta)$ , испущенных под углом  $+\theta$  к плоскости вращения ядра, равно числу электронов  $N(-\theta)$ , испущенных под углом  $-\theta$ . Установленное в эксперименте различие  $N(\theta)$  и  $N(-\theta)$  подтверждало несохранение четности в слабом взаимодействии

Исследовалось, с какой вероятностью вылетают электроны под разными углами относительно оси ориентации спинов. Спин ядра — это момент его внутреннего вращения. Естественно, что вдоль оси вращения и перпендикулярно этой оси (в плоскости вращения) электроны должны вылетать с разной вероятностью вследствие действия центробежных сил. Но если четность сохраняется, то вращение ядра влево и вращение его вправо (против часовой стрелки или по часовой стрелке в плоскости вращения — см. рис. 26) должно приводить к одному и тому же распределению по углу вылетающих при  $\beta$ -распаде электронов. Эти два случая — вращения ядра по и против часовой стрелки — получаются один из другого при их отражении в зеркале. В теории, в которой сохраняется

четность, картина процесса не должна измениться, если его отразить в зеркале. Под одинаковыми углами к плоскости вращения должно вылетать одинаковое число электронов как вверх, так и вниз (рис. 26).

В самом деле, чем отличается процесс распада и этот же процесс, отраженный в зеркале? Тем, что один процесс мы описываем в «левой» системе координат  $X, Y, Z$ , а другой — в «правой»  $Y, X, Z$ . В левой системе координат поворот по кратчайшей дуге, при котором ось  $X$  совмещается с осью  $Y$ , происходит против часовой стрелки (рис. 27). В правой — по часовой

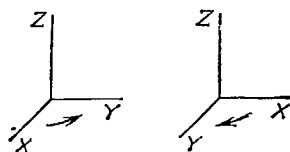


Рис. 27. Левая и правая системы координат отличаются направлением поворота по кратчайшей дуге от оси  $X$  к оси  $Y$

стрелке (рис. 27). Любой процесс и его отражение в зеркале отличаются только тем, что при их описании мы должны сменить левую систему координат на правую. А все отличие этих двух систем в том, что мы меняем местами ось  $X$  и ось  $Y$ . Вот почему сохранение четности представлялось для физиков таким естественным.

Но в опыте Ц. Ву было надежно установлено, что процесс  $\beta$ -распада и его отражение в зеркале выглядят по-разному. Оказалось, что если смотреть со стороны направления, в котором вылетает больше электронов, то поляризованное ядро вращается по часовой стрелке. В этом и других опытах, поставленных почти одновременно, было установлено, что слабое взаимодействие явно предпочитает левую систему координат правой. Что в слабом взаимодействии участвуют только «левовинтовые» частицы.

Нейтрино рождаются только в процессах слабого взаимодействия (например, в  $\beta$ -распаде). Это значит, что во всех известных процессах взаимодействия нейтрино участвуют только «левовинтовые» нейтрино. Правовинтовые нейтрино, если и существуют, в наблюдаемых процессах не проявляются. Существование нейтрино только левой спиральности еще одна сторона несохранения четности.

Это открытие сотрясало все основания физики. Казалось невероятным, что Природа знает, какая ось должна быть названа осью  $X$ , а какая — осью  $Y$ . (При данном направлении оси  $Z$ : изотропия — возможность поворота любого трехмерного объекта остается!) Это

отчетливо понимали сами Ли и Янг. В заключение своей классической работы, за которую они были удостоены Нобелевской премии, авторы явно указывали на эту проблему.

В самом деле, когда мы говорим о вращении, то представляем себе ось. С одной стороны оси мы наблюдаем вращение по часовой стрелке, с другой — против часовой стрелки. Поэтому, когда мы говорим об определенном направлении вектора вращения (см. Математическое дополнение, с. 187), то в этом определении всегда присутствует условность, потому что все часы условились делать одинаковыми.

Естественно было бы, если бы ядро испускало преимущественно по экватору — это можно было бы понять как эффект центробежной силы. Можно придумать вращающееся тело, симметричное по оси в обе стороны. Однако испускание преимущественно в одну сторону кажется неестественным. Опыт с распадом поляризованного ядра можно было бы поставить гораздо раньше — а не ставили, потому что считали, что тривиальный результат гарантирован.

Действительно, если бы речь шла об электродинамике и сильном взаимодействии, то опыт подтвердил бы симметрию правого и левого:  $\alpha$ -распад ядер, вращающихся в определенную сторону, симметричен, и электромагнитное излучение вращающегося атома симметрично.

Несимметрия в живой природе — это исключение, загадка, связанная с происхождением жизни. Напомним, что в неживой природе правый и левый сахар одинаковы. Связаны ли две загадки —  $\beta$ -распад и живое, и если связаны, то каков механизм связи — это дело будущего.

### Возможен ли зеркальный мир?

Выделение левой системы координат связано со свойством слабого взаимодействия тех частиц, которые нас окружают. Если у каждой частицы есть в «зазеркалье» двойник, то, отражая процесс в зеркале, мы должны рассматривать именно зеркальные двойники обычных частиц. Должны существовать зеркальные протоны, электроны, нейтроны и нейтрино. Отражая в зеркале ядро, мы получаем «зеркальное» ядро (не зеркальные ядра, в которых поменялись ме-