

подтверждено движение такой планеты внутри Солнца, значение этого факта трудно будет переоценить.

Так изучение физической природы несохранения четности в физике микромира может повлечь за собой грандиозные астрономические следствия.

Лептонные заряды

Исследование распадов мюона, пионов, странных частиц, изучение реакций взаимодействия нейтрино показали, что β -распад оказался только первым представителем большого класса процессов одного и того же так называемого *слабого взаимодействия*, для которого несохранение четности является фундаментальным законом. На языке спиральных частиц это означает, что в процессах слабого взаимодействия участвуют преимущественно левополяризованные частицы и правополяризованные античастицы. Так, например, в процессах слабого взаимодействия левополяризованное нейтрино превращается в левополяризованный электрон, а правополяризованное антинейтрино — в правополяризованный позитрон*) и имеют место реакции

$$\nu_e + p \rightarrow p + e^-, \quad (A)$$

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow p + e^+. \quad (B)$$

При этом реакция (A) вызывается только нейтрино ν_e , а антинейтрино $\bar{\nu}_e$ вызывает только реакцию (B). Реакция (A) за счет $\bar{\nu}_e$ с образованием правополяризованного электрона не наблюдалась, и, наоборот, не наблюдалась реакция (B), вызываемая ν_e . Об этом различии превращений ν_e и $\bar{\nu}_e$ иногда говорят как о различии *лептонных зарядов* ν_e и $\bar{\nu}_e$. Нейтрино ν_e и электрону приписывают лептонный заряд $+1$, а позитрону и $\bar{\nu}_e$ — заряд -1 . Тогда свойства превращений лептонов объясняются сохранением лептонного заряда.

Однако одного лептонного заряда оказалось недостаточно. В нейтринных экспериментах было установлено, что нейтрино, образующееся вместе с мюоном μ , мюонное нейтрино ν_μ в реакции типа (A) всегда

*) Кварки также участвуют в слабом взаимодействии только левополяризованные, и это обуславливает влияние поляризации ядра на слабые процессы.

превращается в μ^- , тогда как ν_e превращается в этой реакции в e^- . Даже при нулевой массе свойства электронного ν_e и мюонного ν_μ нейтрино различны. Эти различия объясняют различием в лептонных зарядах ν_μ и ν_e , а именно, e^- и ν_e (e^+ и $\bar{\nu}_e$) обладают электронным лептонным зарядом, а μ^- и ν_μ (μ^+ и $\bar{\nu}_\mu$) — мюонным лептонным зарядом. Между лептонами электронного типа ($e^-, \nu_e, e^+, \bar{\nu}_e$) и лептонами мюонного типа ($\mu^-, \nu_\mu, \mu^+, \bar{\nu}_\mu$) имеется симметрия. В соответствии с этой симметрией определяются и мюонные заряды: μ^- и ν_μ имеют мюонный заряд $+1$, μ^+ и $\bar{\nu}_\mu$ — заряд -1 .

Выбор того, что в паре частица — античастица называть частицей, а что — античастицей, условен. Но, условившись называть частицей электрон, с помощью лептонных зарядов, сохраняющихся в превращениях лептонов, можно установить, какой лептон является частицей, а какой — античастицей. Так, из сохранения электронного лептонного заряда следует, что частица, рождающаяся вместе с электроном при β -распаде должна иметь отрицательный лептонный заряд, т. е. являться античастицей — антинейтрино $\bar{\nu}_e$. Наоборот, при β^+ -распаде вместе с позитроном, обладающим отрицательным лептонным зарядом, должна рождаться частица с положительным лептонным зарядом — нейтрино, ν_e . Симметрия между лептонами электронного и мюонного типа позволяет определить как частицу, отрицательно заряженный мюон. Тогда из сохранения лептонного заряда следует, что в распаде

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

рождается нейтрино ν_μ , а в распаде

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

рождается античастица — мюонное антинейтрино $\bar{\nu}_\mu$.

Обсуждавшиеся лептонные заряды *) отличаются от электрического заряда тем, что с этими зарядами не связано поле взаимодействия. Сохранение этих зарядов отражает только сохранение числа частиц определенного сорта. Поэтому электронный и мюонный

*) После открытия τ -лептона, в распадах которого наблюдают эффекты существования третьего, τ -нейтрино ν_τ , был введен и третий лептонный заряд, связанный с τ и ν_τ .

лептонные заряды называют просто *сохраняющимися числами*. Подлинные заряды слабого взаимодействия — это заряды превращения ν_e в e^- , ν_μ в μ^- и т. д. — источники полей слабого взаимодействия. Эти заряды оказываются тесно связанными с симметрией изоспина.

Поле слабого взаимодействия

Долгое время слабое взаимодействие рассматривалось как 4-фермионное и казалось совершенно непохожим на электромагнитное. Однако в 50-е годы были замечены черты аналогии: 4-фермионное взаимодействие есть прямое, непосредственное поле взаимодействия двух слабых токов перехода. Теоретически более привлекательным казался путь рассматривать такое взаимодействие как низкоэнергетический предел взаимодействия, подобного электромагнитному, но с очень большой массой кванта поля взаимодействия. Чтобы элементарное взаимодействие тока (и заряда) слабого перехода с квантом поля слабого взаимодействия характеризовалось той же константой, что и аналогичный элементарный акт электромагнитного взаимодействия, требовалось, чтобы масса кванта слабого взаимодействия была порядка 100 ГэВ. Кроме того, кванты слабого поля электрически заряжены. Из этого выросла современная теория слабого взаимодействия, подробно обсуждаемая в книге Л. Б. Окуня « $\alpha\beta\gamma \dots Z$ ».

Выделим некоторые характерные черты этой теории. Рассмотрим электрон и электронное нейтрино. Это две разные частицы. Электрон электрически заряжен. Нейтрино электрически нейтрально. Но все же это очень схожие частицы. Это два лептона. Они имеют одно и то же лептонное электронное число. Наверняка для них все различия связаны с тем, что электрон — электрически заряжен, а нейтрино — нет. Но тогда эта пара совсем похожа на пару протон — нейтрон. Эти две частицы (электрон и нейтрино) можно рассматривать как разные состояния одного лептонного поля.

Положим в основу теории *неразличимость зарядовых компонент* лептонов. Тем самым мы попадаем в «зарядовое пространство», в пространство лептонного