

МУЛЬТИПЛИКАТИВНО ЛИ ОДНО ИЗ ЛЕПТОННЫХ КВАНТОВЫХ ЧИСЕЛ?

Нгуен Ван Хъеу, Б.Понжекорво

Как известно, одного аддитивного лептонного квантового числа, принимающего только три значения $(-1, 0, +1)$, недостаточно для описания совокупности экспериментальных данных о слабых процессах взаимодействия с участием лептонов. Можно рассматривать разные возможности, среди которых упомянем следующие:

1. Имеется два различных аддитивных лептонных заряда — мюонный и электронный. С точки зрения предложенного в настоящей заметке опыта эта альтернатива не отличается от случая, когда имеется только один аддитивный лептонный заряд, знаки которого для μ^- и e^- противоположны [1].

2. Имеется один аддитивный лептонный заряд, значения которого для e^-, ν_e и μ^-, ν_μ являются разными (скажем, $+1$ для e^-, ν_e и $+2$ для μ^-, ν_μ) [2].

3. Имеется только один аддитивный лептонный заряд ℓ (скажем, $+1$ для $\nu_e, \nu_\mu, e^-, \mu^-$ и -1 для $\bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, e^+, \mu^+$) и одно мультипликативное [3] лептонное число M , равное $+1$ для $\nu_e, e^-, \bar{\nu}_e, e^+$ и -1 для $\nu_\mu, \mu^-, \bar{\nu}_\mu, \mu^+$.

Альтернатива 3 самая нестрогая из перечисленных возможностей, поскольку она позволяет, в принципе, переходы мюоний \leftrightarrow антимюоний [4]. Она требует величины $+1$ для M у всех частиц, не являющихся лептонами (см., например, распад $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ и т.д.) и поэтому она представляется нам довольно искусственной. Кроме того, она не совместима с концепцией Фейнмана и Гелл-Манна [5] о взаимодействии двух токов. Однако, только наблюдение даст ответ на вопрос, реализуется ли альтернатива 3 в природе.

Для выяснения вопроса о существовании мультипликативного лептонного числа было предложено экспериментальное изучение осцилляций мюоний \leftrightarrow антимюоний [3]. В этом случае соответствующие эксперименты, однако, крайне трудны. Кроме того, такие осцилляции вызваны взаимодействием второго порядка или довольно экзотическим взаимодействием. Ниже мы предлагаем конкретную постановку опыта, которая не имеет таких недостатков.

Рассмотрим процесс распада мюона. Скажем, положительного по причинам экспериментального характера, которые будут ясны в дальнейшем. Согласно возможностям 1 и 2, он происходит по схеме $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$. Если же имеется мультипликативное квантовое число M , кроме аддитивного заряда e (альтернатива 3), то распад мюона происходит [3] согласно двум равноправным каналам:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu, \quad (1)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_\mu. \quad (2)$$

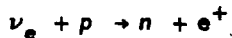
Таким образом, альтернатива 3 требует, чтобы в распаде положительного мюона рождались не только эльнейтрино, но и анти-эльнейтрино.

Это можно проверить путем анализа нейтральных продуктов распада μ -мезона. Крайне большая величина длины распада движущихся мюонов приводит к тому, что экспериментальное исследование их продуктов распада выгодно провести на остановившихся мюонах. Поскольку мюонейтрино и анти-мюонейтрино от распада остановившихся мюонов не могут взаимодействовать с нуклонами (их энергии меньше массы мюона), то задача сводится к анализу относительного состава эльнейтрино и анти-эльнейтрино среди продуктов распада остановившихся положительных мюонов.

Уже было показано [6], что ускоритель протонов с энергией около 700 Мэв и интенсивностью в несколько сотен микроампер ("мезонная фабрика"), в принципе, даст возможность фиксировать нейтральные лептоны от остановившихся мюонов. Эльнейтрино с энергией в области нескольких десятков мегаэлектронвольт можно отличить от анти-эльнейтрино опытом типа Райнса и Коузена [7]. Действительно, анти-эльнейтрино взаимодействует с протоном по схеме



в то время, как эльнейтрино не может вызвать реакцию



Если для регистрации нейтральных лептонов использовать дейтеросодержащую мишень, то, в принципе, можно фиксировать взаимодействие как анти-эльнейтрино, так и эльнейтрино ($\bar{\nu}_e + d \rightarrow e^+ + n + n$; $\nu_e + d \rightarrow e^- + p + p$). Однако постановка такого опыта не проста. Выгоднее постановка а ля-Райнс и Коуэн с водородосодержащим сцинтиллятором, причем регистрация взаимодействий анти-эльнейтрино с протонами является доказательством существования одного мультипликативного лептонного числа.

Какие другие источники анти-эльнейтрино могут создавать фон в этих опытах? Чтобы оценить это, предположим, что пучок протонов, скажем, с энергией 700 Мэв попадает через длинное отверстие глубоко внутрь железного блока, который служит одновременно мишенью (источник пионов) и защитой для всех излучений, кроме нейтральных лептонов. Протоны, рождающиеся пионы и мюоны от распада пионов замедляются. Число пионов обоих знаков, распадающихся налету, незначительно и, кроме того, числом анти-эльнейтрино, рождающихся при этом ($\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$), можно пренебречь. То же самое можно утверждать по отношению к числу мюонов, распадающихся налету. Остановившиеся положительные пионы рождают с вероятностью единица положительные мюоны, которые также останавливаются. С другой стороны, отрицательные пионы при остановке захватываются ядрами и не образуют медленных

мюонов, Таким образом, общее число остановившихся μ^- -мезонов невелико. Кроме того, при остановке отрицательных мюонов в веществе, как известно, будут рождаться, главным образом, мюнейтрино ($\mu^- + A \rightarrow \nu_\mu + A'$). Таким образом, видно, что фон эльнейтрино в рассматриваемом эксперименте крайне мал, тем более, что искомый эффект порядка единицы.

Опубликование нашего предложения вызвано тем, что "мезонные фабрики" скоро вступят в строй, а планирование защиты для опытов с пучками нейтрино от остановившихся мезонов должно быть предусмотрено уже сейчас. В заключение заметим, что независимо от задачи по поиску с мультипликативного квантового числа, анализ нейтральных продуктов распада мюонов имеют самостоятельный интерес.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступило в редакцию
12 декабря 1967 г.

Литература

- [1] Я.Б.Зельдович. ДАН СССР, 86, 505, 1952; Kopinski, H.Mahmond. Phys. Rev., 92, 1045, 1953.
- [2] J.Schwinger. Ann. Phys., 2, 407, 1957.
- [3] G.Feinberg, S.Weinberg. Phys. Rev.Lett., 6, 381, 1961; Phys. Rev. . 123, 1439, 1961.
- [4] Б.Понтекорво. ЖЭТФ, 33, 549, 1957.
- [5] R.P.Feynmann, M.Gell-Mann. Phys. Rev., 109, 193, 1958.
- [6] Б.Понтекорво. ЖЭТФ, 37, 27, 1959.
- [7] F.Reines, C.L.Cowan. Phys. Rev., 113, 173, 1959.