

О ПРОВЕРКЕ РАВЕНСТВА МАСС ЧАСТИЦЫ И АНТИЧАСТИЦЫ В НЕЙТРОН-АНТИНЕЙТРОННЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЯХ

Ю. Г. Абов, Ф. С. Джепаров, Л. Б. Окунь

Экспериментальное наблюдение нейтрон-антинейтронных осцилляций позволило бы проверить равенство масс нейтрона и антинейтрона с беспрецедентной точностью.

Равенство масс частицы и античастицы, которое следует из *CPT*-инвариантности, проверено на опыте с точностью $\Delta m/m \sim 10^{-5} - 10^{-3}$ (см., например, ¹). Единственным исключением являются нейтральные каоны, для которых $\Delta m/m \lesssim 10^{-18}$. Недавно было показано ², что согласие между существующими экспериментальными данными по распадам нейтральных каонов и требованиями *CPT*-симметрии оставляет желать лучшего: эксперимент отстоит от теории на два стандартных отклонения. Конечно, рождение на два стандартных отклонения нельзя и не следует рассматривать как сигнал возможного нарушения *CPT*, тем не менее этот результат указывает на желательность новых более точных измерений и наталкивает на размышления. В настоящее время нельзя исключить, что $\Delta m_{K\bar{K}} \sim 10^{-4} \Gamma_S \sim 10^6 \text{ с}^{-1} \sim 10^{-9}$ эВ (здесь Γ_S – ширина K_S^0 -мезона). Цель этой статьи – отметить, что эксперименты по поискам нейтрон-антинейтронных осцилляций могли бы дать гораздо лучший верхний предел для разности масс нейтрона и антинейтрона, $\Delta m_{n\bar{n}}$.

Переходы $n - \bar{n}$ обсуждались уже в пионерской статье ³, в которой было отмечено, что переходы $n - \bar{n}$ в отличие от переходов $K - \bar{K}$ запрещены сохранением барионного заряда. Более детально, но в том же негативном плане $n - \bar{n}$ -осцилляции анализировались в книге ⁴. Позднее была сформулирована ⁵ гипотеза, согласно которой барионный заряд не сохраняется и его несохранение в сочетании с нарушением *CP*-симметрии может объяснить барионную асимметрию Вселенной. Эта гипотеза обсуждалась затем в статье ⁶, в которой на основе экспериментальных данных по стабильности протона была дана оценка нижнего предела периода $n - \bar{n}$ -осцилляций.

Современный общий интерес к $n - \bar{n}$ -осцилляциям был инициирован замечанием ⁷, что эти осцилляции предсказываются некоторыми моделями великого объединения. В настоящее время известны результаты эксперимента в Гренобле по поискам $n - \bar{n}$ -осцилляций ($\tau_{n\bar{n}} \gtrsim 10^6$ с, см. ⁸) и еще несколько таких экспериментов находятся в стадии подготовки и планирования. Список восьми ведущихся, подготавливаемых и планируемых $n - \bar{n}$ экспериментов, так же как и подробный список недавних теоретических работ по $n - \bar{n}$ -осцилляциям можно найти в статье ⁸. Согласно этой статье, обсуждаемые эксперименты могли бы обнаружить $n - \bar{n}$ -осцилляции, если вакуумное время перехода $\tau_{n\bar{n}}$ меньше $10^8 - 10^9$ с.

Во всех упомянутых экспериментах пучок нейтронов движется в вакууме, в области с очень малым магнитным полем пока не сталкивается с мишенью, в которой антинейтроны аннигилируют. Вероятность превращения $n - \bar{n}$ равна $(t/\tau_{n\bar{n}})^2$, где t – время пролета в вакууме. Согласно статье ⁸, значения t в обсуждаемых опытах лежат в интервале $10^{-1} - 10^{-2}$ с. В связи с этим мы хотели бы заметить, что в этих опытах $n - \bar{n}$ -осцилляции могут быть обнаружены только если $\Delta m_{n\bar{n}} \lesssim 1/t$. Это означает, что наблюдение вакуумных $n - \bar{n}$ -осцилляций дало бы верхний предел $\Delta m_{n\bar{n}} \lesssim 10^1 - 10^2 \text{ с}^{-1}$, что соответствует $\Delta m_{n\bar{n}}/m_n \lesssim 10^{-23} \div 10^{-22}$ и на $5 \div 4$ порядков лучше, чем существующий верхний предел для $\Delta m_{K\bar{K}}$.

Если бы $\Delta m_{n\bar{n}}$ оказалось много больше, чем $1/t$, то вакуумное превращение нейтронов в антинейтроны было бы подавлено малым множителем $(t \Delta m_{n\bar{n}})^{-2}$ и могло бы стать ненаблюдаемо малым. Для поисков $n - \bar{n}$ -осцилляций, подавленных разностью масс $\Delta m_{n\bar{n}} \gtrsim 10 -$

100 с^{-1} , нужны специальные опыты, в которых время пролета t может быть уменьшено, но зато поток нейтронов максимален.

В настоящее время неясно, насколько полезными могут оказаться поиски $n - \tilde{n}$ -осцилляций с помощью ловушек ультрахолодных нейтронов (см. ⁹).

Величина $\Delta m_{n\tilde{n}}$, которую мы обсуждаем, настолько мала, что никак не может сказаться на переходах $n - \tilde{n}$ в ядрах. Поэтому наблюдение процесса двухнуклонной аннигиляции в ядрах, при отсутствии или подавленности вакуумных $n - \tilde{n}$ -осцилляций, указывало бы на то, что $\Delta m_{n\tilde{n}} \neq 0$. Экспериментальное обнаружение обоих явлений с теоретически согласующимися выходами дало бы верхний предел для $\Delta m_{n\tilde{n}}$. Отсутствие на опыте обоих явлений ничего не говорило бы о $\Delta m_{n\tilde{n}}$, давая только верхний предел на амплитуду $n - \tilde{n}$ -переходов. Заметим, что наилучший нижний предел для времени двунуклонной аннигиляции в ядрах $\tau_{nn} > 2,4 \cdot 10^{31}$ лет (см. ¹⁰), что теоретически соответствует нижнему пределу для $\tau_{n\tilde{n}}$ в интервале от $2,7 \cdot 10^7$ до $1,1 \cdot 10^8$ с.

В настоящее время широко обсуждается возможность нарушения CPT -инвариантности за счет квантово-гравитационных эффектов (см., например, ¹¹). Если ненулевое значение $\Delta m_{n\tilde{n}}$ возникает за счет эффектов, нарушающих CPT - и C -симметрию на массе Планка, m_{Pl} , то можно ожидать в качестве сверхоптимистического верхнего предела:

$$\Delta m_{n\tilde{n}}/m_n \lesssim m_n/m_{Pl} \sim 10^{-19}.$$

Мы благодарны В.Ф.Перепелице за полезное замечание.

Литература

1. Окуль Л.Б. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1981, 296.
2. Балло-Чеолин М. и др. Письма в ЖЭТФ. 1983, 38, 459.
3. Gell-Mann M., Pais A. Phys. Rev., 1955, 47, 1387.
4. Окуль Л.Б. Слабое взаимодействие элементарных частиц. М.: Физматгиз, 1963, 200.
5. Сахаров А.Д. Письма в ЖЭТФ, 1967, 5, 32.
6. Кузьмин В.А. Письма в ЖЭТФ, 1970, 12, 335.
7. Glashow S.L. HUTP Reports 79/A040, 1979.
8. Fidicaro J. CERN preprint EP/83-102.
9. Казарновский М.В., Кузьмин В.А., Шапошников М.Е. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 49.
10. Jones T.W. et al. (IMB Collaboration). Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 720.
11. Wald R.M. Phys. Rev., 1980, D21, 2742.

Институт теоретической
и экспериментальной физики

Поступила в редакцию

5 апреля 1984 г.