

ПОИСК ТЯЖЕЛОГО НЕЙТРИНО В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

М.Д.Скорохватов, А.В.Этенко

*Институт атомной энергии им.И.В.Курчатова
123182, Москва*

Поступила в редакцию 10 февраля 1992 г.

На основании результатов эксперимента по изучению реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$, завершено на Ровенской АЭС в потоке $\bar{\nu}_e$ от ядерного реактора получено ограничение на параметр смешивания тяжелого нейтрино $|U_{eH}|^2 < 0,02$ (68% CL).

С 1985 г. в литературе обсуждаются результаты работ по измерению формы энергетических спектров β -электронов, в которых сообщается, что электронное нейтрино ν_e содержит примесь состояния с массой около 17 кэВ. Примесь тяжелого нейтрино ν_H проявляется в виде аномалий в β -спектрах, наблюдаемых по мнению авторов работ ¹⁻⁶ в измерениях на полупроводниковых детекторах с изотопами ³H ^{1,2}, ³⁵S ^{3,4}, ⁷¹Ge ⁵ и ¹⁴C ⁶. Приведенная в этих работах оценка вклада состояния ν_H соответствует параметру смешивания в диапазоне:

$$|U_{eH}|^2 \approx 0,01 - 0,03 \quad (1)$$

В то же время результаты экспериментов на изотопах ³⁵S ⁷⁻⁹ и ⁶³Ni ¹⁰, выполненных с помощью магнитных спектрометров, не подтверждают существования искажений электронных спектров, вызванных смешиванием нейтрино при ограничении $|U_{eH}|^2 < 0,005$ для массы $m_\nu \approx 17$ кэВ.

Неоднозначность экспериментальной ситуации не позволяет в настоящее время сделать окончательные выводы относительно нейтрино с массой 17 кэВ. Поэтому значительный интерес представляет изучение других возможных проявлений тяжелых нейтрино в эксперименте. С этой целью в настоящей работе рассмотрены результаты реакторного эксперимента на Ровенской АЭС ¹² в котором измерялось сечение реакции

$$\bar{\nu}_e + p \Rightarrow n + e^+ \quad (2)$$

Поток $\bar{\nu}_e$ от реактора формируется в результате β -распадов осколков деления ядерного топлива. Если электронное антинейтрино представляет собой суперпозицию массовых состояний с небольшой примесью тяжелого нейтрино, то становятся возможными осцилляции потока $\bar{\nu}_e$. Для характерных энергий реакторных антинейтрино $E_\nu < 10$ МэВ и разности квадратов масс нейтринных состояний $\Delta m^2 \simeq (17 \text{ кэВ})^2$, длина осцилляций:

$$L_{\text{осц}} = 2,5 \cdot 10^{-4} (\text{см}) \frac{E_\nu (\text{МэВ})}{\Delta m^2 (\text{КэВ})^2} < 10^{-5} \text{ см.}$$

Следовательно значение $L_{\text{осц}}$ существенно меньше размеров области реактора, в которой происходит рождение $\bar{\nu}_e$ и осцилляции усредняются по размерам источника.

В работе ¹¹ показано, что при достаточно общих предположениях, вероятность того, что испущенное электронное антинейтрино останется в том же состоянии в точке регистрации

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - 2|U_{eH}|^2 \quad (3)$$

и наблюдаемый поток $\bar{\nu}$ будет меньше ожидаемого при отсутствии примеси тяжелого нейтрино. Таким образом нейтринный эксперимент на реакторе обладает определенной чувствительностью к параметру смешивания, который можно определить из соотношения:

$$|U_{eH}|^2 = \frac{1}{2} |1 - X|, \quad (4)$$

где X - отношение экспериментально наблюдаемой интенсивности взаимодействия (2) и ожидаемой без осцилляций.

На основании измерений, проведенных на реакторе Ровенской АЭС ¹², было получено отношение

$$X = 0,993 \pm 0,035. \quad (5)$$

Погрешность отношения X определяется, в основном, точностью теплофизических данных измерения мощности реактора (2%), характеристик детектора (1,2%), а также статистикой (1%) и расчетом сечения реакции (2) $\sigma^{\text{теор}}$.

Значение $\sigma^{\text{теор}}$ определялось в рамках стандартной $V - A$ -модели слабого взаимодействия суммированием вероятности захвата моноэнергетических $\bar{\nu}_e$ протоном по спектру реакторных антинейтрино. В расчетах использовался теоретический анализ процесса (2) ¹³ и спектры $\bar{\nu}_e$ из работ ¹⁴⁻¹⁶. Ошибка $\sigma^{\text{теор}}$ связана с погрешностью энергетического спектра $\bar{\nu}_e$ от реактора и составляет около 2%. Дополнительную неопределенность вносит принятое в расчетах значение комбинации слабых констант $G_V^2 + 3G_A^2$, которое может быть определено с погрешностью 0,2 - 0,4%, либо на основании измерений времени жизни свободного нейтрона ¹⁷, либо независимым способом из данных о сверхразрешенных $0^+ \rightarrow 0^+$ β -переходах ¹⁸ и угловых корреляциях в распаде нейтрона ¹⁹. Несмотря на высокую точность, результаты полученные этими двумя способами различаются более чем на один процент, что является в последнее время предметом самостоятельной дискуссии (см., например, ²⁰). В настоящей работе мы принимаем среднее (невзвешенное) значение с ошибкой 0,8%, охватывающей оба результата.

Из найденного отношения (5) следует ограничение на параметр смешивания для тяжелого нейтрино:

$$|U_{eH}|^2 < 0,02 \quad (68\% \text{ C L}) \quad (6)$$

Полученный результат несколько сужает диапазон (1) $|U_{eH}|^2$, приведенный в работах ¹⁻⁶ и показывает, что чувствительность реакторного эксперимента достигла области, представляющей интерес для поиска примеси тяжелого нейтрино.

Повышение чувствительности связано с совершенствованием методов реакторного контроля и более глубоким изучением спектрального состава нейтринного излучения ядерного реактора. Прогресс в этом направлении может быть достигнут также при проведении экспериментов на других реакторах, однотипных с реактором ВВЭР Ровенской АЭС (Pressurized light water reactor) с помощью методики прецизионных измерений, описанных в ¹². Сопоставление результатов дополнительных экспериментов и повышение надежности расчета ожидаемого сечения реакции (2) позволит увеличить чувствительность к параметру смешивания тяжелого нейтрино в 1,5-2 раза.

В заключение авторы благодарят Л.А.Микаэляна за полезное обсуждение настоящей работы.

-
1. J.J.Simpson, Phys. Rev. Lett. **54**, 1891 (1985).
 2. A.Hime and J.J.Simpson, Phys. Rev. **D39**, 1837 (1989).
 3. J.J.Simpson and A.Hime, Phys. Rev. **D39**, 1825 (1989).
 4. A.Hime and N.A.Jelley, Phys. Lett. **B257**, 441 (1991).
 5. I.Zliven, A.Ljubicic, S.Kaucic and B.A.Logan, Phys. Rev. Lett. **67**, 560 (1991).
 6. B.Sur, E.Norman et al., Phys. Rev. Lett. **66**, 2444 (1991).
 7. T.Altzitzoglou, F.Calaprice et al., Phys. Rev. Lett. **55**, 799 (1985).
 8. А.М.Апаликов, С.Д.Борис и др., Письма в ЖЭТФ **42**, 263 (1985).
 9. J.Markey and F.Boehm, Phys. Rev. **C32**, 2215 (1985).
 10. D.W.Hetherington, R.L.Grahan et al., Phys. Rev. **C36**, 1504 (1987).
 11. S.M.Bilenky, A.Masiero and S.T.Petcov, Phys. Lett. **B263**, 448 (1991).
 12. А.А.Кувшинников, Л.А.Микаэлян и др., Письма в ЖЭТФ **54**, 259 (1991).
 13. С.А.Фаянс, ЯФ **42**, 929 (1985).
 14. K.Schreckenbach, G.Golvin et al., Phys. Lett. **B160**, 325 (1985).
 15. A.A.Hahn and K.Schreckenbach, Phys. Lett. **B218**, 365 (1989).
 16. P.Vogel, R.E.Schenter et al., Phys. Rev. **C24**, 1543 (1981).
 17. D.Dubbers, W.Mampe and J.Dohner, Europhys Lett. **11**, 195 (1990).
 18. J.C.Hardy, I.S.Towner et al., Труды международной школы "Физика слабых взаимодействий при низких энергиях", Дубна, 1991, с.365.
 19. Б.Г.Ерозолимский, Ibid. с.331.
 20. Yu.V.Gaponov, N.B.Shul'gina and P.E.Spivak, Ibid, с.382.