

ОГРАНИЧЕНИЯ НА МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ И ЗАРЯДОВЫЙ РАДИУС ЭЛЕКТРОННОГО АНТИНЕЙТРИНО

Г.С.Видякин, В.Н.Выродов, И.И.Гуревич, Ю.В.Козлов,
В.П.Мартемьянов, С.В.Сухотин, В.Г.Тарасенков, Е.В.Турбин,
С.Х.Хахимов

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

Поступила в редакцию 24 декабря 1991 г.

В потоке антинейтрино от энергетического реактора наблюдалась реакция упругого рассеяния антинейтрино на электроны с помощью 103 кг детектора из фторорганического сцинтиллятора. Было измерено сечение $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния в интервале энергий электронов отдачи (3150 ÷ 5175) кэВ $\sigma = (4,5 \pm 2,4) \cdot 10^{-46}$ см²/дел и получено ограничение на величину магнитного момента $\mu_\nu \leq 2,4 \cdot 10^{-10} \mu_B$ и зарядового радиуса электронного нейтрино $|r| \leq 2,7 \cdot 10^{-16}$ см на 90% уровне достоверности.

Процесс рассеяния электронных нейтрино на электронах интересен тем, что в нем участвуют только лептоны, причем один из них нейтрален. Это позволяет в чистом виде наблюдать эффекты слабого взаимодействия, а также изучать свойства нейтрино, выходящие за рамки стандартной теории электрослабых взаимодействий. Анализ результатов измерений группы Дэвиса 1-3, эксперимента KAMIOKANDE и других дает основание полагать, что существует антикорреляция между потоком солнечных нейтрино и активностью Солнца. Если это так, то антикорреляция возможно связана с электромагнитными свойствами нейтрино и может быть объяснена наличием у электронного нейтрино магнитного момента $\mu_\nu \simeq (1 \div 10) \cdot 10^{-11} \mu_B$ 4-7.

С учетом вклада слабого взаимодействия, магнитного момента и зарядового радиуса сечение $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния выглядит следующим образом 8:

$$\frac{d\sigma}{dT} \left(\frac{G_F^2 m_e}{2\pi} \right) \left\{ (g'_V + \delta - g'_A)^2 + (g'_V + \delta + g'_A)^2 (1 - T/E)^2 + [g'_A{}^2 - (g'_V + \delta)^2] \frac{m_e T}{E^2} \right\} + \frac{\pi \alpha^2 \mu_\nu^2}{m_e^2} \times \frac{1 - T/E}{T},$$

где $g'_V = 2 \sin^2 \theta_W + 1/2$, $g'_A = 1/2$, E - энергия падающих антинейтрино, T - энергия электронов отдачи, m - масса электрона, α - константа электромагнитного взаимодействия, μ_ν - магнитный момент нейтрино в электронных магнетонах Бора $\mu_B = e/2m_e$, δ - вклад, связанный с зарядовым радиусом нейтрино.

С точки зрения возможности обнаружения магнитного момента нейтрино (антинейтрино) выгоднее проводить эксперименты с низкоэнергетическими нейтрино (антинейтрино), так как относительный вклад магнитного момента в сечение увеличивается с уменьшением энергии. Мощным источником низкоэнергетических антинейтрино в земных условиях является ядерный реактор. На рис.1 показано поведение сечения $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния за счет слабого взаимодействия с $\sin^2 \theta_W = 0,23$ (1), и за счет магнитного момента антинейтрино $\mu_\nu = 10^{-10} \mu_B$ (2) для реакторного спектра антинейтрино 9,10.

К настоящему времени процесс рассеяния реакторных антинейтрино на электронах изучался только тремя группами 11-13. В работе 12 не удалось пока

улучшить соотношение эффект/фон, составляющий менее 1/50, а в работе ¹¹ в качестве мишени был использован водородосодержащий сцинтилятор, что создавало серьезные трудности при борьбе с коррелированным фоном от реакции обратного бета-распада на протоне. Настоящая работа является продолжением работы ¹³, в которой регистрация ($\bar{\nu}_e e$)-рассеяния осуществлялась с помощью низкофоновый фторорганического детектора. Вес рабочего вещества (сцинтилляционного гексафторбензола) 103 кг, количество электронов $3,0 \cdot 10^{28}$, примесь атомов водорода в сцинтилляционных добавках $1,6 \cdot 10^{25}$.

$d\sigma/dT$ (10^{-45} см²/МэВ-дел)

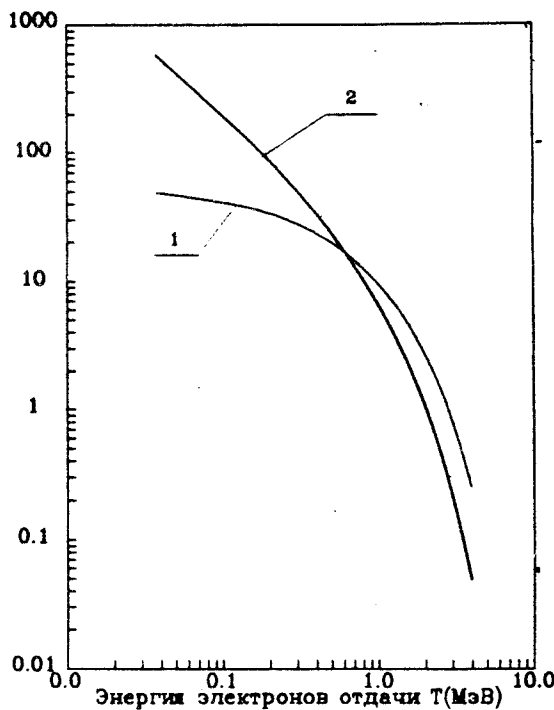


Рис. 1. Расчетный дифференциальный спектр электронов отдачи от рассеяния реакторных антинейтрино на электронах: 1 - за счет слабого взаимодействия с $\sin^2 \theta_W = 0,23$; 2 - за счет магнитного момента антинейтрино $\mu_{\bar{\nu}} = 10^{-10} \mu_B$

Детектор был установлен на реакторе в потоке антинейтрино $\sim 2,7 \cdot 10^{12} \bar{\nu}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$. Измерения проводились в течение 254 дней при включенном реакторе и 78 дней при выключенном. На рис.2 (кривая 3) показан фоновый спектр, полученный при выключенном реакторе. Для сравнения кривой 1 представлен расчетный спектр электронов отдачи от слабого ($\bar{\nu}_e e$)-рассеяния с $\sin^2 \theta_W = 0,23$ с учетом энергетического разрешения и стеночного эффекта, а кривой 2 еще и с учетом позитронов от конкурирующей реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ на атомах водорода в сцинтилляционных добавках. В расчете использовались спектры реакторных антинейтрино из работ ^{9,10}, так как спектр антинейтрино от выбранного реактора определялся почти исключительно продуктами деления ²³⁵U. Из рис. 2 видно, что оптимальным диапазоном измерений является (3150÷5175)кэВ. В этом диапазоне энергий соотношение эффект/фон составило 1/10, а расчетное значение коррелированного фона от обратного бета-распада 14% от ожидаемого эффекта.

В результате измерений было получено сечение ($\bar{\nu}_e e$)-рассеяния в диапазоне энергий (3150÷5175) кэВ $\sigma_{\nu e} = (4,5 \pm 2,4) \cdot 10^{-46} \text{см}^2/\text{дел}$.

Если считать, что ($\bar{\nu}_e e$)-рассеяние происходит только через слабое взаимодействие, то из сечения следует, что $\sin^2 \theta_W = 0,22 \begin{matrix} +0,7 \\ -0,8 \end{matrix}$.

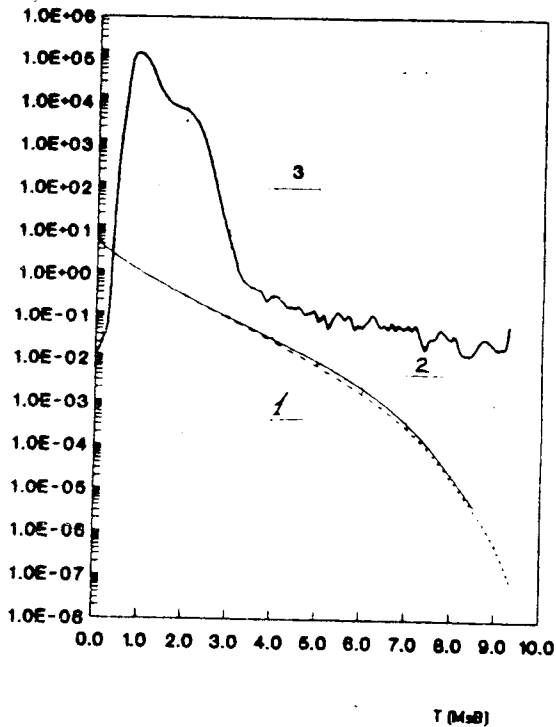


Рис. 2. 1 - Ожидаемый спектр электронов отдачи от слабого βe -рассеяния с $\sin^2 \theta_W = 0,23$ с учетом приборного искажения; 2 - с учетом вклада позитронов от реакции обратного β -распада на атомах водорода сцинтилляционных добавок; 3 - экспериментальный дифференциальный спектр фона детектора βe -рассеяния на месте проведения эксперимента

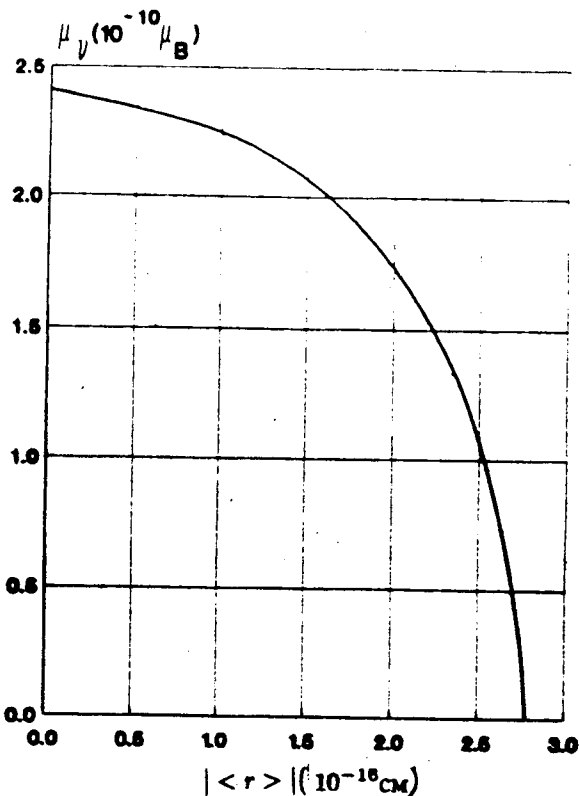


Рис. 3. Ограничения на величину магнитного момента и зарядового радиуса электронного антинейтрино

С другой стороны, если принять $\sin^2 \theta_W = 0,23^{14,15}$, то можно на 90% уровне достоверности получить ограничения на магнитный момент и зарядовый радиус электронного антинейтрино:

$$\mu_{\bar{\nu}} \leq 2,4 \cdot 10^{-10} \mu_B \quad \text{и} \quad |r| \leq 2,7 \cdot 10^{-16} \text{см}.$$

На рис. 3 показана область ограничений на зарядовый радиус и магнитный момент электронного антинейтрино.

На сегодняшний день эти ограничения стоят в ряду самых жестких из полученных в результате лабораторных экспериментов ^{8,16,17}.

Для увеличения чувствительности эксперимента к магнитному моменту антинейтрино необходимо измерить сечение процесса $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния в области энергий электронов отдачи $\sim (1,5-3,0)$ МэВ. Но это требует понизить фон детектора в указанной энергетической области по крайней мере на два порядка. Авторы видят решение этой проблемы в следующем:

- 1) модернизировать пассивную защиту детектора с применением "чистых" (в радиационном отношении) материалов;
- 2) увеличить объем детектора и его секционирование, что позволило бы улучшить активную защиту за счет увеличения эффективности регистрации перерассеянных γ -квантов;
- 3) уменьшить долю конструкционных материалов в детекторе. В настоящее время ведутся работы в этих направлениях.

В заключение авторы выражают благодарность Беляеву С.Т. за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, Аверочкину С.Е., Зимину С.Л., Тарасову Ю.Ф., Кирееву А.И., Никиткину В.И. и Панову И.В. за помощь в подготовке и осуществлении эксперимента, персоналу реактора за обеспечение хороших условий проведения работ.

-
1. R.Davis, Jr., In: Seventh Workshop on Grand Unification, proceedings, Toyama, Japan, 1986, Ed. by J.Arafune (Singapore: World Scientific, 1986).
 2. J.N.Bahcall, Nature 330, 318 (1987).
 3. J.N.Bahcall, R.Davis and L.Wolfenstein, Nature 334, 487 (1988).
 4. A.Cisneros, Astrophys. Space Sci. 10, 87 (1971).
 5. М.Б.Волошин, М.И.Высоцкий, Л.Б.Окунь, ЖЭТФ 91, 754 (1986).
 6. M.B.Voloshin, Phys. Lett. B 237, 537 (1988).
 7. M.I.Vysotsky, Int. Cent. Theor. Phys. (Prepr) 78, 1 (1990).
 8. P.Vogel and J.Engel, Phys. Rev. D 39, 3378 (1989).
 9. K.Schreckenbach, G.Colvin et al., Phys. Lett. B 160, 325 (1985).
 10. В.Г.Александркин, С.В.Родичев, П.М.Рубцов и др., Бета- и антинейтринное излучение радиоактивных ядер. М.: Энергоатомиздат, 1989.
 11. F.Reines, H.S.Gurr and H.W.Sobel, Phys. Rev. Lett. 37, 315 (1976).
 12. А.В.Дербин, Л.А.Июпеко, А.В.Черный, Г.А.Шишкин, Письма в ЖЭТФ, 43, 164 (1986).
 13. G.S.Vidyakin, V.N.Vyrodiv, I.I.Gurevich et al., J. Mosc. Phys. Soc. 1, 85 (1991).
 14. Collaboration ALEPH (D.Deamp et al.), Z. Phys. C. 48, 368 (1990).
 15. The L3 Collaboration B.Aceva, O.Adriani, M.Aguilar-Benitez et al. Phys. Lett., B 250, 183 (1990).
 16. R.C.Allen, H.H.Chen, P.J.Doe et al. LA-UF. 90-2981 (1990).
 17. J.A.Gristols, Mod. Phys. Letza., 5, 2657 (1990).