

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ОБРАТНОГО БЕТА-РАСПАДА ПРОТОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

А.И.Афонин, С.А.Богатов, А.А.Боровой, А.Г.Вершинский,
С.Л.Гаврилов, Ю.Л.Добрынин, С.Н.Кетов, Ю.В.Климов
В.И.Копейкин, Л.А.Левина, Л.А.Микаэлян, С.В.Николаев,
К.В.Озеров, В.В.Синев, А.Н.Херувимов

В нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС измерено сечение реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$. Приводятся ограничения на параметры нейтринных осцилляций.

В 1966 г. Ф.Незрик и Ф.Райнес ¹ опубликовали результат измерения сечения реакции



на ядерном реакторе: $\sigma_{\bar{\nu}} = (0,94 \pm 0,13) \cdot 10^{-43} \text{ см}^2 / \bar{\nu}_e$ ¹). Реакция (1) исследовалась в ряде экспериментов последних лет ^{4, 5}, однако непосредственно величина сечения их авторами не приводится.

Мы сообщаем результаты измерения сечения, полученные на основе 3196 нейтринных событий, зарегистрированных в подземной нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС ⁶ с помощью сцинтилляционного спектрометра, расположенного на расстоянии $R = 18,4$ м от центра активной зоны.

Мишенью для $\bar{\nu}_e$ и замедлителем нейтронов служил жидкий сцинтиллятор на основе декалина (235,5 л) с добавкой гадолиния. События регистрировались по совпадениям между позитроном и γ -лучами захвата нейтронов реакции (1) в гадолинии. Время ожидания второго события – от 4 до 150 мксек после первого. Диапазон регистрации кинетической энергии позитронов – 1,0 ÷ 9,5 МэВ. (Подробнее см. в предварительной публикации ⁷).

Результаты измерений на работающем и остановленном реакторе следующие:

	Средняя мощность (МВт)	Время измерений (с)	Число событий ²⁾	Число событий за 10^5 с
До остановки	1389	$6,6 \cdot 10^5$	2535	384 ± 10
Во время остановки	0	$20,9 \cdot 10^5$	2281	109 ± 4
После остановки	1354	$5,3 \cdot 10^5$	1960	370 ± 15

Из приведенных данных следует, что скорость счета нейтринных событий составляет $N_{\bar{\nu}} = 269 \pm 13$ за 10^5 с при фоне $N_{\Phi} = 109 \pm 4$ за то же время.

Отметим, что скорость набора статистики гораздо выше, чем в аналогичных экспериментах, поставленных за два последние десятилетия.

¹⁾ $\sigma_{\bar{\nu}}$ – сечение, отнесенное к одному антинейтрину. Это условная величина, так как большая часть $\bar{\nu}_e$, излучаемых осколками, имеет энергию ниже порога реакции (1,8 МэВ). Их число зависит от состава зоны и т.п. Ниже мы будем пользоваться величиной $\sigma_f^{(s)}$ – сечением, отнесенным к одному делению ^{235}U . Обычно считают $\sigma_f^{(s)} = 6,14 \cdot \sigma_{\bar{\nu}}^{2,3}$.

²⁾ Фон случайных совпадений вычтен.

Сечение процесса (1) — $\sigma_f^{(5)}$ определялось из соотношения:

$$N_{\tilde{\nu}_e} = \frac{\bar{W}}{\bar{E}_f} \frac{1}{4\pi R^2} N_p \epsilon_{\beta n} (1+k) \sigma_f^{(5)},$$

где \bar{W} — средняя тепловая мощность реактора — 1373 МВт, \bar{E}_f — средняя энергия, выделяющаяся в реакторе на одно деление — 202 ± 2 МэВ, $R = 18,4 \pm 0,1$ м, $N_p = (1,59 \pm 0,03) \cdot 10^{28}$ — число протонов в установке, $\epsilon_{\beta n} = 0,285 \pm 0,021$ — эффективность регистрации $\tilde{\nu}_e$ в выбранных амплитудных и временных интервалах, $k = -(0,04 \pm 0,02)$ — поправка на деление ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu в активной зоне.

Полученное сечение $\sigma_f^{(5)} = 6,2 \cdot 10^{-43}$ см²/деление $\pm 5\%$ — статистика ³⁾ $\pm 9\%$ — систематика.

Ниже для сравнения приведем $\sigma_f^{(5)}$ (теор.) в единицах 10^{-43} см²/деление, вычисленное нами по спектрам $\tilde{\nu}_e$, приведенных в работах 1981 — 82 г.г.: 7,2⁸, 6,5³, 6,0⁹, 6,1¹⁰, 6,8¹¹.

В вычислениях мы использовали сечение реакции (1) для моноэнергетических $\tilde{\nu}_e$

$$\sigma_{\nu p} = \frac{2,63 \cdot 10^{-41}}{f t_n} (\epsilon_\beta + 1) \sqrt{(\epsilon_\beta + 1)^2 - 1} \text{ см}^2,$$

где ϵ_β — кинетическая энергия позитрона в единицах $m_0 c^2$, $f = 1,715$ и t_n — период полураспада нейтрона в секундах = 630 ± 20 .

Не отдавая предпочтения ни одной из величин $\sigma_f^{(5)}$ (теор.), мы можем все же получить осторожное ограничение на эффект осцилляций Понтекорво ⁴⁾ (в предположении о двух осциллирующих состояниях с массами покоя m_1 и m_2):

$$\Delta^2 = |m_1^2 - m_2^2| < 0,1 (\text{эВ})^2 \quad (\text{при } \sin^2 2\theta = 1)$$

$$\text{и } \sin^2 2\theta < 0,4 \quad (\text{при } \Delta^2 > 4 (\text{эВ})^2).$$

Более подробное обсуждение эффекта осцилляций будет сделано позднее при анализе энергетического спектра позитронов, полученного в эксперименте.

Авторы глубоко благодарны М.А.Маркову за поддержку в осуществлении программы исследований и А.Г.Зеленкову и С.А.Фаянсу — за полезные обсуждения. Мы весьма благодарны дирекции и сотрудникам РАЭС за постоянную помощь.

Литература

1. Nezzrick FöA., Reines F. Phys. Rev., 1966, 142, 852.
2. Конейкин В.И. ЯФ, 1980, 32, 1507.
3. Vogel P., Schenter G.K., Mann F.M., Schenter R.E. Phys. Rev., 1981, C24, 1543.
4. Kwon H. et al. Phys. Rev., 1981, D24, 1097.
5. Vuilleumier J. et al. Phys. Lett., 1982, B114, 298.
6. Боровой А.А., Микаэлян Л.А., АЭ, 1983, 54, 143.

³⁾ Статистическая ошибка находилась по реальному разбросу отдельных серий измерений.

⁴⁾ Очевидно, имеется определенный произвол в оценке осцилляций: приняв $\sigma_f^{(5)}$ (теор) = $6,5 \cdot 10^{-43}$ см²/деление ³⁾, можно сделать значительно более жесткие ограничения на Δ^2 и $\sin^2 2\theta$. Такой подход не представляется нам оправданным.

7. Афонин А.И., Богатов С.А., Боровой А.А., Вершинский А.Г., Гаврилов С.Л., Кетов С.Н., Климов Ю.В., Копейкин В.И., Левина Л.А., Микаэлян Л.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, вып.2, 122.
8. Боровой А.А., Климов Ю.В., Копейкин В.И. ЯФ, 1983, 32, 1345.
9. Schreckenbach K. et al. Phys. Lett., 1981, B99, 251.
10. Klapdor H.V., Metzinger J. Phys. Lett., 1982, B112, 22.
11. Avignone F.T., More R.S. Preprint U.S. Department of Energy. Contract DE-AS09-79ER10434, Columbia, 1982.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
24 августа 1983 г.
