

## ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РАССЕЯНИЮ АНТИНЕЙТРИНО НА ЭЛЕКТРОНЕ НА РЕАКТОРЕ РОВЕНСКОЙ АЭС

А.И.Дербин, А.В.Черный, Л.А.Попеко, В.Н.Муратова, Г.А.Шишкина,  
С.И.Бахланов

Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова  
188350 Гатчина, Россия

Поступила в редакцию 11 мая 1993 г.

Описана новая установка с 75-килограммовым кремниевым мультidetектором, размещенная в нейтринной лаборатории, созданной на третьем блоке Ровенской АЭС. Представлены результаты первой серии измерений, выполненных с работающим и выключенным реактором. Получено новое ограничение на магнитный момент электронного антинейтрино  $\mu \leq 1,5 \cdot 10^{-10} \mu_B$  (68% у.д.).

### 1. Введение

На реакторе Ровенской АЭС продолжается работа по измерению сечения рассеяния нейтрино на электроны [1]. В настоящее время интерес к этому процессу обусловлен, в первую очередь, тем, что он позволяет получить наиболее сильные ограничения на магнитный момент нейтрино.

### 2. Экспериментальная установка

1. *Нейтринная лаборатория.* На третьем блоке Ровенской АЭС оборудован комплекс помещений, позволяющий проводить измерения в потоке нейтрино  $2 \cdot 10^{13} \nu/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ . Основной измерительный зал представляет собой (рис.1) чугунный дом массой 85 тонн с толщиной стенки 15 см и размерами  $4 \times 4 \times 3,5$  м. Центр зала находится на расстоянии 15 м от центра активной зоны реактора ВВР-1000.

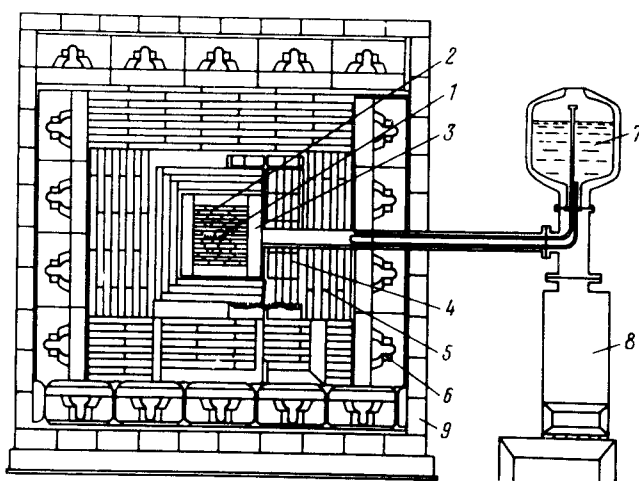


Рис.1. Экспериментальная установка: 1 - HPGe-детектор в центре сборки, 2 - 600 Si(Li)-детекторов, 3 - ртутная полость, 4 - медная защита, 5 - защита из графита, 6 - активная сцинтилляционная защита, 7 - устройство для охлаждения криостата жидким азотом, 8 - магнитно-разрядный насос, 9 - чугунный дом

2. *Детектор нейтрино.* Кремниевый мультidetектор массой 75 кг устанавливается в центре измерительного зала и состоит из 600 отдельных Si(Li)-детекторов диаметром  $\sim 30$  мм и длиной  $\sim 125$  мм. Характеристики таких детекторов подробно описаны в [2]. Мультidetектор собирался внутри защитной полости диаметром 360 и длиной 390 мм в плотную упаковку без каких-либо внутренних конструкционных материалов, так что литиевые  $n^+$ -контакты соседних детекторов касались друг друга и находились под нулевым потенциалом. Сигналы снимались с центральных  $p$ -контактов проводом толщиной 20 мкм во фторопластовой изоляции и выводились за первый слой пассивной защиты через вакуумный разъем к предусилителям, расположенным за вторым слоем пассивной защиты на расстоянии 70–100 см от детектора.

3. *Вакуумная камера.* Детектор вместе с первым слоем пассивной защиты массой 300 кг размещался внутри вакуумной камеры диаметром 640 мм и охлаждался до температуры жидкого азота. Охлаждение кремниевых детекторов необходимо для получения высокого энергетического разрешения.

4. *Пассивная защита.* Пассивная защита для подавления внешней гамма-активности состояла из слоя ртути толщиной 80 мм и меди толщиной 150 мм. Для уменьшения возможного вклада от реакции обратного бета-распада в качестве замедлителя нейтронов использовался слой графита толщиной 500 мм с последующим поглотителем из кадмия.

5. *Активная защита.* Активная защита состояла из 120 пластических скintилляторов с размерами  $500 \times 500 \times 120$  мм и была выполнена в виде куба  $2,5 \times 2,5 \times 2,0$  м. Общая нагрузка с активной защиты была установлена в 600 имп/с и при длительности запрещающего импульса 150 мкс давала  $\sim 10\%$  "мертвого" времени.

### 3. Регистрирующая аппаратура

Каждый детектор имел свой зарядочувствительный предусилитель, усилитель, дискриминатор и линейные ворота, а также индивидуальное напряжение смещения. Предусилители, выполненные на дискретных элементах и имеющие размеры  $5 \times 7$  см, были расположены непосредственно у вакуумной камеры. Их емкостная нагрузка составляла  $\sim 150$  пф, что и определяло разрешение  $\sim 15$  кэВ. Усилители и дискриминаторы выполнены в стандарте КАМАК, так что модуль 1М содержит 9 каналов. Порог дискриминатора автоматически устанавливался на уровне 3 шумов усилителя. Сигналы с дискриминаторов стробировали амплитудный сигнал, а также поступали на магистраль КАМАК для записи в регистры контрольной станции крейта, в которой осуществлялось и амплитудное суммирование. Таких крейтов было 6, по 12 модулей в каждом крейте и по 9 каналов в каждом модуле. Таким образом, каждое событие в детекторе представлялось в компьютере как состояние трех регистров длиной 9, 12 и 6 бит, а также оцифрованной в 10 разрядов суммарной амплитудой.

### 4. Запись информации

В соответствии с состоянием указанных регистров в памяти компьютера (IBM AT) происходило накопление 648 спектров по 256 каналов, соответствующих событиям в отдельном детекторе и 910 спектров по 32 канала, соответствующих множественным событиям. Множественность определялась как число отличных от нуля бит в регистре. С периодом в 24 ч эти спектры записывались на диск. С периодом 1 ч на диск записывалось число единичных событий с каждого детектора в интервале 0,6–2,0 и 1,3–2,0 МэВ. Непосред-

ственно во время накопления, с учетом коэффициентов последней градуировки, вычислялся энергетический спектр всех единичных событий с мультidetектора. Градуировочные коэффициенты определялись по краям комптоновского рассеяния гамма-квантов от источника  $^{214}\text{Bi}$ , который с помощью гибкой трубки подводился непосредственно к мультidetектору. "Живое" время определялось с помощью генератора, пропущенного через один из спектрометрических каналов, контроль активной защиты проводился по суммарному количеству запрещающих импульсов.

### 5. Результаты измерений и их обработка

Измерения проводились при неработающем реакторе в течение 16,7 суток и при работающем – 29,6 суток. Для полученных серий изучалось распределение скорости счета в зависимости от нижнего порога при верхнем пороге 2,0 МэВ. Оказалось, что вплоть до энергии 0,6 МэВ полученная дисперсия превышает статистически ожидаемую. Основной вклад в это уширение был связан с активной защитой, поэтому для получения окончательного результата были отобраны детекторы, в основном, внутренних слоев, что снизило массу детектора почти вдвое. Для детектора массой 37,5 кг средняя скорость счета в интервале (0,6–2,0) МэВ составляет  $(4921 \pm 16)$  в день для выключенного реактора и  $(4963 \pm 12)$  в день для работающего реактора, а распределение скорости счета для часовых серий согласуется с распределением Пуассона как для отдельных детекторов, так и для всего детектора в целом. В таблице приведены также результаты для интервалов с порога 0,2, 0,3 и 1,3 МэВ. Существенное превышение полученной дисперсии по сравнению с ожидаемой для первых двух интервалов связано, по-видимому, с нестабильностью коэффициента усиления (и крутым наклоном спектра фона). Окончательный результат для сечения в интервале (0,6–2,0) МэВ выглядит следующим образом:  $\sigma = ((1,26 \pm 0,62) \cdot 10^{-44} \text{ см}^2/\text{деление})$ .

Скорость счета детектора массой 37.5 кг при работающем и выключенном реакторе

| Интервал, МэВ | Реактор включен | Реактор выключен | Вкл.-выкл.    | Слабое рассеяние | Магнитное рассеяние |
|---------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|---------------------|
| 0,2–2,0       | $15327 \pm 92$  | $14878 \pm 90$   | $449 \pm 130$ | 62               | 178                 |
| 0,3–2,0       | $11193 \pm 70$  | $10908 \pm 70$   | $285 \pm 98$  | 53               | 124                 |
| 0,6–2,0       | $4962 \pm 12$   | $4921 \pm 16$    | $41 \pm 20$   | 32               | 54                  |
| 1,3–2,0       | $508,5 \pm 4,0$ | $503,3 \pm 5,6$  | $5,2 \pm 6,8$ | 8,9              | 10                  |

В двух последних колонках приведена ожидаемая разница счета в стандартной теории ( $\sin^2 \theta_W = 0,22$ ) и если рассеяние обусловлено магнитным моментом  $2 \cdot 10^{-10} \mu_B$

### 6. Обсуждение результатов.

1. *Сечение рассеяния нейтрино на электроне.* Полученный результат соответствует  $\sigma = (1,28 \pm 0,63)\sigma_{W-S}$ , где  $\sigma_{W-S}$  – сечение, ожидаемое в стандартной теории при вычислениях со спектром реакторных нейтрино из работ [3] и  $\sin^2 \theta_W = 0,22$ .

2. *Ограничение на магнитный момент нейтрино.* В связи с возможным объяснением дефицита солнечных нейтрино [4] представляет интерес ограничение на возможный магнитный момент нейтрино. Поскольку слабое и магнитное рассеяния не интерферируют, в качестве ограничения на магнитный

момент можно взять сумму ошибки и отклонения от ожидаемого значения. В этом случае, используя приведенный результат для сечения в интервале (0,6–2,0) МэВ, получаем, что  $\mu \leq 1,5 \cdot 10^{-10} \mu_B$  (68% у.д.) или  $\mu \leq 1,9 \cdot 10^{-10} \mu_B$  (95% у.д.). К настоящему времени лучшее ограничение на магнитный момент нейтрино было получено из результатов эксперимента [5]:  $\mu \leq (2-4) \cdot 10^{-10} \mu_B$  [6, 7]. В недавней работе по измерению сечения ( $\nu, e$ )-рассеяния получен предел:  $\mu \leq 2,4 \cdot 10^{-10} \mu_B$  [8].

3. *Ограничение на возможный распад нейтрино.* Если нейтрино имеют массы и смешаны, могли бы наблюдаться распады более массивного нейтрино. В качестве наиболее вероятных детектируемых мод распада рассматривается радиационный распад ( $\nu \rightarrow \nu + \gamma$ ) и распад  $\nu \rightarrow \nu + e^+ + e^-$  [9]. В первом случае, считая, что распадается дираковское нейтрино, сильно связанное с электроном ( $U_{ie} \approx 1$ ), получаем ограничение на время жизни  $\tau_{c.m.}/m_\nu \geq 200 \text{ с/эВ}$ , что в 9 раз превышает ограничение, полученное в эксперименте [10]. Для распада на пару  $e^+e^-$  необходимо, чтобы масса нейтрино была больше, чем  $2m_e$ , а вероятность распада зависит как от массы нейтрино, так и от угла смешивания  $U_{ie}$  ( $\ll 1$ ). Поэтому ограничение на вероятность такого распада выглядит как кривая в осях  $m_\nu$  и  $U_{ie}$ , приведенная на рис.2 в сравнении с другими экспериментами.

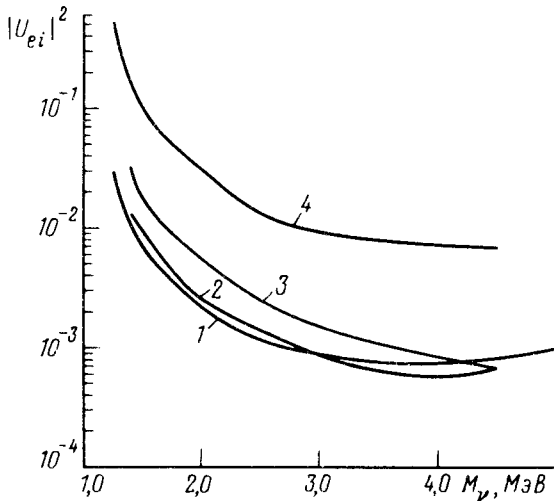


Рис.2. Ограничение на возможную примесь массивного нейтрино в бета-распаде осколков деления ядерного топлива. Кривые 2, 3, 4 получены в экспериментах соответственно [11,10,9]

## 7. Заключение

В настоящее время идет подготовка новой серии с измененной конструкцией детектора, ориентированной на измерения в области энергий около 100 кэВ, где ожидаемое сечение магнитного рассеяния на порядок больше, чем в районе 0,6 МэВ.

1. А.Дербин, Л.Попеко, А.Черный, Г.Шишкина, Письма в ЖЭТФ **43**, 315 (1986).
2. С.Бахланов, А.Дербин, В.Муратова и др., Препринт ЛИЯФ-864, 1983.
3. K.Schreckenbach et al., Phys. Lett. B **160**, 325 (1985); A.A.Hahn, K.Schreckenbach, and W.Gelletly, Phys. Lett. B **218**, 365 (1989).
4. М.Б.Волошин, М.И.Высоцкий, Л.Б.Окунь, ЖЭТФ **91**, 754 (1986).
5. F.Reines, H.Curr, and H.Sobel, Phys. Rev. Lett. **37**, 315 (1976).

6. A.V.Kyuldiev, Nucl. Phys. B **243**, 387 (1984).
7. P.Vogel and J.Eugel, Phys. Rev. D **39**, 3378 (1987).
8. I.I.Gurevich et al., Proc. of the LEWI-90, 173, Dubna, 1991.
9. P.Vogel, Phys. Rev. D **30**, 1505 (1984).
10. L.Oberaver, F.V.Feilitzsch, and R.L.Mossbauer, Phys. Lett. B **198**, 113 (1987).
11. В.И.Копейкин, Л.А.Микаэлян, С.А.Фаянс, Письма в ЖЭТФ **51**, 315 (1990).