

СРАВНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ $\tilde{\nu}_e$ НА ДВУХ РАССТОЯНИЯХ ОТ РЕАКТОРА РОВЕНСКОЙ АЭС

*А.И.Афонин, С.А.Богатов, А.А.Боровой, А.Г.Вершинский
С.Л.Гаврилов, С.Н.Кетов, Ю.В.Климов, В.И.Копейкин,
А.А.Кувшинников, А.А.Лабзов, Л.А.Левина, И.Н.Мачулин,
Л.А.Микаэлян, К.В.Озеров, В.В.Синев,
С.В.Толоконников, А.Н.Херувимов*

Измерены скорости счета событий реакции $\tilde{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ на расстояниях 18 и 25 м от реактора. Падение интенсивности с расстоянием в пределах статистики (31,6 тыс. зарегистрированных $\tilde{\nu}_e$) согласуется с ожидаемым по геометрии. В модели двух состояний найдены ограничения на параметры осцилляций Понтекорво. Результаты сравниваются с результатами французской группы, сообщившей об отклонении от геометрии в аналогичном опыте на расстоянии 13,6 и 18,3 м от реактора.

1. С помощью двух разных детекторов, расположенных на расстоянии 18 м от реактора Ровенской АЭС было измерено сечение реакции



и одновременно получен энергетический спектр позитронов этой реакции в абсолютных единицах (см. ¹ и ²).

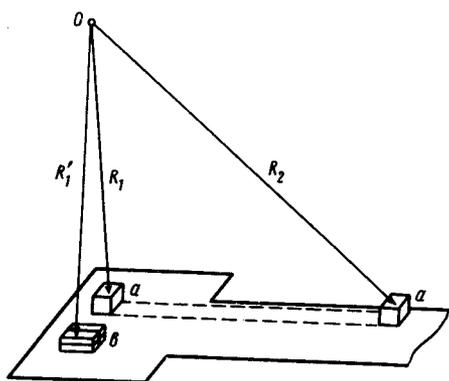


Рис. 1

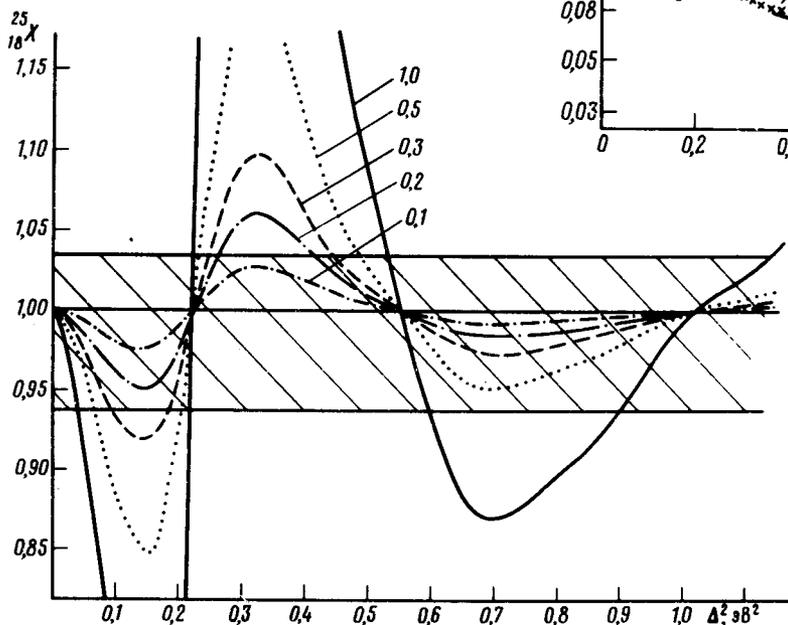


Рис. 2

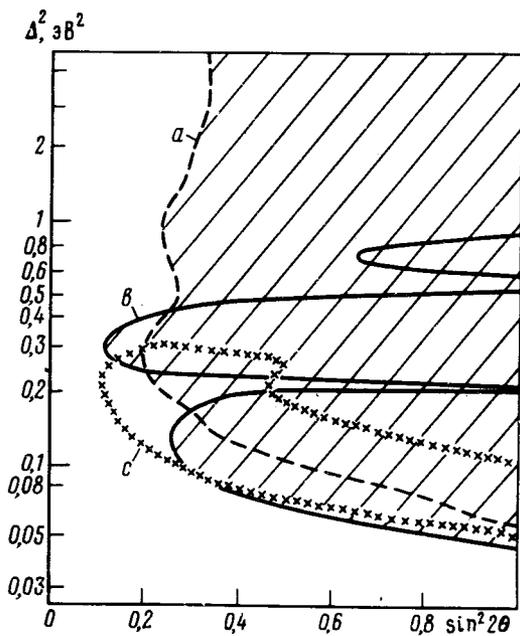


Рис. 3

Рис. 1. Геометрия эксперимента: 0 – центр активной зоны реактора, а – сцинтилляционный спектрометр, б – интегральный детектор

Рис. 2. Приведенное отношение скоростей счета на двух расстояниях $\frac{25}{18}X$ в зависимости от Δ^2 . Заштрихована полоса, соответствующая эксперименту. У расчетных кривых приведены значения $\sin^2 2\theta$

Рис. 3. Параметры осцилляций – плоскость $(\sin^2 2\theta, \Delta^2)$: а – ограничения, полученные из анализа абсолютных измерений, б – ограничения по результатам относительных измерений на двух расстояниях (настоящая работа). Заштрихована область запрещенных параметров (а + б), с – кривая ограничивает разрешенную область параметров согласно ³

Абсолютные измерения сечения и спектров при их достаточно высокой точности создают метрологическую базу для изучения других реакций, протекающих под действием $\bar{\nu}_e$ (например, с дейтронем). Потенциально, абсолютный метод обладает и принципиальными досто-

инствами при поиске нейтринных осцилляций. В настоящее время, однако, чувствительность к возможному эффекту осцилляций ограничивается неопределенностью в знании спектров $\bar{\nu}_e$, возникающих при делении (см. например, ²).

2. В лаборатории на Ровенской АЭС ведется эксперимент по поиску осцилляций путем относительных измерений характеристик обратного бета-распада на расстояниях от реактора 18 и 25 м (рис. 1). При такой постановке неопределенности в знании спектра $\bar{\nu}_e$ почти не сказываются. В настоящей статье мы сообщаем об измерении скоростей счета событий реакции (1) на названных двух расстояниях от реактора. Отметим в этой связи, что по сообщению французской группы, соотношение скоростей счета на расстояниях 13,6 и 18,3 м от реактора обнаруживает отклонение от ожидаемого из геометрических соображений ³.

3. Измерения проводятся с помощью сцинтилляционного детектора, содержащего 238 л газолинизованного органического сцинтиллятора. События реакции (1) выделяются по запаздывающим совпадениям между позитроном и нейтроном. Позитроны регистрируются в диапазоне кинетических энергий 0,6 – 10 МэВ, в который попадает 90% всех позитронов. Эффективность регистрации акта реакции (1) составляет 32%. Детектор не чувствителен к направлению потока $\bar{\nu}_e$.

Ниже приводятся некоторые данные, характеризующие эксперимент

	18 м	25 м
РЕАКТОР РАБОТАЕТ:		
средняя мощность,	99,7 %	100,2 %
скорость счета за 10^5 с	$399,2 \pm 4,1$	$266,3 \pm 2,2$
живое время, с	$49,4 \cdot 10^5$	$103,6 \cdot 10^5$
РЕАКТОР ОСТАНОВЛЕН:		
скорость счета за 10^5 с	$95,6 \pm 5,0$	$100,7 \pm 5,0$
живое время, с	$17,4 \cdot 10^5$	$19,0 \cdot 10^5$

Всего было зарегистрировано 15,2 тыс. нейтринных событий на расстоянии 18 м и 16,4 тыс. соб. на расстоянии 25 м. Внесение в приведенные данные небольших поправок, учитывающих вклад ближайшего реактора, расположенного на площадке РАЭС, приводит к значениям:

$$18 \text{ м: } {}^1N_\nu = 307,5 \pm 6,6 \text{ за } 10^5 \text{ с; } 25 \text{ м: } {}^2N_\nu = 158,1 \pm 5,2 \text{ за } 10^5 \text{ с} \quad (2)$$

Измерения на каждом из расстояний велись одинаковым образом: до остановки на перегрузку топлива, во время остановки и снова после выхода реактора на мощность. Поэтому средний изотопный состав горючего на 18 и 25 м почти одинаков: ¹)

	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ U	²⁴¹ Pu
18 м	0,606	0,277	0,074	0,043
25 м	0,557	0,313	0,076	0,053

4. В модели двух состояний с параметрами $\Delta^2 = |m_1^2 - m_2^2|$, (эВ)² и θ , где θ – угол Pontecorvo. m_1 и m_2 – массы интерферирующих состояний, скорость счета на данном расстоянии от реактора может быть записана в виде

$${}^iN_\nu = \frac{{}^i\bar{W}}{{}^i\bar{E}_f} \frac{1}{4\pi^2 R^2} {}^5\sigma_f (1 + {}^i k) {}^i\epsilon {}^iN_p (1 - \bar{f}(\Delta^2 {}^i R) \sin^2 2\theta), \quad (4)$$

где $i = 1, 2$ нумеруют положение "1" – 18 и "2" – 25 м соответственно. В (4) ${}^i\bar{E}_f$ – средняя энергия, поглощаемая в реакторе на одно деление, ${}^5\sigma_f$ – сечение реакции для спектра $\bar{\nu}_e$ ²³⁵U, $(1 + {}^i k)$ – поправка на изотопный состав топлива в активной зоне, ${}^i\epsilon$ – эффективность

¹) Найдено обычной методикой, см., например, ⁴ и ссылки в этой работе.

регистрации, iN_p — число протонов в мишени. Функция $\bar{f}(\Delta^2 R)$ — взвешенный по спектру позитронов осциллирующий множитель $\sin^2(1,27R\Delta^2/E_p)$, усредненный по размеру активной зоны. Эта функция легко табулируется и практически не зависит от конкретного спектра реакторных $\tilde{\nu}_e$.

Определим приведенное отношение скоростей счета ${}^2_1X^{\text{экс}}$:

$${}^2_1X^{\text{экс}} = \left(\frac{{}^2N_p}{{}^1N_p} \right) \left(\frac{{}^2R}{{}^1R} \right)^2 \left(\frac{{}^1\bar{W}}{{}^2\bar{W}} \right) \left(\frac{{}^2\bar{E}_f}{{}^1\bar{E}_f} \right) \left(\frac{1+{}^1k}{1+{}^2k} \right) \left(\frac{{}^1\epsilon}{{}^2\epsilon} \right) \left(\frac{{}^1N_p}{{}^2N_p} \right), \quad (5)$$

которое учитывает все отличия в условиях проведения измерений на двух расстояниях, кроме осцилляций,

Подставляя в порядке множителей в (5) соответствующие значения с их погрешностями, найдем

$${}^2_1X^{\text{экс}} = (0,514 \pm 3,9 \%) (1,908 \pm 1,0 \%) (1,000 \pm 1,5 \%) (1,003 \pm 0,5 \%) (1,009 \pm 1,0 \%) \cdot (0,994 \pm 1,2 \%) (0,998 \pm 1,5 \%) = 0,986 \pm 3,9 \% \text{ (статистика)} \pm 2,9 \% \text{ (методика)}. \quad (6)$$

Результат (6) совместим, очевидно, с отсутствием осцилляций. Ограничения на параметры осцилляций были получены из соотношения:

$${}^2_1X^{\text{экс}} = {}^2_1X^{\text{расч}} = \frac{1 - \bar{f}(\Delta^2 R) \sin^2 2\theta}{1 - \bar{f}(\Delta^2 R) \sin^2 2\theta}. \quad (7)$$

На рис. 2 в функции Δ^2 изображена правая часть (7) и полоса, отвечающая результату (6). Полученные ограничения на плоскости $(\sin^2 2\theta, \Delta^2)$ приведены на рис. 3. Область параметров осцилляций, исключаемая результатами настоящей работы и нашей работы ² — заштрихована. Из приведенных на рис. 3 данных видно, что совокупность наших результатов не запрещает эффекта, о котором сообщила французская группа ³, но существенно сужает область допустимых параметров.

Авторы благодарят Н.А.Маркова и С.Т.Беляева за интерес и внимание к работе, С.В.Егорова, А.Е.Макеенкова, А.В.Перфилова, А.В.Чернова, а так же дирекцию и службы РАЭС за постоянную помощь.

Литература

1. Афонин А.И., Боровой А.А., Добрынин Ю.Л. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 355.
2. Афонин А.И., Богатов С.А., Боровой А.А., и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 230.
3. Savaignac J. e. a. Phys. Lett., 1984, B148, 384.
4. Корвкин В.А. и др. Атомная энергия, 1984, 56, 215.