

ЭКСПЕРИМЕНТ В НОВОЙ ПОСТАНОВКЕ ПО ПОИСКУ НЕЙТРИННЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ НА РЕАКТОРЕ

*С.Н.Кетов, И.Н.Мачулин, Л.А.Микаэлян, С.В.Николаев,
О.А.Петровичев, М.Д.Скорохватов, А.В.Этенко*

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

Поступила в редакцию 27 марта 1992 г.

Измерения по поиску осцилляций $\bar{\nu}_e$ проводятся с помощью двух одновременно работающих однотипных детекторов реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$, расположенных на расстояниях 12,15 и 18,34 м от реактора Ровенской АЭС. При такой постановке эксперимента исключаются погрешности в знании характеристик реактора (мощность и изотопный состав делящегося топлива). Подтвержден результат об отсутствии осцилляций $\bar{\nu}_e$.

Ядерный реактор является мощным источником электронных антинейтрино $\bar{\nu}_e$ с энергией $E_{\bar{\nu}_e}$ до 10 МэВ, возникающих в β -распадах осколков деления четырех основных компонент ядерного топлива - ^{235}U , ^{239}Pu , ^{238}U и ^{241}Pu . Гипотеза о смешивании массивных нейтрино стимулировала проведение экспериментов по поиску осцилляций $\bar{\nu}_e$ на реакторах ¹⁻⁴. Эффект осцилляций $\bar{\nu}_e - \bar{\nu}_x$ может проявляться в деформации спектра и изменении потока $\bar{\nu}_e$ на расстояниях R от реактора, сравнимых с длиной осцилляций $L(M) = 2,5 \cdot \frac{E_{\nu} [\text{МэВ}]}{\Delta m^2 [\text{эВ}^2]}$ (где Δm^2 - разность квадратов масс нейтрино).

В частности, в ряде работ сравнивалась скорость счета $N_{\bar{\nu}_e}$ событий реакции обратного β -распада:



при размещении детектора на двух фиксированных расстояниях от реактора. В каждом измерении скорость счета детектора, в случае отсутствия осцилляций $\bar{\nu}_e$, можно представить в виде ⁵:

$$N_{\bar{\nu}_e} = \frac{W}{4\pi R^2} \frac{(\sum \alpha_i \sigma_i)}{(\sum \alpha_i E_i)} (\epsilon N_p), \quad (2)$$

где W - тепловая мощность реактора, R^2 - средний квадрат расстояния от центра реактора до детектора, α_i - относительные вклады в общее число делений изотопов ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu , изменяющиеся в течение кампании реактора при выгорании ядерного топлива, σ_i - сечения реакции (1) на деление, усредненные по спектрам антинейтрино, испускаемых в процессе деления указанных изотопов ⁵, E_i - средние энергии, выделяющиеся при делении изотопов, ϵN_p - произведение эффективности регистрации событий реакции (1) в детектора на число атомов водорода мишени.

Таким образом, при сравнении скоростей счета $\bar{\nu}_e$ на двух расстояниях, кроме учета геометрического фактора, необходимо вносить поправки на изменение величин W и $(\sum \alpha_i E_i)$ в каждом эксперименте, и связанные с этим погрешности. Отметим, что при измерениях на относительно не очень больших расстояниях от реактора с помощью светосильных детекторов реакции (1), созданных в последние годы ⁴⁻⁶, статистика событий весьма велика и достигает нескольких десятков тысяч событий за несколько месяцев измерений. Поэтому основным источником погрешности становятся неопределенности в знании мощности и изотопного состава ядерного топлива. Например, ошибка,

связанная с характеристиками реактора, в работе ³ составила 2,2% и внесла основной вклад в систематическую ошибку измерений.

Для повышения точности экспериментов по поиску осцилляций $\bar{\nu}_e$, нами была предложена новая постановка эксперимента, полностью исключающая все погрешности, связанные с характеристиками работы реактора. С этой целью регистрация $\bar{\nu}_e$ осуществлялась с помощью двух одновременно работающих детекторов одинаковой конструкции. Так как при такой постановке опыта измерения ведутся в одном и том же потоке $\bar{\nu}_e$ одновременно на двух детекторах, отношение скоростей счета этих детекторов, содержащее информацию об осцилляциях, практически уже не зависит от характеристик самого реактора (остается только поправка, учитывающая пространственное распределение энерговыделения по объему активной зоны реактора, которая составляет в нашем случае 0,7% и учитывается с погрешностью 0,2%).

Для регистрации $\bar{\nu}_e$ был выбран детектор интегрального типа ВИНД ⁶, предназначенный для прецизионного измерения сечения реакции (1) и расположенный в подземной нейтринной лаборатории на расстоянии 18,34 м от центра реактора ВВЭР-440 Ровенской АЭС. Уменьшенная копия детектора ВИНД была размещена в технологическом помещении реактора на расстоянии 12,15 м от его центра ⁷ (рис.1). На выбор расстояния до реактора в настоящей работе повлияло то обстоятельство, что ранее, как сообщалось в ⁸, были получены указания о проявлении эффекта осцилляций на этих расстояниях. Позднее, после начала нашей работы, авторы пересмотрели эти результаты ³.

Конструкция детекторов подробно описана в ⁹. Мишенью для антинейтрино и замедлителем нейтронов, родившихся в реакции (1), служит дистиллированная вода, в которой располагаются ³He-счетчики нейтронов длиной около 1 м, в виде квадратной матрицы с шагом 70 мм. В детекторе ВИНД, размещенном на расстоянии 18 м, матрица состоит из 16 × 16 счетчиков, а в его уменьшенной копии – из 12 × 12 счетчиков. Регистрация нейтронов ведется только в центральных счетчиках, а наружный слой счетчиков служит для компенсации утечки нейтронов, рожденных в реакции (1) и фиксации рабочего объема детектора. Отбор полезных событий осуществляется по амплитуде, соответствующей пику полного поглощения продуктов реакции $n + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{He} + p$, и по кратности нейтронных событий во временном окне $T = 400$ мкс (анализируются только одиночные события, не сопровождающиеся импульсами в течение времени T , а события с кратностью 2 и выше регистрируются для контроля стабильности детекторов). Для уменьшения нейтронного фона от космического излучения используется защита антисовпадений.

Для интерпретации результатов измерений мы вводим приведенное отношение интенсивностей, регистрируемых детекторами, поправленное на геометрию и характеристики детекторов:

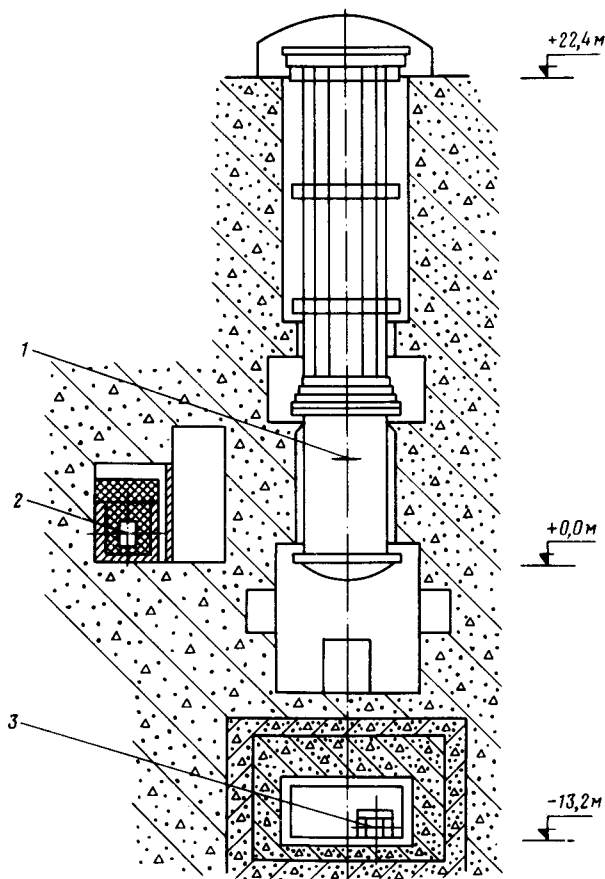
$$I(R_1/R_2) = \frac{(N_{\bar{\nu}})_1 R_1^2 (\epsilon N_p)_2}{(N_{\bar{\nu}})_2 R_2^2 (\epsilon N_p)_1}, \quad (3)$$

которое при отсутствии осцилляций должно быть равным 1. Индексы 1 и 2 в соотношении (3) относятся, соответственно, к расстояниям 12,15 и 18,34 м.

Для измерения относительных характеристик детекторов – $(\epsilon N_p)_1/(\epsilon N_p)_2$, входящих в соотношение (3), были выполнены специальные контрольные эксперименты с использованием низкоэнергетического источника нейтронов Pu-Li ($\epsilon_n \cong 200$ кэВ). Для каждого детектора была исследована пространственная зависимость интенсивности счета нейтронов Pu-Li источника и получено отношение $(\epsilon N_p)_1/(\epsilon N_p)_2 = 0,518 \pm 0,5\%$.

Измерения в Ровно проводились стандартным образом – во время остановки реактора на перегрузку топлива (измерение фона) и на реакторе, работающем

на 100% мощности. Скорость счета фоновых событий в детекторах при остановленном реакторе составила $2101 \text{ соб.} \cdot 10^5 \text{ с}$ (12 м) и $2931 \text{ соб.} \cdot 10^5 \text{ с}$ (18 м).



1 - Центр активной зоны реактора ВВЭР-440; 2 - малый интегральный детектор (12 x 12 счетчиков); 3 - детектор ВИНД (16 x 16 счетчиков)

В таблице приведены данные измерений нейтринного эффекта и относительные характеристики детекторов. При вычислении геометрического фактора учтены распределение энерговыделения по объему активной зоны реактора и неточность детекторов.

$\frac{(N_p)_1}{(N_p)_2}$	$\frac{(R^2)_1}{(R^2)_2}$	$\frac{(\epsilon N_p)_1}{(\epsilon N_p)_2}$
$\frac{1338 \text{ соб.} \cdot 10^6 \text{ с}}{1161 \text{ соб.} \cdot 10^6 \text{ с}} \pm 2,1\%$	$\frac{(12,15)^2}{(18,34)^2} \pm 1,0\%$	$0,518 \pm 0,5\%$

Погрешность, связанная со стабильностью работы детекторов, была найдена из анализа данных измерений и контрольных счетов, и была не хуже 1%.

Измеренное отношение интенсивностей взаимодействия \bar{y}_e оказалось равным:

$$1(12, 15/18, 34) = 0,976 \pm 0,020(\text{стат.}) \pm 0,015(\text{сист.})$$

и, таким образом, эффекта осцилляций $\bar{\nu}_e$ обнаружено не было.

Полученный результат согласуется с данными последних измерений на реакторе в Бюже ³:

$$1(13, 6/18, 3) = 1,007 \pm 0,021(\text{стат.}) \pm 0,021(\text{сист.})$$

и окончательно снимает вопрос об обнаружении осцилляций нейтрино на данных расстояниях от реактора.

В заключение авторы благодарят коллег по лаборатории и персонал РАЭС за помощь в проведении эксперимента.

-
1. А.И.Афонин, С.А.Богатов и др., Письма в ЖЭТФ **45**, 201 (1987).
 2. G.Zacek et al., Phys. Rev. D **34**, 2621 (1986).
 3. J.Bouche, Proceedings of the 13-th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Medford, 1988, p.28.
 4. G.S.Vidiakin, V.N.Vyrodov et al., J. Mos. Phys. Soc. **1**, 85 (1991).
 5. Ю.В.Климов, В.И.Копейкин и др., Ядерная физика **52**, 1574 (1990).
 6. А.А.Кувшинников, Л.А.Микаэлян и др., Письма в ЖЭТФ **54**, 259 (1991).
 7. С.Н.Кетов, И.Н.Мачулин и др., Препринт ИАЭ-5051 2, М.: 1990.
 8. J.F.Cavaignac et al., Phys. Lett. B **148**, 387 (1984).
 9. А.И.Афонин, С.Н.Беленький и др., Препринт ИАЭ-4878 2, М.: 1989.