

## ПОИСК МАССИВНЫХ НЕЙТРИНО НА РЕАКТОРЕ РОВЕНСКОЙ АЭС

В.И.Копейкин, Л.А.Микаэлян, С.А.Фаянс

С помощью сцинтилляционного спектрометра нейтрино с полезным объемом 1050 л на расстоянии 18 м от реактора Ровенской АЭС проведен поиск тяжелого нейтрино по распаду  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$ . Получены новые ограничения на параметры смешивания нейтральных лептонов.

Если нейтрино различных поколений ( $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ ), рождающиеся в слабых процессах с определенным лептонным числом, представляют собой суперпозицию состояний с различными массами. например,

$$\nu_e = \nu_L \cos \theta + \nu_H \sin \theta, \quad \nu_\chi = -\nu_L \sin \theta + \nu_H \cos \theta \quad (1)$$

( $\nu_L$  – легкие,  $\nu_H$  – тяжелые нейтрино,  $\chi = \mu, \tau$ ), то наряду с осцилляциями  $\nu_e \rightleftharpoons \nu_\chi$  становятся возможными распады  $\nu_H \rightarrow \nu_L$ .

В стандартной модели, объединяющей слабые и электромагнитные взаимодействия, распад и осцилляции невозможны, так как массы нейтрино в этой модели равны нулю, а их лептонные числа строго сохраняются. Наблюдение распада нейтрино означало бы существование принципиально нового явления, лежащего вне рамок стандартной модели.

Поиски нейтринных осцилляций и распада нейтрино на ядерном реакторе дополняют друг друга методикой поиска и информативной областью значений масс и углов смешивания.

При поиске осцилляций  $\tilde{\nu}_e \rightleftharpoons \tilde{\nu}_\chi$  пытаются обнаружить "исчезновение"  $\tilde{\nu}_e$ , родившихся при  $\beta$ -распаде осколков деления. Недавние эксперименты в Гесгене <sup>1</sup>, на Ровенской АЭС <sup>2</sup> и другом реакторе в СССР <sup>3</sup>, а также во Франции и США <sup>4</sup> позволили существенно продвинуться в область весьма малых значений массового параметра  $\delta m^2 = m_H^2 - m_L^2 \approx m_H^2$  (мы принимаем, что  $m_H^2 \gg m_L^2$ ) при относительно низкой чувствительности к углу смешивания.

Поиск распада – это эксперимент на "появление" продуктов распада тяжелого нейтрино. Такой эксперимент оказывается намного более чувствительным к углу смешивания, но только в области масс  $m_H > 2m_e$ , когда открывается канал  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$ . Отметим, что согласно часто обсуждаемой модели <sup>5</sup>, массы  $\nu_H$  очень быстро возрастают от поколения к поколению и в диапазоне нескольких МэВ/с<sup>2</sup> могут оказаться состояниями, связанные со смешиванием  $\nu_e$  и  $\nu_\tau$ .

Распад по каналу  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$  описывается диаграммой рис. 1, расчет которой приводит к вероятности распада покоящегося нейтрино <sup>6</sup>

$$\lambda_H = 3,5 \cdot 10^{-5} (m_H/1\text{МэВ})^5 \sin^2 \theta h(m_e^2/m_H^2) c^{-1}, \quad (2)$$

где  $h$  – безразмерный фактор фазового объема, обращающийся в ноль на пороге  $m_H = 2m_e$  и быстро стремящийся к единице с ростом  $m_H$ . Для  $m_H = 3$  МэВ, например, время жизни  $\nu_H$  оказывается всего около двух минут (для  $\sin^2 \theta = 1$ ).

Относительная доля тяжелых нейтрино в спектре  $\tilde{\nu}_e$  реактора составляет, как можно показать,  $(v/c) \sin^2 \theta$ , где  $v$  – скорость  $\nu_H$ , так что ожидаемый в детекторе эффект пропорционален четвертой степени  $\sin \theta$ .

В эксперименте использовался Ровенский нейтринный спектрометр (РОНС), содержащий в качестве мишени жидкий органический сцинтиллятор объемом 1050 литров. При работающем реакторе поток легких  $\tilde{\nu}_e$  всех энергий на детектор составлял  $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , так что в рабочем объеме находилось около  $10^8 \tilde{\nu}_e$  с энергией больше 1 МэВ. Измерялись спектры событий, регистрируемых в диапазоне от 1 до 8 МэВ при работающем и остановленном реакто-

ре, и составлялся разностный спектр "эффекта"  $S^{\text{экс}}(E)$ , где  $E$  — поглощенная в спектрометре энергия. Статистически значимого эффекта, который можно было бы приписать распаду нейтрино, обнаружено не было. Для получения ограничений на массы и углы смешивания рассчитывался "ожидаемый" эффект  $S^{\text{рас}}(E, m_H, \sin^2 \theta)$ , который сравнивался со спектром, найденным в эксперименте. В этих расчетах в соответствии с кинематикой распада находилось распределение энергии, переданной паре  $e^+$ ,  $e^-$ , и принималось, что аннигиляционные кванты оставляют в спектрометре 0,7 МэВ. Использовался энергетический спектр  $\tilde{\nu}_e$  реактора, измеренный ранее на РАЭС по реакции обратного бета-распада  $\rho_R = 6,78 \exp[-(E_\nu/1,342) - (E_\nu/6,868)^2 - (E_\nu/8)^{1,0}] \text{МэВ}^{-1} \cdot \text{дел}^{-1}$ .

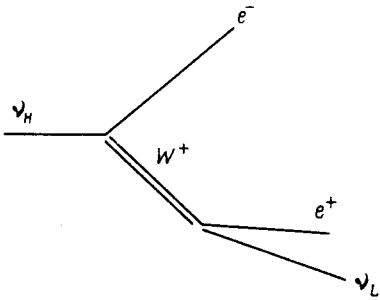


Рис. 1. Диаграмма распада  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$

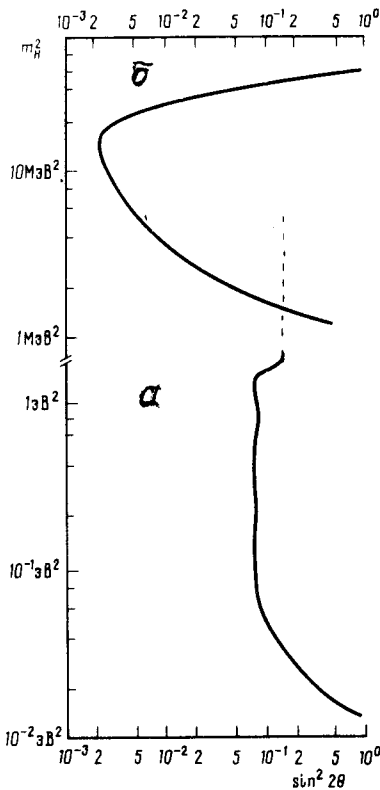


Рис. 2. Ограничения на массу тяжелого нейтрино  $m_H$  и угол смешивания  $\theta$  (90% С.Л.). Запрещенная область параметров — справа от кривых.  $a$  — По результатам поисков осцилляций  $\tilde{\nu}_e \rightleftharpoons \tilde{\nu}_\chi$  в экспериментах  $1-4$ ;  $b$  — по поиску распада  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$  (настоящая работа)

Найденные ограничения показаны на рис. 2б. Для удобства сравнения с результатами экспериментов по поиску осцилляций  $\tilde{\nu}_e \rightleftharpoons \tilde{\nu}_\chi$  (рис. 2а) использовались координаты  $m_H^2, \sin^2 2\theta$ . Проводившиеся ранее на реакторе в Гегене  $^8$  эксперименты по поиску распада  $\nu_H \rightarrow \nu_L + e^+ + e^-$  уступают по чувствительности нашему эксперименту, главным образом из-за мень-

шего объема сцинтиллятора, более низкого потока  $\tilde{\nu}_e$  и худшей защиты детектора от внешнего фона. Сравнение данных, приведенных на рис. 2а и 2б показывает, что ограничения на угол смешивания в настоящем эксперименте намного более жесткие, чем в экспериментах на "исчезновение"  $\tilde{\nu}_e \rightleftharpoons \tilde{\nu}_\chi$  <sup>1-4</sup>.

Авторы благодарят Ф.фон Фалиша (F.v.Feilitzsch) за стимулирующие обсуждения осенью 1988 г. в нейтринной лаборатории на РАЭС.

#### Литература

1. Zacek G. et al. Phys. Rev. D, 1986, 34, 2621.
2. Афонин А.И. и др. ЖЭТФ, 1988, 94, 1.
3. Видякин Г.С. и др. ЖЭТФ, 1987, 93, 424.
4. Bouchez J. In Neutrino-88, Boston, 1988, World Scientific, 1989.
5. Gell-Mann M. et al. Supergravity. Ed. P. van Nieuwenhuizen. North Holland, 1979; Harary H. Neutrino-88, Boston, 1988, World Scientific, 1989.
6. Schrock R.E. Phys. Rev. D, 1981, 24, 1275.
7. Керов С.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 177.
8. Vogel P. Phys. Rev. D, 1984, 30, 1505; Oberauer L. et al. Phys. Lett. B, 1987, 198, 113.

Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию  
15 декабря 1989 г.