

ПОИСКИ НЕОБЫЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОТОКЕ РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО

*С.Н.Кетов, Ю.В.Климов, С.В.Николаев,
Л.А.Микаэлян, М.Д.Скорохватов, С.В.Толоконников*

На Ровенской АЭС в потоке реакторных $\bar{\nu}_e$ проведен ряд поисковых экспериментов. Получены ограничения на удельные потери энергии $\bar{\nu}_e$ в веществе, рождение аксионов в реакторе, вероятность распада $\nu_2 \rightarrow \nu_1 + \gamma$, влияния потока $\bar{\nu}_e$ на вероятности β^+ и β^- распада.

В нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС ¹ был поставлен ряд поисковых экспериментов. Измерения проводились в потоках $\tilde{\nu}_e \sim 3 \cdot 10^{12} \div 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

1. Аномальный механизм торможения нейтрино.

В нейтринных экспериментах на реакторах, использующих сцинтилляционную методику, устанавливается энергетический порог регистрации больший, чем 0,2 – 0,5 МэВ. Тем самым отбрасываются события, характеризующиеся малой передачей импульса при $\nu - e$ взаимодействии. Если бы между $\tilde{\nu}_e$ и электроном существовало взаимодействие, очень слабое при больших переданных импульсах q и быстро растущее при $q \rightarrow 0$, то это обстоятельство могло остаться не замеченным. Проходя через вещество $\tilde{\nu}_e$ могло бы терять энергию малыми порциями, наподобие того, как это имеет место в случае быстрых заряженных частиц. В то же время суммарные потери энергии на единице пути могли бы заметно превосходить величину $10^{-20} \div 10^{-21} \text{ МэВ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{см}^2$, которую следует ждать, исходя из теории электрослабого взаимодействия или из-за магнитного момента $\mu_\nu \sim 10^{-10} \mu_B$ (μ_B – электронный магнетон Бора).

Ранее вопрос о возможном существовании такого механизма потерь энергии обсуждался в связи с проблемой солнечных нейтрино ^{2, 3}.

В опыте использовалась методика интегрального типа. Детектором служил сцинтилляционный кристалл иодистого цезия с массой 9,3 кг.

Энерговыделение в кристалле определялось по току ФЭУ при изменении потока $\tilde{\nu}_e$ на величину $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Калибровка тока ФЭУ проводилась с помощью γ -источников.

Для величины удельных потерь энергии было получено ограничение

$$j < 2 \cdot 10^{-16} \text{ МэВ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{см}^2$$

Эта величина в 10^{16} раз меньше ионизационных потерь быстрой заряженной частицы. Характерная длина, на которой $\tilde{\nu}_e$ теряют заметную часть своей энергии, превосходит таким образом $5 \cdot 10^{15} \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$. Это в 10^3 больше, чем путь от центра до периферии Солнца.

Отметим также, что если величина характерной потери энергии в единичном акте сравнима или меньше потенциалов ионизации иодистого цезия, то использованный нами метод теряет чувствительность. В этом случае потери энергии могут сильно зависеть от электронной структуры вещества ². Поэтому представляют интерес поиски потерь энергии $\tilde{\nu}_e$ в полупроводниках и металлах.

2. Поиски нестабильных проникающих частиц.

В реакторе Ровенской АЭС каждую секунду происходит 10^{21} различных ядерных превращений. Если при этом рождаются гипотетические нестабильные частицы, которые распадаются с испусканием γ -квантов, то при определенных условиях они могут быть зарегистрированы детекторами, находящимися в экспериментальном зале лаборатории. Для этого они должны иметь не очень короткое время жизни ($\tau_{\text{лаб}} > 3 \cdot 10^{-8}$ сек) и достаточную проникающую способность (толщина защиты $1,5 \cdot 10^4 \text{ г/см}^2$). Масса таких частиц не может, по-видимому, заметно превосходить ~ 1 МэВ.

В последние годы неоднократно обсуждался вопрос о существовании нейтральной псевдоскалярной частицы аксиона ($a \rightarrow 2\gamma$), введенной в ^{4, 5} в связи с проблемой нарушения СР. Другой кандидат на роль такой частицы – само нейтрино, вопрос о распаде которого ($\nu_2 \rightarrow \nu_1 + \gamma$) был поставлен в связи с нехваткой солнечных нейтрино ⁶ и недавно обсуждался в ⁷. Поиск таких частиц проводился нами на расстоянии 18 м от реактора с помощью сцинтилляционного спектрометра $\tilde{\nu}_e$ ⁸, содержащего 238 л органического сцинтиллятора, и сцинтилляционных кристаллов иодистого цезия. В эксперименте измерялись энергетические спектры в диапазоне энергий 1 – 4 МэВ при работающем и остановленном реакторе. Никаких эффектов, связанных с работой реактора, обнаружено при этом не было.

В наиболее модельно независимом виде полученные ограничения можно представить в виде отношения двух величин: η — вероятности рождения частицы, отнесенной к одному акту деления и $\tau_{\text{лаб}}$ — времени жизни в лабораторной системе.

$$\eta / \tau_{\text{лаб}} < 5 \cdot 10^8 \text{ дел}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1} \quad (1)$$

Для нейтрино ($E_\nu \geq 2 \text{ МэВ}$, $\eta \approx 1$), принимая, что $m_{\nu_2} \gg m_{\nu_1}$ для времени жизни получается оценка $\tau_{\text{лаб}} > 2 \cdot 10^7 \text{ сек}$, так что $c\tau_{\text{лаб}}$ в $4 \cdot 10^3$ раз больше расстояния от Солнца до Земли. Более аккуратная обработка с учетом спектра $\tilde{\nu}_e$ и кинематики распада, дает для собственного времени жизни

$$\begin{aligned} \tau_0 / m_\nu &> 30 \text{ сек/эВ (нейтрино Дирака)} \\ \tau_0 / m_\nu &> 20 \text{ сек/эВ (нейтрино Майорана)}. \end{aligned}$$

В случае аксиона можно детализировать оценку (1), используя связь между его массой и временем жизни $\tau_{\text{лаб}}^a \approx 15 \times (100 \text{ кэВ}/m_a)^6$ для аксиона с энергией $\approx 2 \text{ МэВ}$.

Тогда возникает ограничение на вероятность рождения аксиона

$$\eta_a < 0,8 \left(\frac{100 \text{ кэВ}}{m_a} \right)^6 \cdot 10^{-16}, \text{ дел}^{-1}$$

так, что например, при $m_a \approx 0,5 \text{ МэВ}$ рождается меньше $10^{-10} a / \text{дел}$. Наиболее детальные оценки возникают в модели так называемого "стандартного" аксиона⁹, которая количественно связывает массу с вероятностью рождения аксиона в ядерных магнитных переходах и в которой $m_a \geq 150 \text{ кэВ}$. Если принять, что аксионы рождаются в реакторе только при захвате медленных нейтронов водородом ($E_a = 2,2 \text{ МэВ}$), то при минимально возможной массе мы не видим эффекта с "запасом" в 40 раз.

3. Влияние внешнего потока $\tilde{\nu}_e$ на вероятность бета-распада.

Не известно никаких причин, по которым вероятность бета-распада ядра могла бы меняться при помещении этого ядра в поток реакторных ν_e ¹⁾. Поэтому экспериментальное обнаружение такого изменения потребовало бы радикального пересмотра имеющихся представлений. Насколько нам известно, обсуждаемый эффект ранее экспериментально не изучался.

Для позитронного излучателя ^{22}Na и электронного — ^{60}Co искалось относительное изменение константы распада $\delta\lambda/\lambda$ при увеличении и уменьшении внешнего потока на величину $f_\nu \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. В случае сравнительно короткоживущего изотопа ^{24}Na ($T_{1/2} = 15,02 \text{ ч}$) измерялись периоды полураспада двух идентичных образцов, один из которых выдерживался в потоке $3,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Ни в одном из названных случаев эффект обнаружен не был. Полученные ограничения можно характеризовать величиной $\alpha = (1/f_\nu)(\delta\lambda/\lambda)$ имеющей размерность ($\text{см}^2 \cdot \text{сек}$). Тогда $|\alpha| < 1,6 \cdot 10^{-15}$ для ^{60}Co и ^{22}Na и $|\alpha| < 3 \cdot 10^{-16}$ для ^{24}Na .

Авторы благодарят С.Т.Беляева, В.П.Мартемьянова и Е.Х.Ахмедова за интересные обсуждения, которые стимулировали постановку некоторых из описанных выше экспериментов и сотрудников лаборатории за помощь при проведении измерений.

Литература

1. Боровой А.А., Миказлян Л.А. АЭ, 1983, 54, 144.
2. Миказлян Л.А. Письма в ЖЭТФ, 1972, 16, 313.
3. Бажутов Ю.Н., Мартемьянов В.П., Миказлян Л.А. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 312.
4. Weinberg S. Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 223.

¹⁾ Мы отвлекаемся от совершенно пренебрежимых в условиях проделанного эксперимента эффектов, связанных с реакцией $\tilde{\nu}_e(Z, Z+1)\beta^+$ увеличивающей скорость β^+ -превращений, и с принципом Паули, уменьшающим скорость β^- -распада.

5. *Wilczek F.* Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 279.
6. *Bahcall J.N., Cabibbo N., Yahil A.* Phys. Rev. Lett., 1972, 28, 316.
7. *Vogel P.* Phys. Rev., 1984, 30D, 1505.
8. *Афонин А.И. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 122.
9. *Donnelly T.W. et all.* Phys. Rev., 1978, 18, 1607.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
7 июня 1986 г.
