

ПОИСК АКСИОНА НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИБР-2

Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина¹⁾, В.В.Круглов, А.В.Куликов¹⁾,
 П.А.Кулинич, В.И.Лущиков, Г.В.Мицельмахер,
 Ю.Н.Покотилловский, Д.М.Хазинс

Выполнен поиск аксиона на импульсном реакторе ИБР-2 с помощью пластических сцинтилляционных счетчиков. За защитой реактора фотонных пар обнаружено не было, что противоречит данным Файснера о наблюдении аксиона на реакторе в Юлихе и подтверждает вывод Зендера и др. об отсутствии в природе "стандартного" аксиона.

В данной статье мы сообщаем результаты поиска новой частицы аксиона, которая была введена Вайнбергом¹ и Вилчеком² для разрешения противоречия, связанного с нарушением P - и CP -четности, при объединении теорий электрослабого и сильного взаимодействий.

Поиск аксиона был выполнен на вводимом в строй импульсном реакторе ИБР-2³. Средняя мощность реактора составляла 1 МВт, длительность вспышки 230 мкс (на полувысоте), частота повторений – 25 Гц. Импульсность реактора позволяет существенно подавить влияние фона от космических лучей и естественной радиоактивности, который служит главной помехой при поиске аксиона. В эксперименте мы использовали строб длительностью 400 мкс (95%-ной интенсивности вспышки реактора). Таким образом, скважность работы установки составляла 100.

Установка состояла из двух сцинтилляционных счетчиков на основе полистирола размерами $17 \times 17 \times 40$ см³ каждый, включенных на совпадения между собой, и счетчика антисовпадений размером $40 \times 36 \times 1$ см³, служащего для подавления фона космических лучей (рис. 1). Перед счетчиками имелось свободное пространство длиной ~ 6 м, в котором предполагался распад аксиона на два фотона. Счетчики указанных размеров имеют эффективность $\sim 50\%$ в области энергий фотонов от десятых долей до нескольких МэВ, а их амплитудные спектры позволяют судить об энергетическом спектре регистрируемых фотонов. Порог по энерговыделению в каждом из счетчиков составлял $E_{п} = 100$ кэВ в одной части экспозиции и $E_{п} = 300$ кэВ – в другой. Общее время измерений составило $\sim 3,6$ суток, в течение которых было зарегистрировано 429 ± 21 сигналов совпадений с суммарным энерговыделением $E_1 + E_2 < 5$ МэВ. Соответствующее число фоновых отсчетов, которое измерялось в промежутках между вспышками реактора, составляет 429 ± 14 . Таким образом, фотонных пар за защитой реактора обнаружено не было.

Для извлечения ограничений на вероятность образования аксиона мы, следуя Зендеру и др.⁴, проанализировали наиболее мощные потенциальные источники аксионов, свойства которых хорошо известны. К ним относятся возбужденные состояния дейтона и ${}^7\text{Li}$, которые образуются при захвате нейтрона водородом и бором, соответственно. Оба эти состояния пе-

¹⁾ НИИЯФ МГУ

реходят в основное через $M1$ -переход. Переход дейтона ($E = 2,23$ МэВ) изотопически векторный, переход ${}^7\text{Li}$ ($E = 0,48$ МэВ) — чисто протонный.

Вокруг активной зоны реактора ИБР-2 имеется водяной замедлитель, в котором захватывается тепловых нейтронов $0,35 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1} \cdot \text{МВт}^{-1}$. Интенсивность образования ${}^7\text{Li}$ в борсодержащей защите реактора составляет $10^{16} \text{ с}^{-1} \cdot \text{МВт}^{-1}$: (Учитывался захват только тепловых нейтронов).

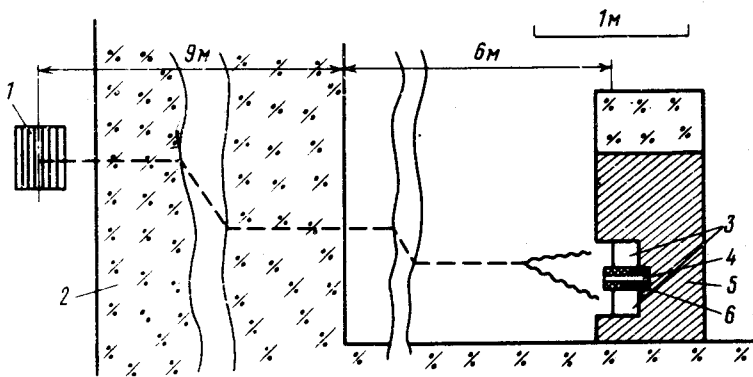


Рис. 1. Схема установки: 1 - активная зона реактора, 2 - бетонная защита реактора, 3 - сцинтилляционные счетчики, 4 - счетчик анти-совпадений, 5 - защита из железа, 6 - свинец

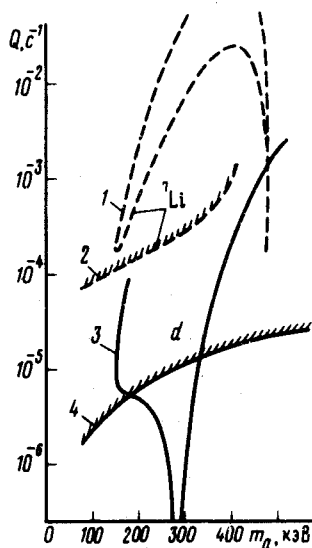


Рис. 2. Относительная вероятность образования аксиона Q при снятии возбуждения в ${}^7\text{Li}$ (кривые 1, 2) и d^* (кривые 3, 4). Кривые 2, 4 указывают полученный в настоящей работе верхний предел на 95%-ном уровне достоверности; кривые 1, 3 рассчитаны теоретически

Результаты обработки представлены на рис. 2 в виде функции $Q(m_a)$, которая определяется через экспериментальные величины модельно независимым способом:

$$Q = \frac{n}{R_\gamma (\Omega / 4\pi)(l/v)\epsilon k}$$

где n — разность интенсивностей счета установки при включенном и выключенном реакторе; R_γ — интенсивность образования исследуемого возбужденного состояния ядра; Ω — телесный угол установки; l — распадная длина; v — скорость аксиона; ϵ — эффективность установки, которая включает в себя вероятность попадания и регистрации фотонов в детекторы и зависит от энергии и массы аксиона; k — множитель, учитывающий потери из-за ограничений длительности строб-импульса и из-за введения ограничения на суммарное энерговыделение. Величина Q имеет смысл отношения вероятности аксионного перехода ядра ω_a/ω_γ к времени жизни аксиона в лабораторной системе координат $\gamma\tau_a$:

$$Q = \frac{\omega_a/\omega_\gamma}{\gamma\tau_a}$$

Кривые 2 и 4 на рис. 2. указывают верхние границы величины Q (на уровне достоверности 95%) в предположении, что источником аксиона являются возбужденные состояния ${}^7\text{Li}$ и d , соответственно. Результаты расчетов на основе формул для времени жизни аксиона и вероятности его излучения, представленных в работах ^{4,5}, показаны кривыми 1 (${}^7\text{Li}$) и 3 (d).

Из сопоставления теоретических и экспериментальных кривых следует, что данные по ${}^7\text{Li}$ исключают аксион с массой $m_a < 400$ кэВ, а данные по d исключают его существование в области $330 \text{ кэВ} < m_a < 2,2$ МэВ (верхняя граница обусловлена энергией перехода $E = 2,23$ МэВ). Таким образом наша работа подкрепляет вывод Зендера и др. ⁴ об отсутствии в природе "стандартного" аксиона (свойства которого соответствуют ⁵).

В то же время наши результаты находятся в сильном противоречии с наблюдением аксиона на реакторе в Юлихе ⁶. Из совокупности характеристик аксиона, приведенных в ⁶ (вероятность образования при np -захвате $\omega_a/\omega_\gamma = 3 \cdot 10^{-5}$, $\tau_a = 10$ мс и $m_a \sim 250$ кэВ), можно вычислить величину $Q = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, которая более чем на порядок величины превосходит нашу верхнюю границу.

Если не проводить детального анализа потенциальных источников аксионов в реакторе, а предположить, следуя ⁵, что вероятность образования аксиона на один γ -переход составляет 10^{-8} и что спектр аксионов соответствует спектру γ -квантов в реакторе, то наши данные дают ограничение: $m_a < 325$ кэВ.

Авторы выражают свою признательность Ю.Н.Денисову, Е.П.Шабалину и В.Д.Ананьеву за многочисленные консультации, А.В.Купцову и Л.Л.Неменову за предоставление аппаратуры, А.В.Стрелкову, Л.М.Онищенко и Б.М.Понтекорво за поддержку и интерес к работе.

Литература

1. Weinberg S. Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 223.
2. Wilczek F. Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 279;
3. Ананьев В.Д., Блохинцев Д.И. и др. ОИЯИ, 13-4395, 1969; ПТЭ, 1977, №5, стр. 17.
4. Zehnder A., Gobathuler K., Vuillumier J.-L. Preprint SIN, PR-82-01, 1982.
5. Donnelly T.W. et al. Phys. Rev., 1978, D18, 1607.
6. Faissner H. In: Proc. Int. Neutrino Conf. Maui, 1981.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию

9 июня 1982 г.