

Мюонная вето система на основе пластического сцинтиллятора для эксперимента DayaBay

Максим Гончар

Руководители:

к.ф.-м.н. Наумов Д.В. (Лаборатория ядерных проблем, ОИЯИ)
проф. Калошин А. Е. (ИГУ)

9.06.2007

Нейтринные осцилляции

Нейтринные осцилляции полностью описываются 5-ю параметрами:

- 3 угла смешивания ($\Theta_{12}, \Theta_{13}, \Theta_{23}$)
- 2 разности квадратов масс ($\Delta m_{21}^2, \Delta m_{32}^2$)

$$\Delta m_{21}^2 = 8.0_{-0.3}^{+0.4} \times 10^{-5} \text{ эВ}^2$$

$$|\Delta m_{32}^2| = (1.9 \div 3.0) \times 10^{-3} \text{ эВ}^2$$

$$\sin^2 2\theta_{12} = 0.86_{-0.04}^{+0.03}$$

$$\sin^2 2\theta_{23} > 0.92$$

$$\sin^2 2\theta_{13} < 0.19 (CL = 90\%)$$

Угол $\sin^2 2\theta_{13}$ на сегодняшний день наименее изученный параметр нейтрино.

- Угол θ_{13} связан с вероятностью перехода $\nu_e \leftrightarrow \nu_\tau$.
- Для значения $\Delta m_{31}^2 \sim 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2$ оптимальное отношение расстояния от детектора до источника нейтрино к энергии $L/E = 0.5$ [км/МэВ].

⇒ для измерения θ_{13} следует использовать реакторные антинейтрино.

Измерение θ_{13} в реакторных экспериментах

Вероятность осцилляций $\bar{\nu}_e$

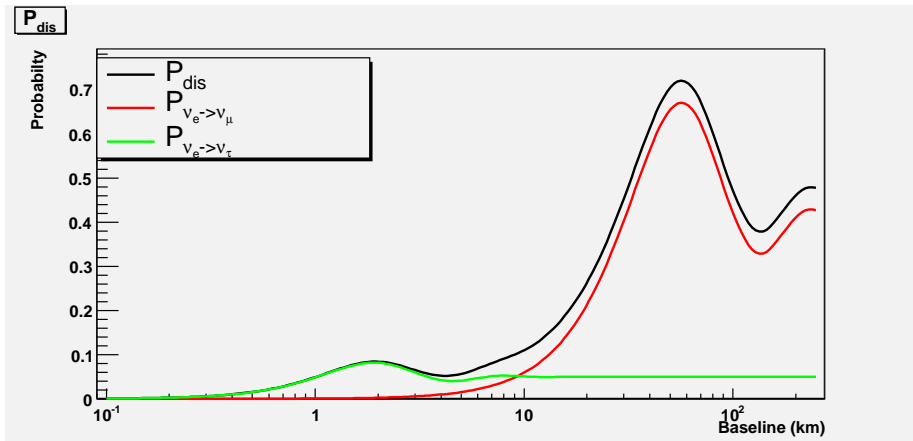


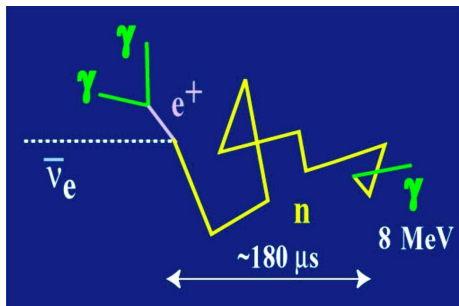
Рис. 1: Зависимость вероятности исчезновения $\bar{\nu}_e$ от расстояния до источника антинейтрино.



Рис. 2: Схема эксперимента DayaBay.

Эксперимент DayaBay

Детектирование антинейтрино



- $\bar{\nu}_e + p \longrightarrow e^+ + n$
- $e^+ + e^- \longrightarrow 2\gamma$ ($E_\gamma \approx 2.2\text{MэВ}$)
- $n + Gd \longrightarrow Gd^* \longrightarrow Gd + \gamma$ ($E_\gamma \approx 8\text{MэВ}$)

Эксперимент DayaBay

Ложные срабатывания.

Сигнальные события:

- Сигнал от аннигиляции позитрона с энергией от 1 до 8 МэВ.
- В пределах 200 мкс сигнал от захвата нейтрона с энерговыделением от 6 до 12 МэВ.

Возможный фон:

- Космогенные изотопы ^8He , ^9Li при β -распаде рожают β -частицу и нейтрон.
- Нейтрон с энергией нескольких МэВ в мишени может выбить несколько протонов, имитирующих сигнал позитрона и захватиться („быстрый“ нейтрон).
- Случайный нейтрон, совпавший в пределах 200 мкс со срабатыванием от радиоактивного фона.

Основной фон так или иначе связан с космическими мюонами.

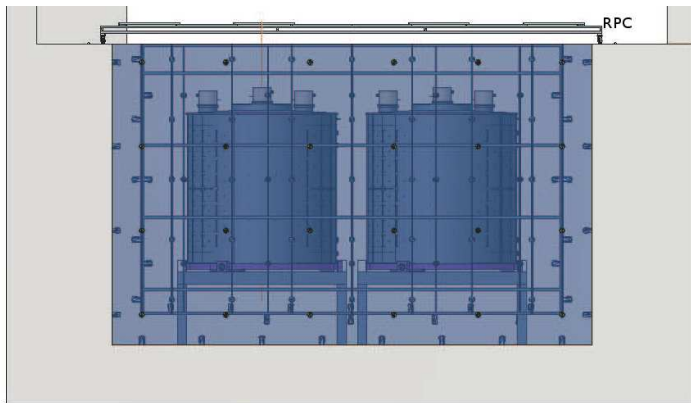


Рис. 3: Мюонная вето-система

Эксперимент DayaBay

Пластический сцинтиллятор

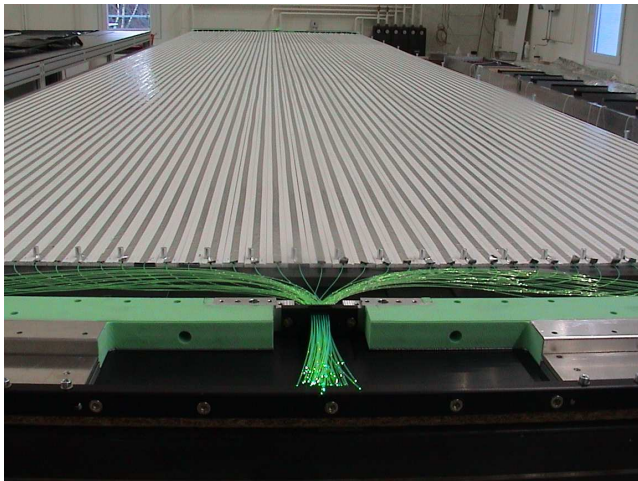


Рис. 4: Пластический сцинтиллятор, эксперимент OPERA

- 1 Провести моделирование различных конфигураций мюонного детектора на основе пластического сцинтиллятора. Показать возможность обеспечения высокой эффективности детектирования мюонов, при подавлении естественного радиоактивного фона в 10^6 раз.
- 2 Исследовать возможность увеличения чувствительности эксперимента к $\sin^2 2\theta_{13}$ за счет уменьшения неопределенности фона от быстрых нейтронов.

Эксперимент DayaBay

Оценка эффективности работы мюонного вето на основе пластического сцинтиллятора. Заключение.

Все рассмотренные в работе конфигурации обеспечивают необходимую эффективность детектирования мюонов. Однако достаточным уровнем подавления естественного радиоактивного фона обладают только те конфигурации, в которых условие на число сработавших плоскостей больше 3-х. Большого повышения эффективности можно достигнуть, погрузив детектор в воду — это никак не сказывается на детектировании мюонов, но тем не менее позволяет очень сильно понизить число ложных срабатываний, вызванных радиоактивным фоном.

Оптимальный вариант: детектор состоит из 4 слоев сцинтиллятора, погруженных в воду.

Эффективность детектирования мюонов: 99.7 %.

Эффективность детектирования фотонов: $< 1 \cdot 10^{-6}$ %.

Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов.

„Быстрые“ нейтроны могут не только вызвать сигнал, похожий на антинейтринный. Они могут выбить несколько протонов — в этом случае число отдельных срабатываний детектора может быть больше 2-х. Такой сигнал отличен от антинейтринного. Произведя детектирование таких событий можно:

- Оценить полный фон быстрых нейтронов с неопределенностью, меньшей чем он оценивается на данный момент.
- Повысить чувствительность эксперимента к значению $\sin^2 2\theta_{13}$.
- Определить неэффективность работы мюонного вето допустимую для достижения чувствительности.

Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов.

Для статистики в 10000 нейтронов, число двойных срабатываний — 7466, тройных и более — 119. Для набора статистики в течении 3-х лет неопределенность нейтронного фона составит 30 %.

Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов. Влияние на чувствительность.

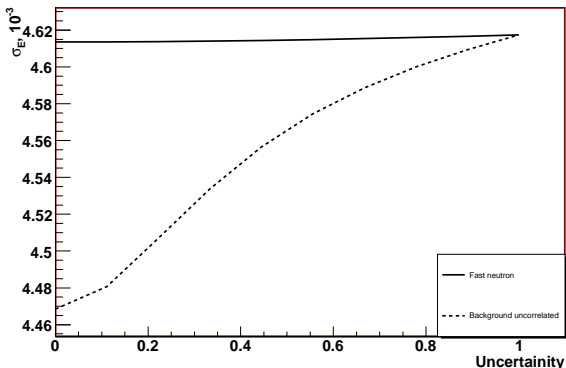


Рис. 5: Зависимость ошибки на значение $\sin^2 2\theta_{13}$ от неопределенности фоновых „быстрых нейтронов“ и отдельно от общей некоррелированной неопределенности фона.

- 1 Исследована эффективность различных конфигураций мюонного детектора на основе пластического сцинтиллятора. Показана возможность подавления ложных срабатываний за счет естественной радиоактивности на 6 порядков.
- 2 Исследована возможность оценки фона „быстрых“ нейтронов при проведении эксперимента.

Спасибо за внимание.