

# Мюонная вето система на основе пластического сцинтиллятора для эксперимента DayaBay

Максим Гончар

Лаборатория ядерных проблем (ОИЯИ),  
Иркутский Государственный Университет

09.06.2007

Нейтринные осцилляции полностью описываются 6-ю параметрами:

- 3 угла смешивания ( $\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}$ )
- 2 разности квадратов масс ( $\Delta m_{21}^2, \Delta m_{32}^2$ )
- Фаза нарушения CP-четности Дирака ( $\delta_{CP}$ )

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

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

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

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

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

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

# Измерение $\theta_{13}$ в реакторных экспериментах

Вероятность осцилляций  $\bar{\nu}_e$

Вероятность исчезновения в зависимости от расстояния выглядит следующим образом:

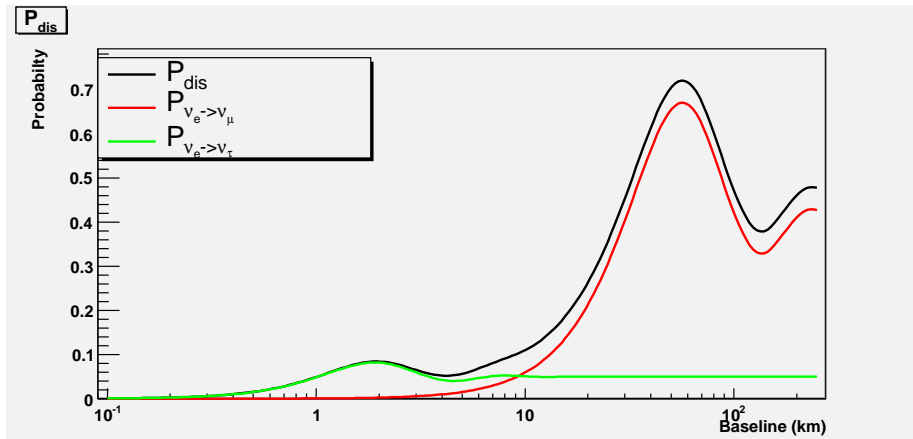


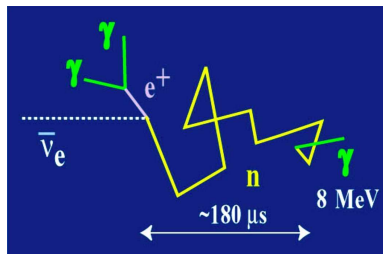


Рис.: АЭС DayaBay [1].

# Эксперимент DayaBay

## Детектирование антинейтрино

- Нейтрино взаимодействует со свободным протоном, рождая нейтрон и позитрон.



- Позитрон аннигилирует с электроном, испуская 2  $\gamma$ -кванта ( $\sim 2$  МэВ).
- Спустя несколько десятков микросекунд нейтрон захватывается на гадолинии. Возбужденное ядро гадолиния испускает несколько  $\gamma$ -квантов (8 МэВ).

# 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 энергосвечением от 6 до 12 МэВ.

Возможный фон:

- Космогенные изотопы  $^8\text{He}$ ,  $^9\text{Li}$  при  $\beta$ -распаде рождают  $\beta$ -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.

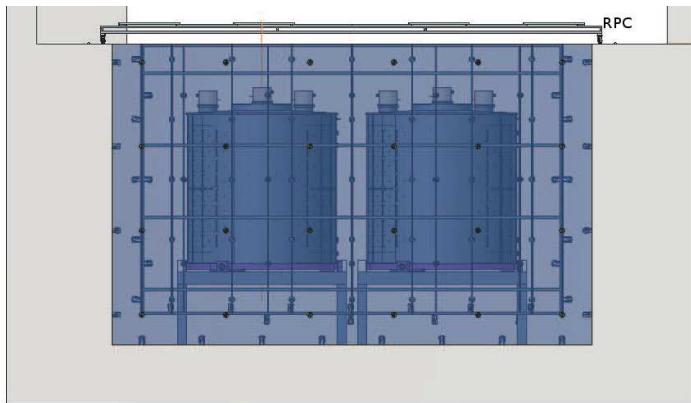


Рис.: Мюонная вето-система

# Эксперимент DayaBay

## Пластический сцинтиллятор

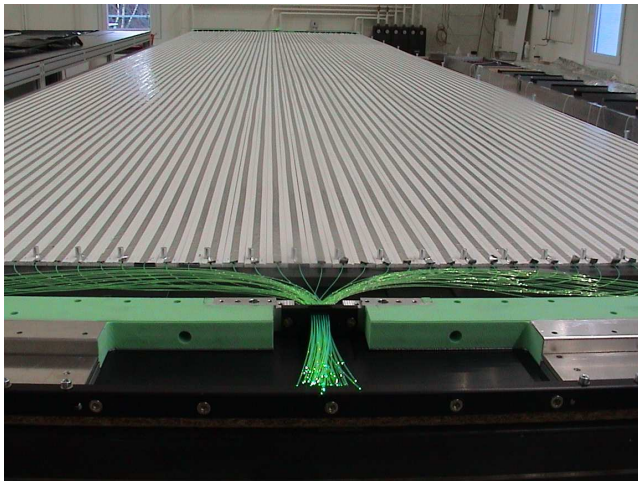


Рис.: Пластический сцинтиллятор, эксперимент OPERA



# Эксперимент DayaBay

Оценка эффективности работы мюонного вето на основе пластического сцинтиллятора.

Проведено моделирование различных конфигураций мюонного детектора на основе пластического сцинтиллятора.

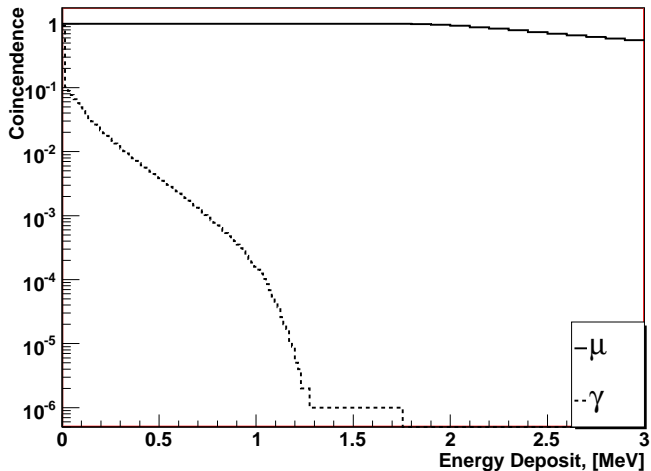
## Рассмотренные конфигурации

- 3 слоя по 1 см толщиной — Детектор 1.
- 4 слоя по 1 см толщиной — Детектор 2.
- 3 слоя по 1.5 см толщиной — Детектор 3.
- 2 слоя пластического сцинтиллятора по 1 и 3 см толщиной, с разными порогами срабатывания — Детектор 4.
- 3 слоя по 1 см толщиной под водой (50,100,150 см) — Детектор 1\*

# Эксперимент DayaBay

Оценка эффективности работы мюонного вето на основе пластического сцинтиллятора.

2 coincidence



# Эксперимент DayaBay

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

Детектор	Слои	Совпадения	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_\mu$
1	3 × 1 см	2/3	$1.9 \cdot 10^{-3}$	0.998
1	3 × 1 см	3/3	<b><math>7 \cdot 10^{-6}</math></b>	<b>0.997</b>
2	4 × 1 см	2/4	$3.2 \cdot 10^{-3}$	0.998
2	4 × 1 см	3/4	$1.2 \cdot 10^{-5}$	0.997
2	4 × 1 см	4/4	<b><math>&lt; 1.6 \cdot 10^{-6}</math></b>	<b>0.995</b>
3	3 × 1.5 см	2/3	$3.6 \cdot 10^{-3}$	0.997
3	3 × 1.5 см	3/3	$1.4 \cdot 10^{-5}$	0.995
4	1 см, 3 см	2/2	$5.3 \cdot 10^{-5}$	0.998

**Таблица:** Общее сравнение результатов моделирования различных конфигураций детектора. Порог на выделение энергии 535 кэВ.

# Эксперимент DayaBay

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

Детектор	Глубина (см)	Совпадения	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_\mu$
1		2/3	$1.9 \cdot 10^{-3}$	0.998
1*	50 см	2/3	$7 \cdot 10^{-5}$	0.998
1*	100 см	2/3	$1 \cdot 10^{-5}$	0.998
1*	150 см	2/3	$< 10^{-8}$	0.998
1		3/3	$7 \cdot 10^{-6}$	0.997
1*	50 см	3/3	$< 10^{-8}$	0.997
1*	100 см	3/3	$< 10^{-8}$	0.997
1*	150 см	3/3	$< 10^{-8}$	0.997

**Таблица:** Общее сравнение результатов моделирования различных конфигураций детектора. Порог на выделение энергии 535 кэВ.

# Эксперимент DayaBay

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

Все рассмотренные здесь конфигурации обеспечивают необходимую эффективность детектирования мюонов. Однако достаточным уровнем подавления естественного радиоактивного фона обладают только те конфигурации, в которых рассматривается больше 3-х совпадений. 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 детектора состоит из 3–4 слоев сцинтиллятора, погруженный в воду.

# Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов.

$$N_n = N_n(N_{peaks} = 2) + N_n(N_{peaks} \geq 3) \equiv N_n^2 + N_n^{3+} \quad (1)$$

$$\xi = \frac{N_n^{(3+)}}{N_n} \quad (2)$$

$$N_n^{(3+)} = \langle N_n^{(3+)} \rangle \pm \sqrt{\langle N_n^{(3+)} \rangle} \quad (3)$$

$$N_n = \frac{\langle N_n^{(3+)} \rangle}{\xi} \pm \frac{\sqrt{\langle N_n^{(3+)} \rangle}}{\xi} \quad (4)$$

# Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов.

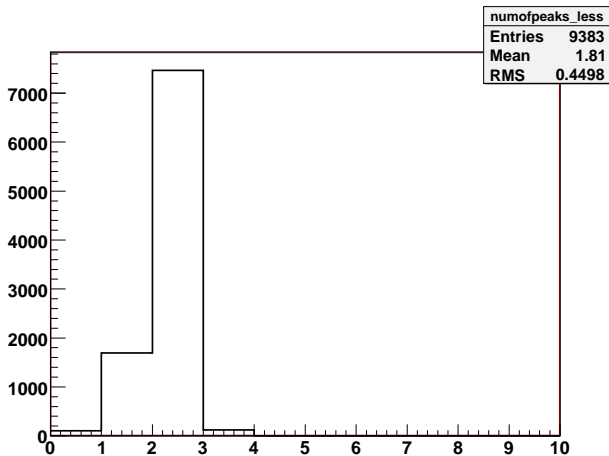


Рис.: Число пиков в сигнатуре события.

# Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов.

Число двойных срабатываний — 7466, тройных и более — 119. Отсюда получаем значение параметра  $\xi$ :

$$\xi = \frac{N_n^{(3+)}}{N_n} = \frac{119}{119 + 7466} \approx 1.57 \% \quad (5)$$

Для статистики за 3 года:

$$N_n^{(3+)} = 12.5 \pm \sqrt{12.5} \quad (6)$$

$$N_n = \frac{12.5}{1.57 \%} \pm \frac{\sqrt{12.5}}{1.57 \%} = 837 \pm 236 \quad (7)$$

Неопределенность порядка 30 %.



# Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов. Влияние на чувствительность.

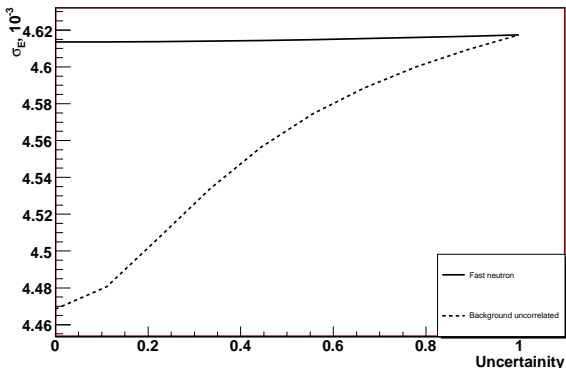
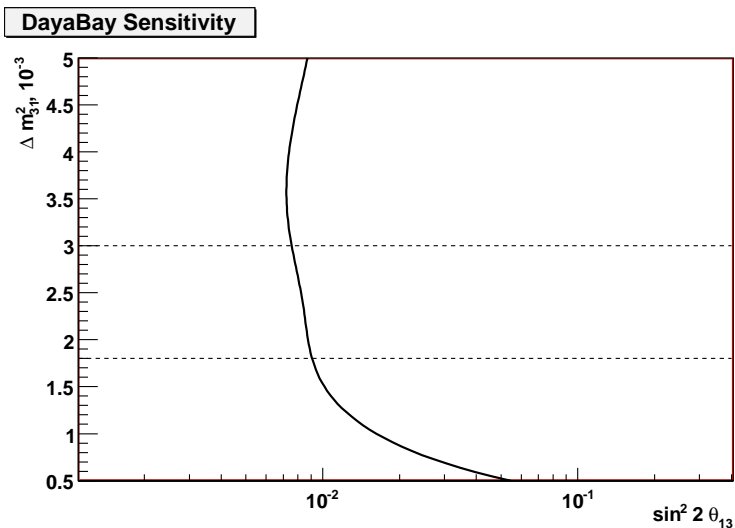


Рис.: Зависимость ошибки на значение  $\sin^2 2\theta_{13}$  от неопределенности фоновых „быстрых нейтронов“ и отдельно от общей некоррелированной неопределенности фона. Расчет на основе метода [2].

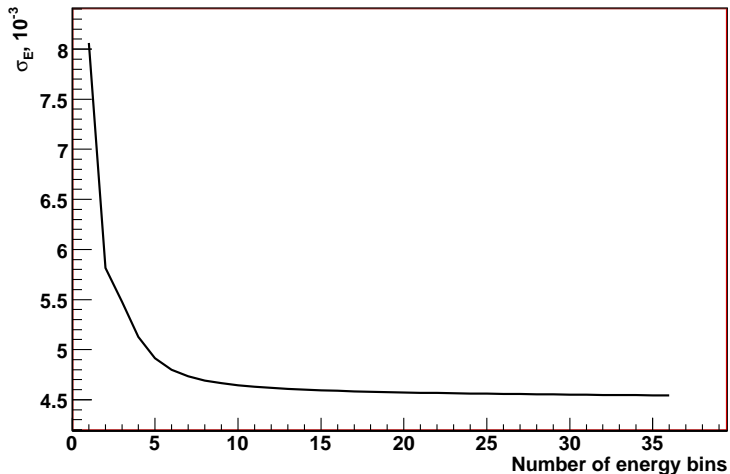
# Эксперимент DayaBay

Вычисление эффективности.



# Эксперимент DayaBay

Вычисление эффективности.





DayaBay Collaboration.

Conceptual design report.

2007.

<http://www.dayawane.ihep.ac.cn> — 263 с.



Yeong Dae Kwon.

A study of confidence intervals for the dayabay project.

Master's thesis, 2007.

— 69 с.

Спасибо за внимание.

# Эксперимент DayaBay

Уменьшение неопределенности фона быстрых нейтронов. Влияние на чувствительность.

BACKUP

