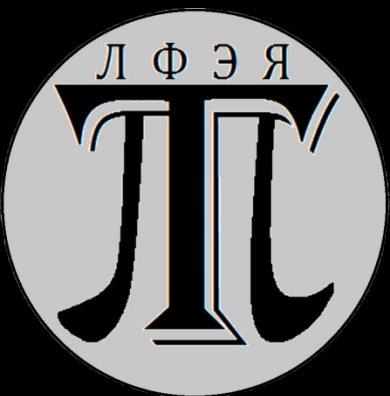
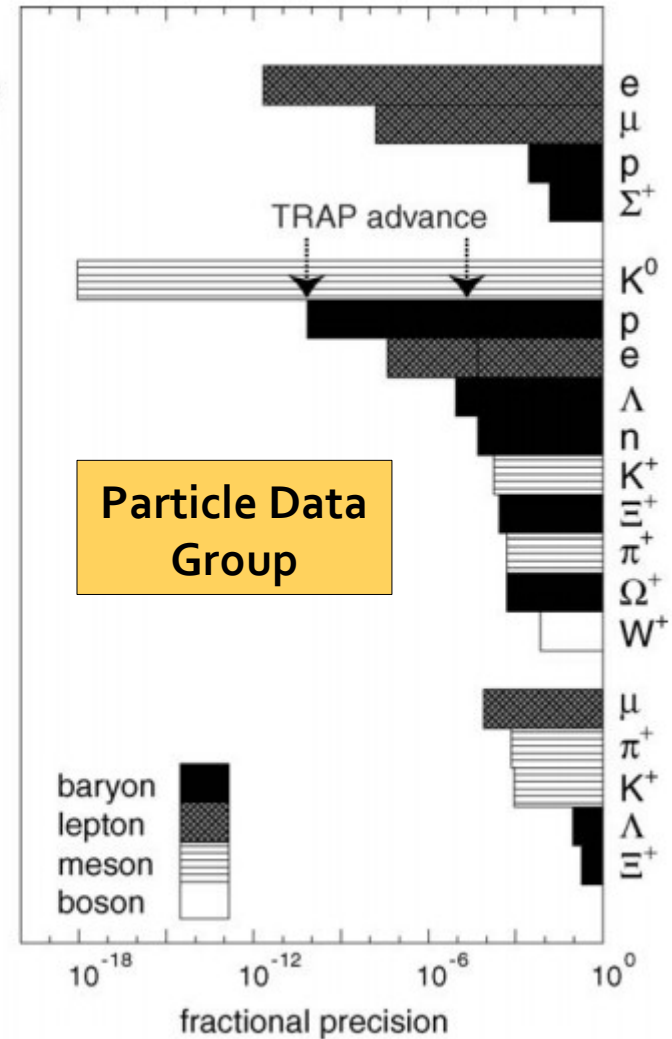
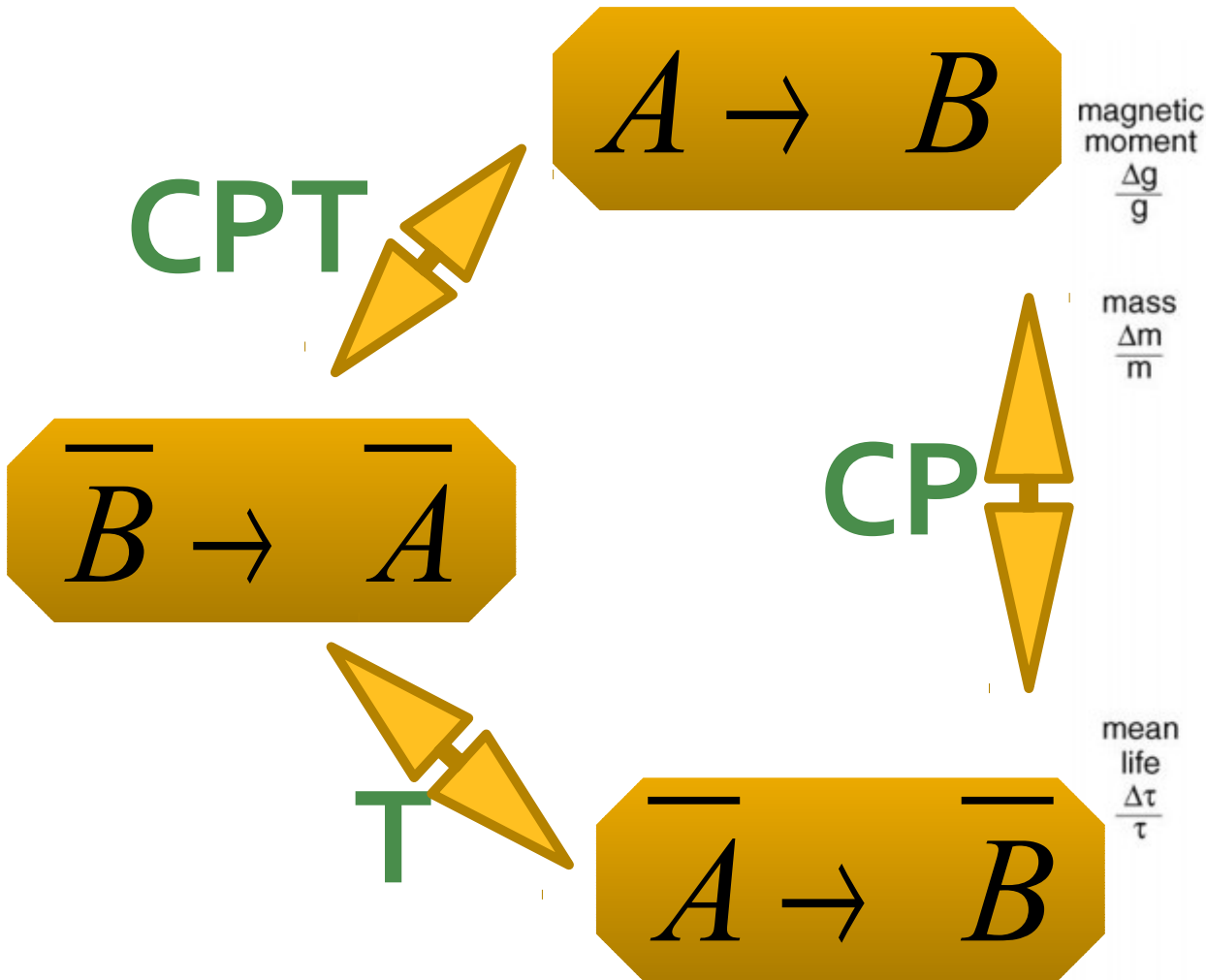


«Проверка СРТ инвариантности в методе нейтринной осциллометрии»



Семинар ОФВЭ 12.05.15
Смирнов М.В.

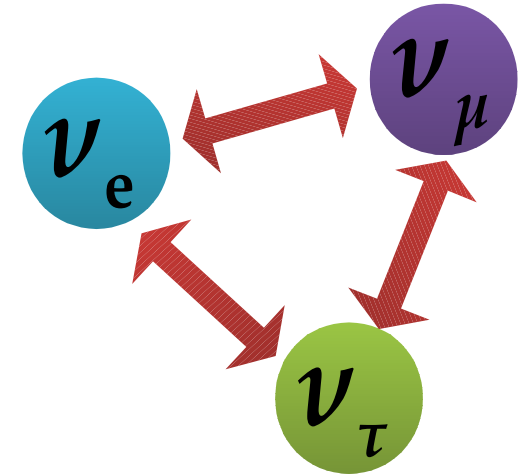
CPT инвариантность



Нейтринные осцилляции

Переход трёх активных флэйворов нейтрино друг в друга

Возможность поиска СРТ нарушения с использованием нейтринных осцилляций!



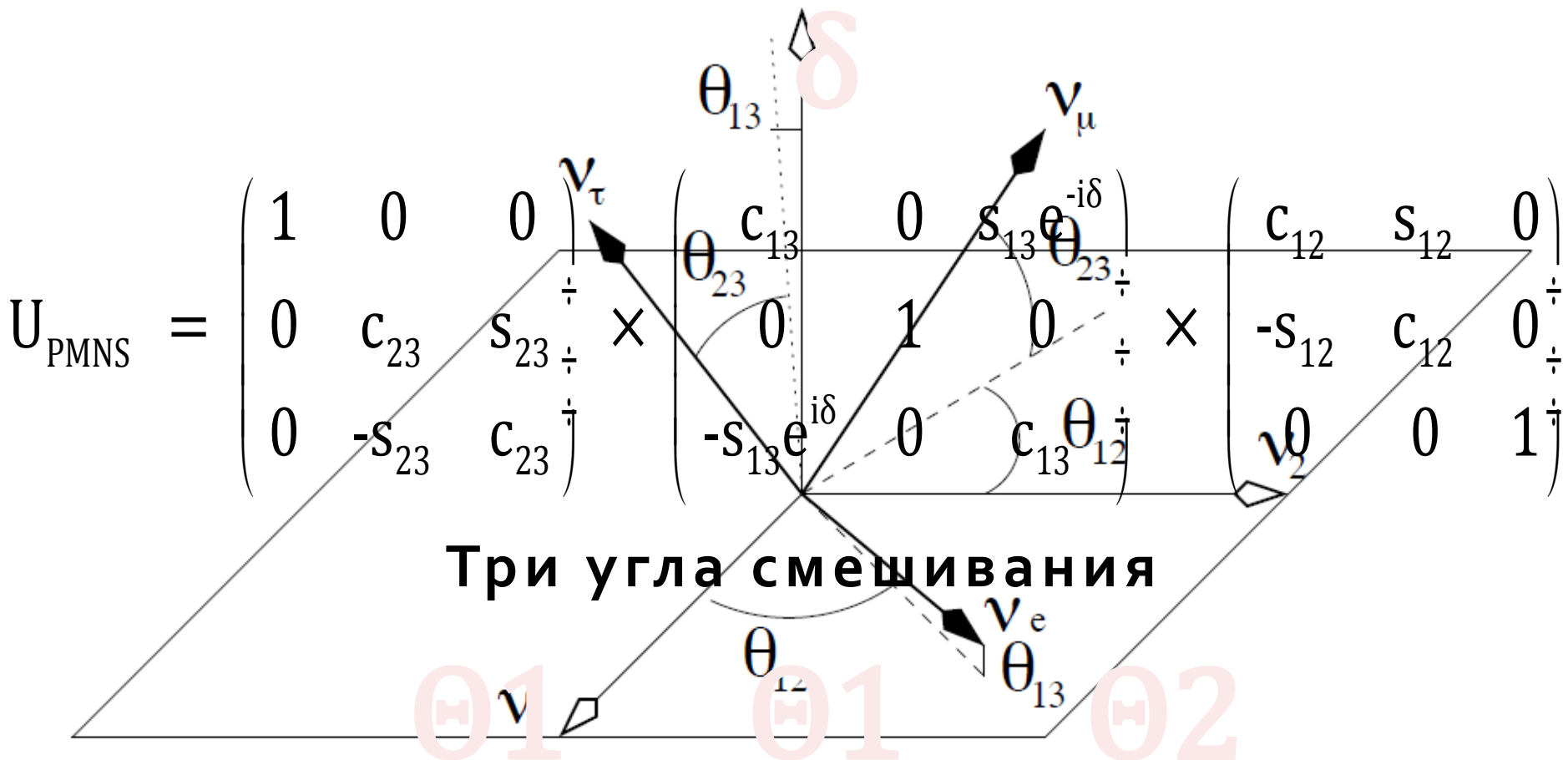
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \mathbf{U}_{\text{PMNS}} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

| | | | |
|------------|---------|---------|---------|
| ν_e | ν_1 | | |
| ν_μ | | ν_2 | |
| ν_τ | | | ν_3 |

The diagram shows the decomposition of flavor neutrinos into mass eigenstates. The flavor neutrinos ν_e , ν_μ , and ν_τ are represented as horizontal bars composed of segments of mass eigenstates ν_1 (blue), ν_2 (green), and ν_3 (pink). ν_e consists of a large blue segment (ν_1), a medium green segment, and a small pink segment. ν_μ consists of a small blue segment, a large green segment (ν_2), and a large pink segment. ν_τ consists of a small blue segment, a large green segment, and a large pink segment (ν_3).

Матрица смешивания

Одна фаза CP нарушения



Стерильные нейтрино

Гипотетический нейтральный лептон,
участвующий в слабом взаимодействии
через смешивание с активными
нейтрино

3 + 2

схемы смешивания

3 + 1

LSND, MiniBooNE, SAGE и
GALLEX

$|\Delta m_{21}^2| \ll |\Delta m_{31}^2| \ll |\Delta m_{41}^2|$
реакторная аномалия

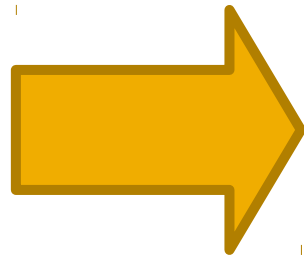
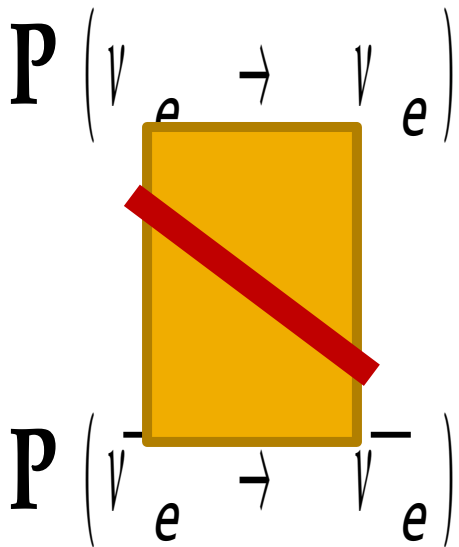
Global Data Fit $\Delta m_{41}^2 \geq 1 \text{ eV}^2 \sin^2(2\theta_{ee}) \sim 0.1$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - \sin^2(2\theta_{ee}) \times \sin^2\left(1.27 \times \Delta m_{41}^2 \frac{L}{E_\nu}\right)$$

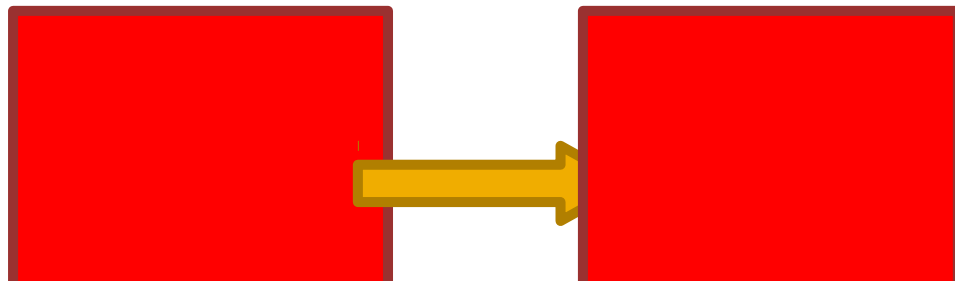
Основная идея

В силу CPT инвариантности, вероятности перехода электронных нейтрино и антинейтрино в стерильные нейтрино должны быть одинаковы

Обеспечивается прямой тест CPT!



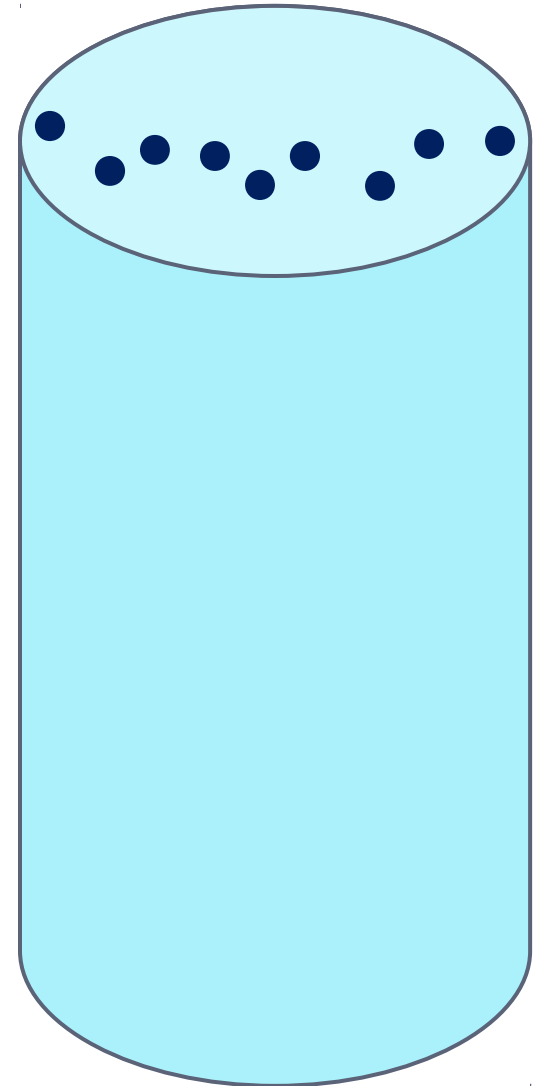
$$\frac{\left[\Delta m_{41}^2 \right]_{\text{neutrino}}}{\left[\Delta m_{41}^2 \right]_{\text{antineutrino}}} = 1$$



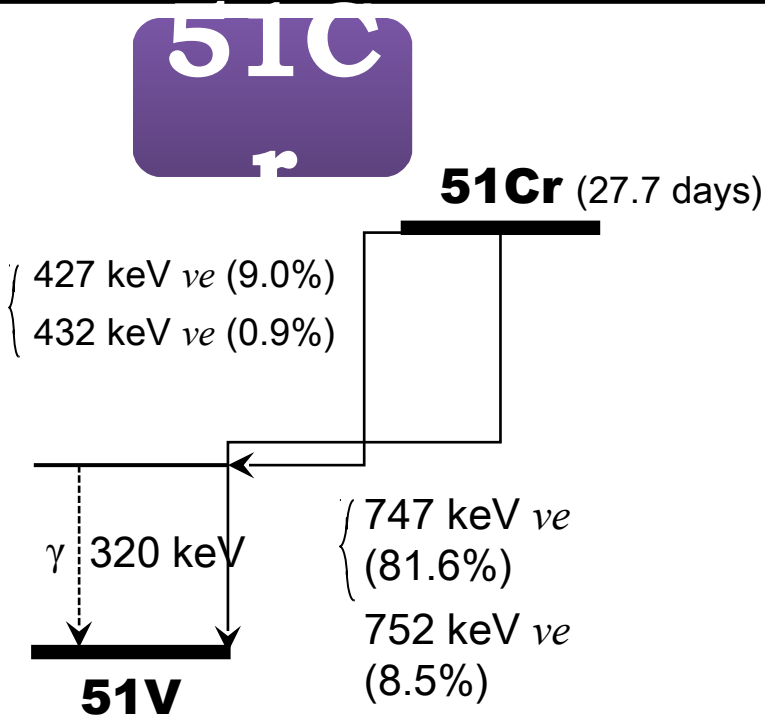
Нейтринная осциллометрия

Yu.N. Novikov *et al.*, (2011) [arXiv:1110.2983]

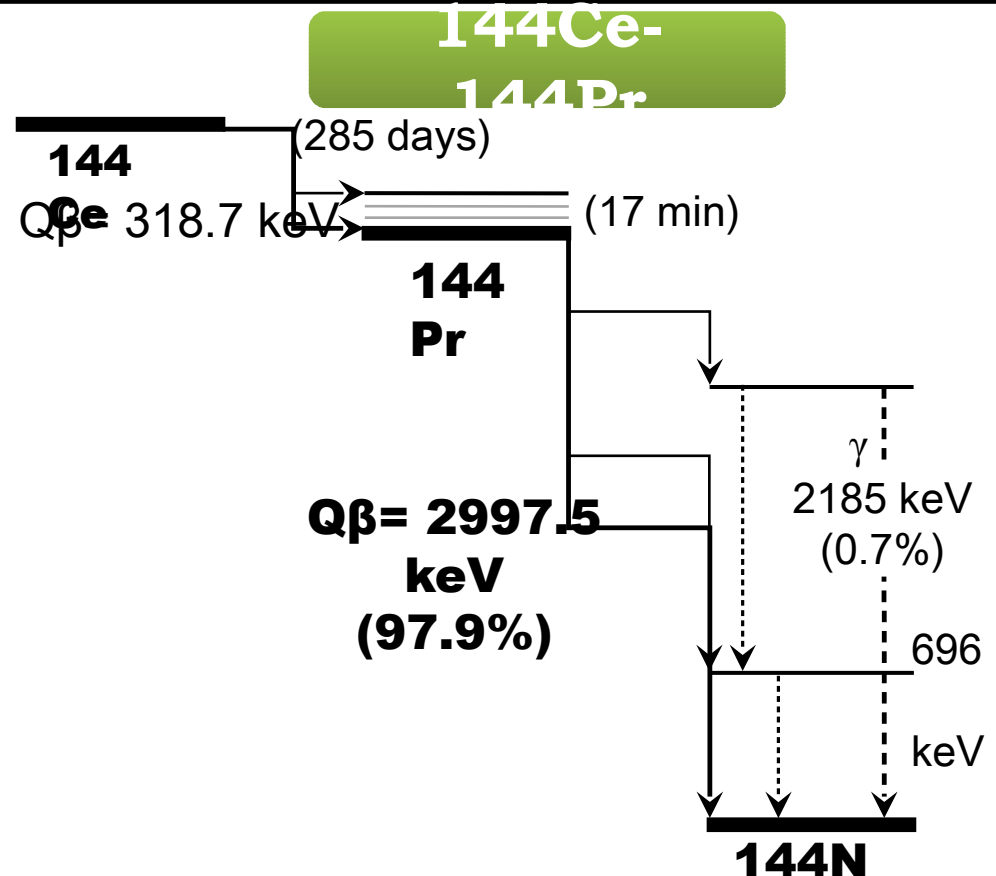
- Возможность наблюдения и измерения осцилляционной длины в пределах размеров большого детектора
- Искусственный источник нейтрино (антинейтрино) с активностью 0.1-10 МКи
- Энергия нейтрино (антинейтрино) от 0 до нескольких МэВ
- Подавленный и хорошо предсказуемый фон
- Гигантский детектор с высоким энергетическим разрешением и низким порогом регистрации. Например, жидкий сцинтиллятор ≈ 200 кэВ



Источники нейтрино и антинейтрино



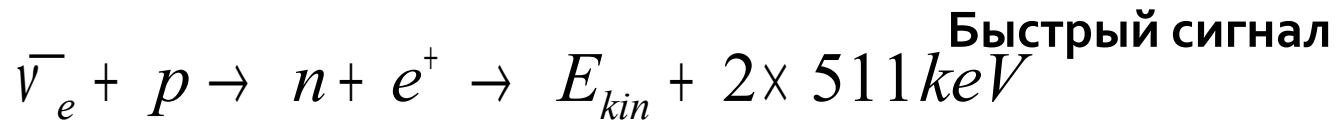
Процесс e-захват; спектр нейтрино моноэнергетический $E=0.747$ МэВ; необходимая активность 10 МКи; активность на начало эксперимента 8 МКи



Процесс β -распад; непрерывный спектр антинейтрино $E=2.997$ МэВ; период для системы $T_{1/2} = 284.9$ дн; необходимая активность 0.12 МКи

Каналы регистрации

Антинейтрино → обратный β-распад



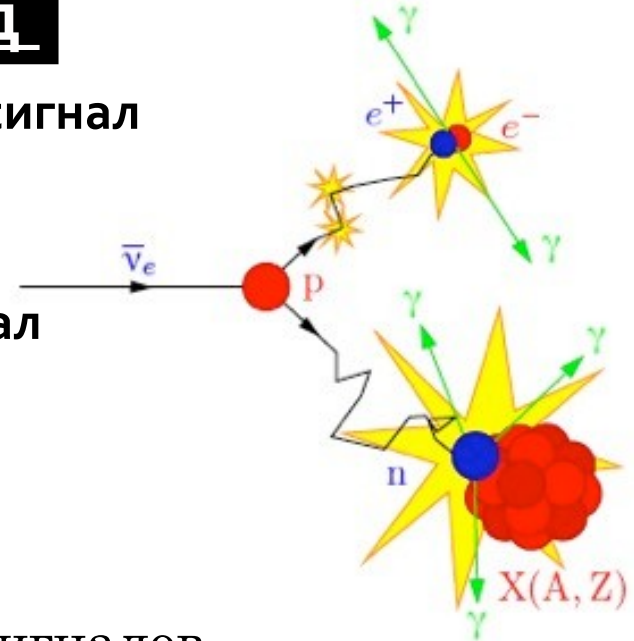
$$\downarrow t \approx 250 \mu s$$



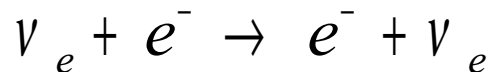
- Сечение данной реакции

$$\sigma = 9.5 \times (E_\nu [MeV] - 1.29)^2 \times 10^{-44} \text{ cm}^2$$

- Энергетический порог 1.8 МэВ
- Пространственное и временное разделение сигналов



Нейтрино → упругое рассеяние на электронах



сечение реакции

$$\sigma = 0.7 \times E_\nu [MeV] \times 10^{-44} \text{ cm}^2$$

Детекторы

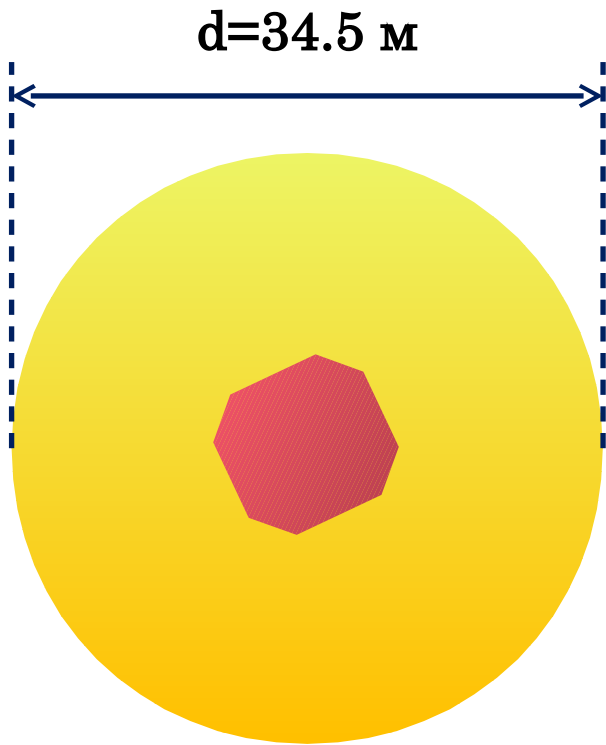
JUNO

Map 80



Конфигурация эксперимента

ЮНО

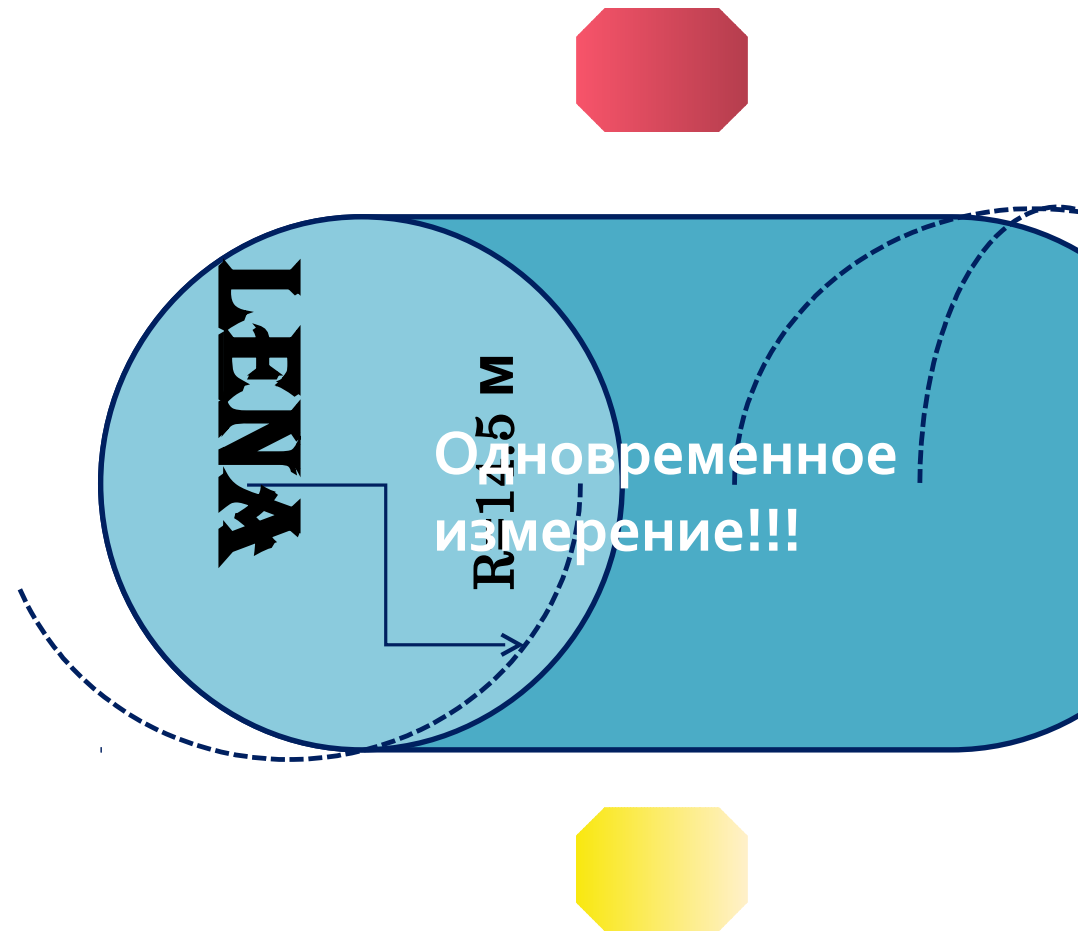


Время эксперимента

$^{144}\text{Ce}-^{144}\text{Pr}$ – 300

дней

^{51}Cr – 55 дней



Формализм

$$\frac{\left(\Delta m_{41}^2\right)_N \pm \sigma_N}{\left(\Delta m_{41}^2\right)_A \pm \sigma_A} = 1 \pm \sigma$$

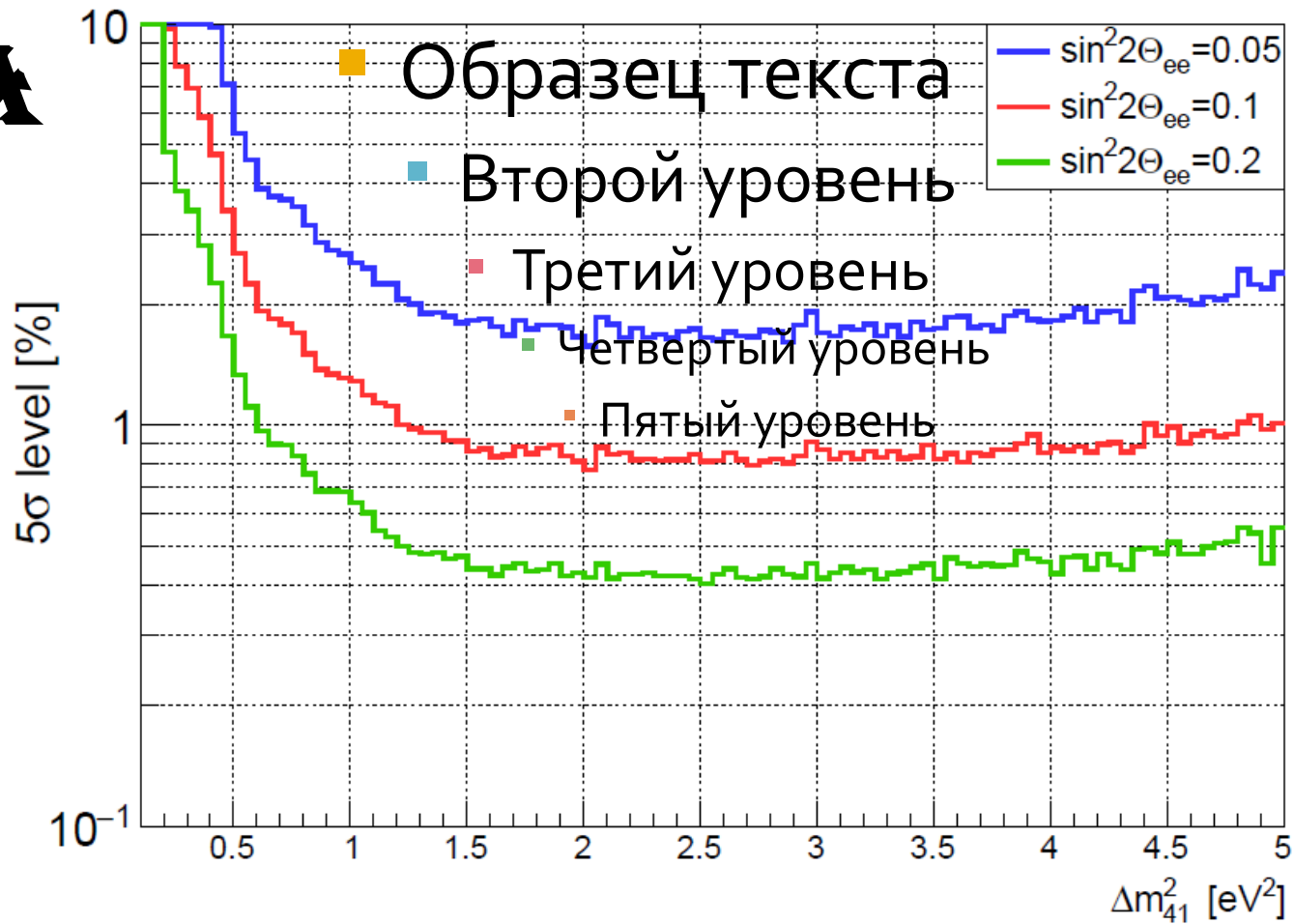
Относительная ошибка
частного

$$\sigma \leq \frac{\sigma_N}{\left(\Delta m_{41}^2\right)_N} + \frac{\sigma_A}{\left(\Delta m_{41}^2\right)_A}$$

Этапы моделирования

- Воссоздание реального нейтринного и антинейтринного спектров с использованием метода Монте-Карло
- Учёт возможных погрешностей эксперимента
- Использование реальных характеристик детекторов JUNO и LENA
- Учёт влияния фона на результат
- Извлечение осцилляционных параметров путём минимизации χ^2

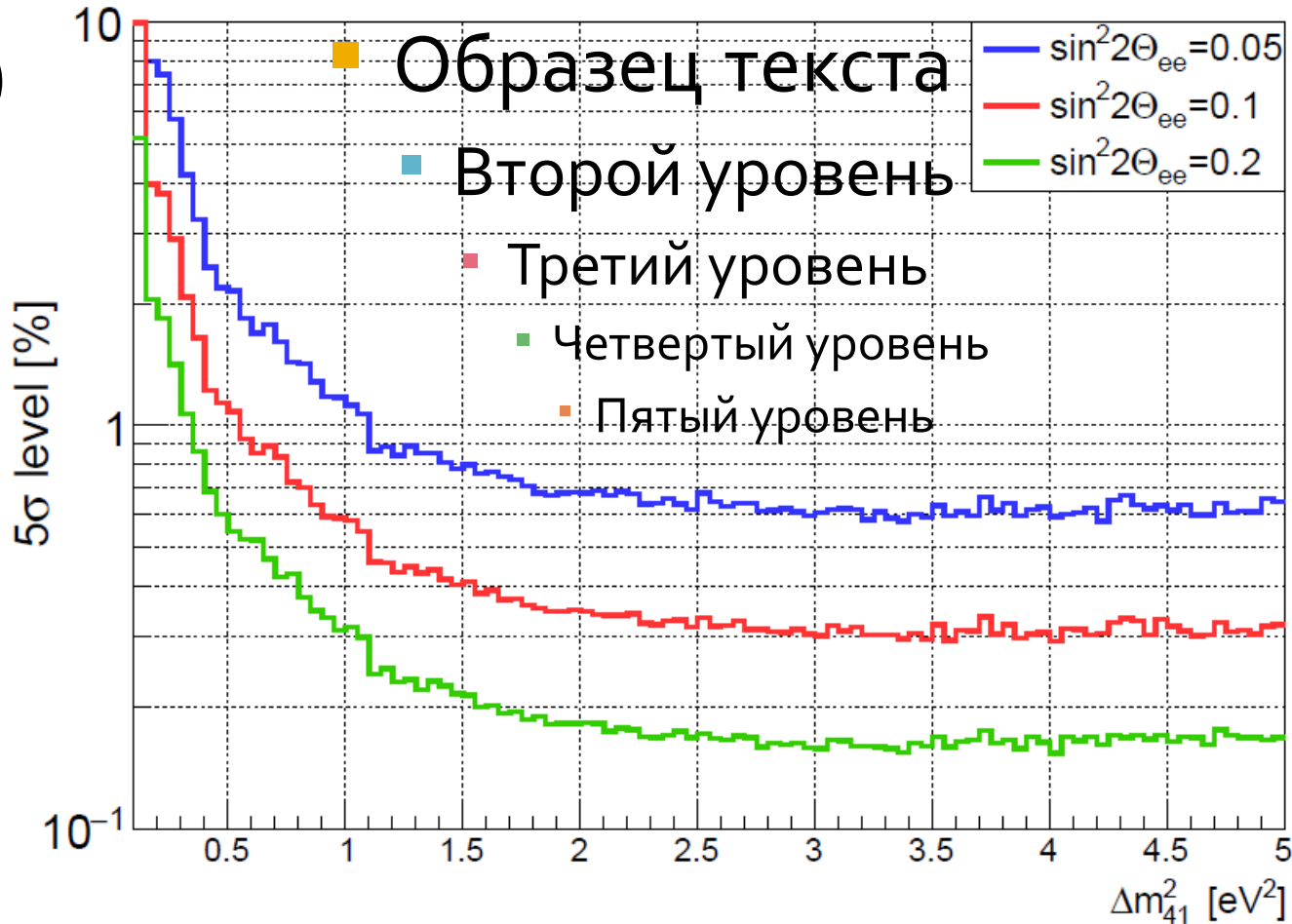
Результаты моделирования



Чувствительность детектора LENA к регистрации СРТ нарушения на уровне 5 σ

Результаты моделирования

JUNO



Чувствительность детектора JUNO к регистрации СРТ нарушения на уровне 5 σ

Выводы

Данный эксперимент позволит:

- Проверить CPT инвариантность прямым методом с точностью несколько десятых процента в слабом канале с использованием нейтрино
- Исследовать область существования стерильных нейтрино
- Определить осцилляционные параметры (разность квадратов масс и угол смешивания) для стерильных нейтрино с высокой точностью

Авторы

- Смирнов М.В., Новиков Ю.Н.
(СПбГУ, ПИЯФ)



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!!!**

- Wurm M.
(University Mainz)



JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ