

Рассмотрение гипотетического ускорительного нейтринного эксперимента с длинной базой Дубна - Байкал

Ф. И. Байков

Физический факультет
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Кафедра физики элементарных частиц
Группа 409

Научный руководитель: Л.Д. Колупаева

E-mail: baikov.fi22@physics.msu.ru

Курсовая работа, 2026

- Физика нейтринных осцилляций - одно из самых динамичных направлений современной физики частиц.
- Одной из важнейших целей экспериментов по нейтринным осцилляциям является уточнение параметров осцилляций $\sin^2(\theta_{23})$, Δm_{31}^2 и δ_{CP} и определение иерархии масс.
- Мировой опыт: *T2K* (Япония) и *NOvA* (США).

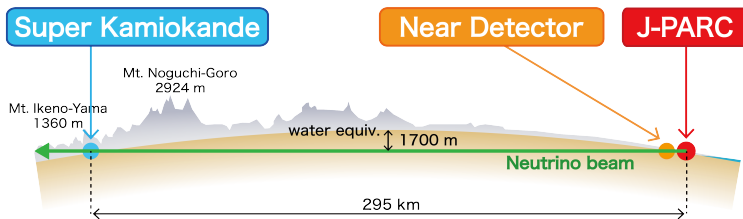


Рис. 1: Схема эксперимента T2K

Актуальность и Цель работы

Актуальность:

В России на данный момент отсутствуют действующие ускорительные эксперименты.

Цель работы:

Оценка чувствительности и рассмотрение гипотетического эксперимента с базой **Дубна (ОИЯИ) - Байкал (Baikal-GVD)**.

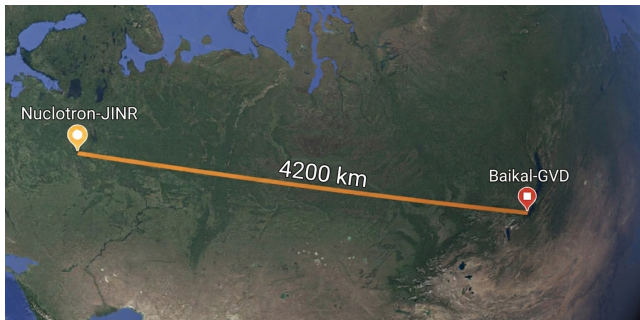


Рис. 2: База гипотетического эксперимента

Характеристики источника

- **Ускоритель:** Нуклотрон (ОИЯИ).
- **Энергия протонов:** до 12 ГэВ.
- **Опорный спектр:** Используются параметры эксперимента *K2K*, имеющего схожий энергетический диапазон.

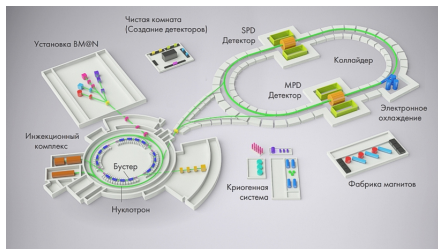


Рис. 3: Схема ускорительного комплекса NICA

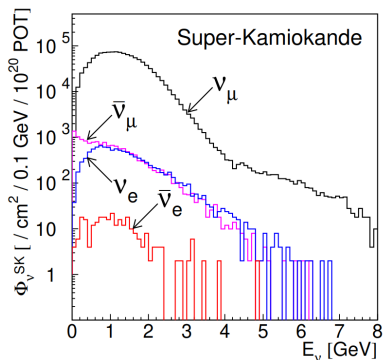


Рис. 4: Поток дальнего детектора K2K

- **Текущий статус:** Подводная система ФЭУ для регистрации астрофизических нейтрино высоких энергий.
- **Модификация детектора:**
 - 1 Уменьшение расстояния между гирляндами (аналог *IceCube*, *DeepCore*, *ORCA*).
 - 2 Снижение порога детектирования.
 - 3 Использование дополнительного подземного детектора.

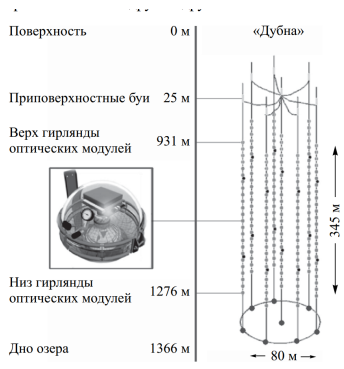


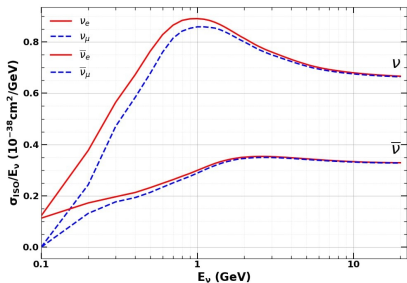
Рис. 5: Схема кластера Baikal-GVD

Сечения взаимодействия и реакции в детекторе

Основные реакции:

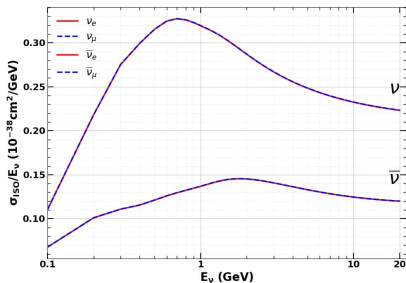
Квазиупругое рассеяние на нуклонах, рождение резонансов, упругое рассеяние на электронах и нуклонах.

Сечения получены при помощи GENIE v3, рабочее вещество детектора - H₂O.



Сечения для заряженных токов

(CC)



Сечения для нейтральных токов

(NC)

Результаты моделирования: Количество событий

Моделирование проведено для эффективного объёма детектора $V = 1750000 m^3$ с учётом сближения струн. Рассчёт произведён в соответствии с формулой (1).

$$\frac{dN}{dE} = \Phi(E) \times \sigma(E) \times N_{nucl} \times P_{osc}(E) \quad (1)$$

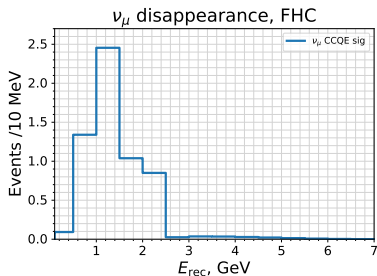


Рис. 6: Спектр выживания ν_μ , количество событий в год - 5.95

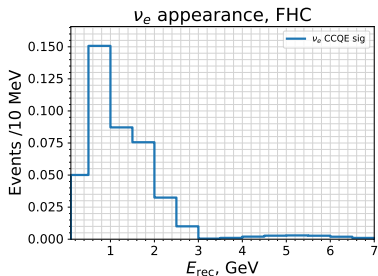


Рис. 7: Спектр появления ν_e , количество событий в год - 0.42

- По результатам моделирования эксперимент имеет низкую чувствительность к параметрам осцилляций при данной конфигурации.

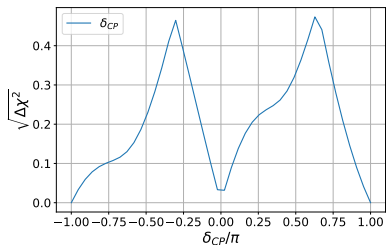


Рис. 8: Чувствительность к нарушению CP-симметрии

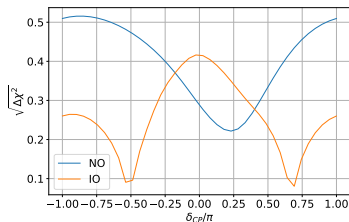
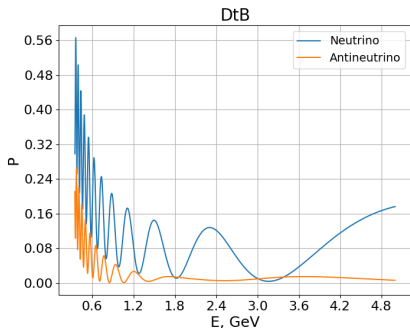


Рис. 9: Чувствительность к порядку масс

Основная проблема:

Получено маленькое количество событий. Низкая чувствительность для ключевых параметров осцилляций.



$$\frac{\Phi_{DtB}}{\Phi_{K2K}} = \frac{L_{DtB}^2}{L_{K2K}^2} \approx 282$$

Отношение потоков в DtB и K2K в связи с геометрическим расхождением пучка

Зависимость вероятности осцилляций

нейтрино $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$

Рассмотрение других конфигураций эксперимента

Выбор оптимальной энергии для эксперимента

Была построена зависимость осцилляций нейтрино от энергии $P_{\nu_\mu \rightarrow \nu_e}$.

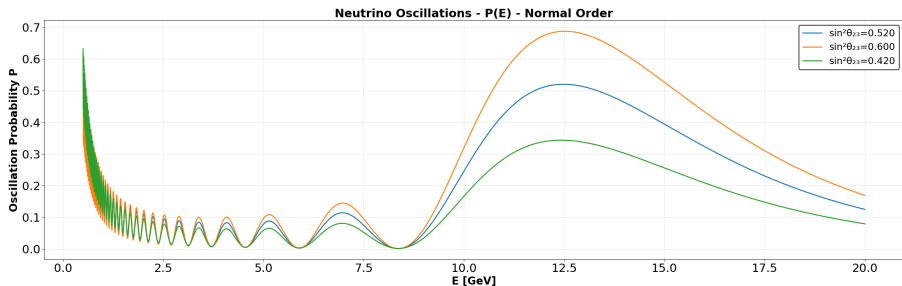


Рис. 10: Зависимость вероятности осцилляций от энергии нейтрино с базой 4200 км

Выбор оптимальной базы для эксперимента

Была построена зависимость осцилляций нейтрино от энергии $P_{\nu_\mu \rightarrow \nu_e}$ для базы 125 км.

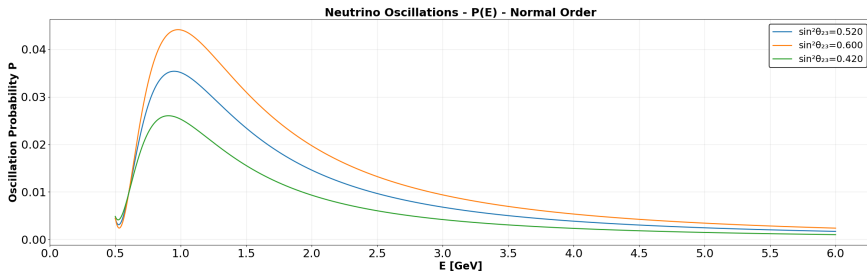


Рис. 11: Зависимость вероятности осцилляций нейтрино для базы 125км

Основная проблема

Количество событий (< 6 в год) недостаточно для получения статистически значимых данных. Низкая чувствительность для ключевых параметров осцилляций.

Основные результаты

- Впервые проведено моделирование гипотетического эксперимента с длинной базой Дубна - Байкал.
- Показано, что для успешной реализации эксперимента необходимо: или использовать меньшую базу или существенно увеличить энергию нейтрино (10-15 ГэВ) путём модернизации ускорителя.

Спасибо за внимание!