

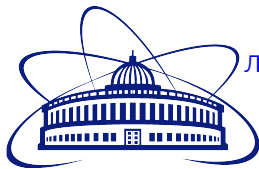
Расчёт точности определения параметров осцилляций нейтрино в ускорительных нейтринных экспериментах с длинной базой

Выполнила студентка 2-го курса магистратуры: А. В. Степанова

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук А. Г. Ольшевский
Научный консультат: кандидат физ.-мат. наук Л. Д. Колупаева

Кафедра физики элементарных частиц,
физический факультет, МГУ.

Лаборатория ядерных проблем, ОИЯИ



26 мая 2023



Смешивание нейтрино:

$$\nu_\alpha = \sum_{i=1}^3 U_{\text{PMNS},\alpha,i}^* \cdot \nu_i,$$

$\alpha = e, \mu, \tau$

- ν_α – флейворные с.с.
- ν_i – массовые с.с.

Матрица смешивания:

$$U_{\text{PMNS}} \sim \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}, \delta_{\text{CP}}$$

Осцилляции нейтрино в веществе

Смешивание нейтрино:

$$\nu_\alpha = \sum_{i=1}^3 U_{\text{PMNS},\alpha,i}^* \cdot \nu_i,$$

$\alpha = e, \mu, \tau$

- ν_α – флейворные с.с.
- ν_i – массовые с.с.

Матрица смешивания:

$$U_{\text{PMNS}} \sim \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}, \delta_{\text{CP}}$$

Вероятность осцилляций зависит от:

- параметров матрицы U_{PMNS}
- расщепления масс: Δm_{21}^2 ,
 $\Delta m_{32}^2 / \Delta m_{31}^2$ (НИ/ОИ)
- иерархии масс нейтрино: **знак Δm_{32}^2**
- плотности вещества ρ
- отношения длины базы осцилляций
и энергии нейтрино $\frac{L}{E}$

Осцилляции нейтрино в веществе

Смешивание нейтрино:

$$\nu_\alpha = \sum_{i=1}^3 U_{\text{PMNS},\alpha,i}^* \nu_i,$$

$\alpha = e, \mu, \tau$

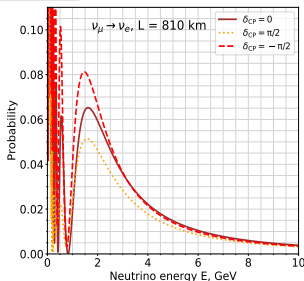
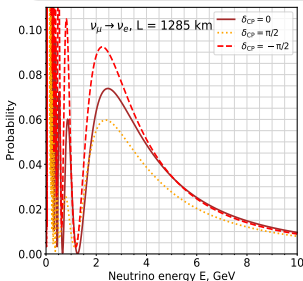
- ν_α – флейворные с.с.
- ν_i – массовые с.с.

Матрица смешивания:

$$U_{\text{PMNS}} \sim \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}, \delta_{\text{CP}}$$

Вероятность осцилляций зависит от:

- параметров матрицы U_{PMNS}
- расщепления масс: Δm_{21}^2 , $\Delta m_{32}^2 / \Delta m_{31}^2$ (НИ/ОИ)
- иерархии масс нейтрино: **знак Δm_{32}^2**
- плотности вещества ρ
- отношения длины базы осцилляций и энергии нейтрино $\frac{L}{E}$



Осцилляции нейтрино в веществе

Смешивание нейтрино:

$$\nu_\alpha = \sum_{i=1}^3 U_{\text{PMNS},\alpha,i}^* \nu_i,$$

$\alpha = e, \mu, \tau$

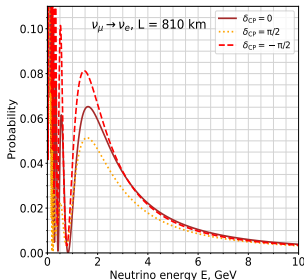
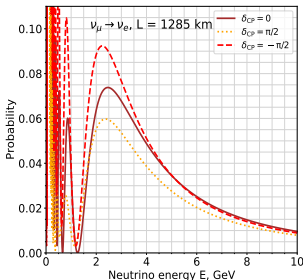
- ν_α – флейворные с.с.
- ν_i – массовые с.с.

Матрица смешивания:

$$U_{\text{PMNS}} \sim \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}, \delta_{\text{CP}}$$

Вероятность осцилляций зависит от:

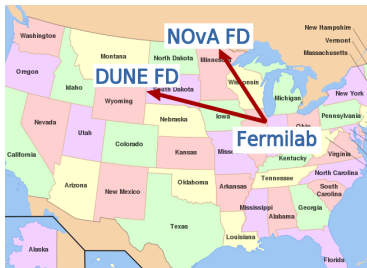
- параметров матрицы U_{PMNS}
- расщепления масс: Δm_{21}^2 , $\Delta m_{32}^2 / \Delta m_{31}^2$ (НИ/ОИ)
- иерархии масс нейтрино: **знак Δm_{32}^2**
- плотности вещества ρ
- отношения длины базы осцилляций и энергии нейтрино $\frac{L}{E}$



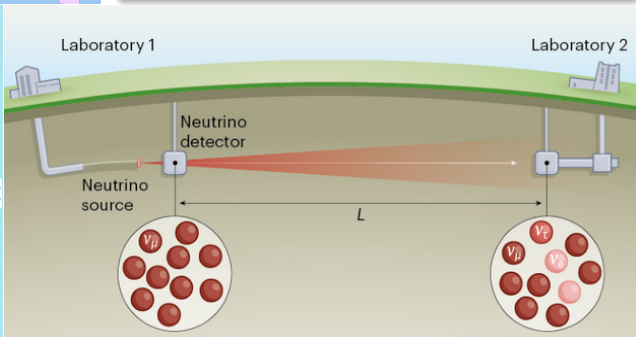
Источники нейтрино (для изучения осцилляций):

- атмосферные
- **ускорительные**
- реакторные
- солнечные

Ускорительные нейтринные эксперименты с длинной базой (LBL)

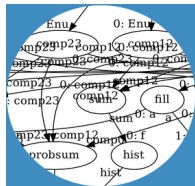


Эксп.	T2K	NOvA	DUNE
запуск	2010	2014	≈2030
источ. р	J-PARC	лаб. им. Э.Ферми	
FD	VC	жид.сцин.	LArTPC
L, км	295	810	1285
M_{FD}^{DOV} , кТ	22.5	14	40
E, ГэВ	0 – 3	0.5 – 5	0.5 – 8



Часть 1: Работа с программным обеспечением GNA в группе ЛЯП

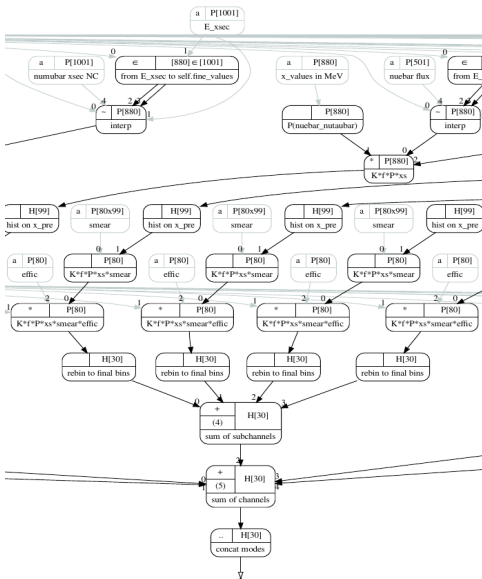
Задача: разработать универсальную оболочку для моделирования LBL экспериментов и оценить их совместную чувствительность к неизвестным параметрам осцилляций



Часть 2: Работа в группе «ndoffaxis» коллаборации DUNE

Задача: исследовать возможность предсказания фона «неправильного» знака лептонного заряда в моде исчезновения мюонных антинейтрино с помощью метода DUNE-PRISM





Задачи:

- модели экспериментов: T2K, NOvA, DUNE
- их чувствительность к неизвестным параметрам
- совместные оценки

Global Neutrino Analysis – платформа для проведения анализа данных нейтрино. Имеет:

- * функции-преобразования для осуществления расчетов, реализованные на C++, ROOT CERN и Python
- * блочная структура, отслеживаемая через граф
- * функции для проведения статистического анализа

Конфигурац. файл:

- потоки, сечения, эффективности
- различие между E_{true} и E_{recon} .
- моды с каналами
- энергет. диапазон
- пар.-ры осцилляций
- пар.-ры эксперимента

MODES:

```
fhc_app_nue:
Signal: nue
FhcRhc: fhc
AppDis: app
CH:
  bkg_beam:
    - channel_type: beam
      initial_flavor: nue
      final_flavor: nue
      xsec_type: CC
```

Конфигурац. файл:

- потоки, сечения, эффективности
- различие между E_{true} и E_{recon} .
- моды с каналами
- энергет. диапазон
- пар.-ры осцилляций
- пар.-ры эксперимента

В универсальную оболочку подаётся конфигурац. файл, затем рассчитываются:

- числа событий N в каналах и модах
- значения χ^2 , основанные на рассчитанных N и данных
- чувствительность отдельного эксперимента
- совместная чувствительность

MODES:

```
fhc_app_nue:
Signal: nue
FhcRhc: fhc
AppDis: app
CH:
  bkg_beam:
    - channel_type: beam
      initial_flavor: nue
      final_flavor: nue
      xsec_type: CC
```

Конфигурац. файл:

- потоки, сечения, эффективности
- различие между E_{true} и E_{recon} .
- моды с каналами
- энергет. диапазон
- пар.-ры осцилляций
- пар.-ры эксперимента

MODES:

```
fhc_app_nue:
Signal: nue
FhcRhc: fhc
AppDis: app
CH:
  bkg_beam:
    - channel_type: beam
      initial_flavor: nue
      final_flavor: nue
      xsec_type: CC
```

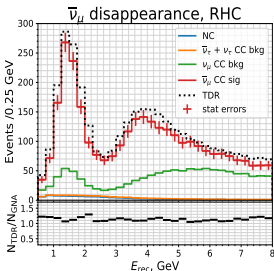
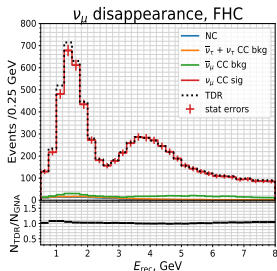
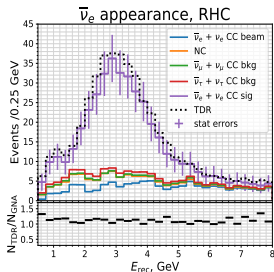
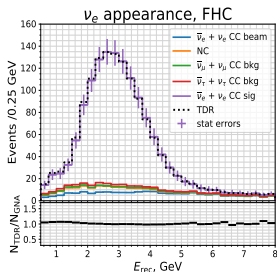
В универсальную оболочку подаётся конфигурац. файл, затем рассчитываются:

- числа событий N в каналах и модах
- значения χ^2 , основанные на рассчитанных N и данных
- чувствительность отдельного эксперимента
- совместная чувствительность

$$N_j^m = \sum_{i=0}^D N_{j,m}^i, \quad N_j^i = K \cdot f(E_{\text{true}})_j \cdot P(E_{\text{true}})(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta)_j \cdot \sigma(E_{\text{true}})_j \cdot \sum_{k=0}^n R(E_{\text{true}}, E_{\text{rec.}})_{jk} \cdot \varepsilon(E_{\text{rec.}})_k \cdot \Delta E_{\text{rec.}, j}$$

$$\chi^2 = -2 \sum_{m=0}^M \sum_{j=0}^B (N_{j,m}^{\text{data}} \ln N_{j,m}^{\text{mod.}} - N_{j,m}^{\text{mod.}} - N_{j,m}^{\text{data}} \ln N_{j,m}^{\text{data}} + N_{j,m}^{\text{data}}) + \frac{(x - \mu)^2}{\sigma^2}$$

Энергет. спектры (числа событий vs $E_{recon.}$) в FD DUNE в GNA



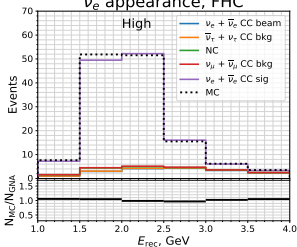
- FHC (forward horn current) / RHC (reverse horn current) с равным временем работы
- 7 лет в соответствии с поэтапным планом:

план	кТ	МВт
1 год	20	1.2
2 года	30	1.2
3 года	30	1.2
4 года	40	1.2
7 лет	40	2.4
10 лет	40	2.4

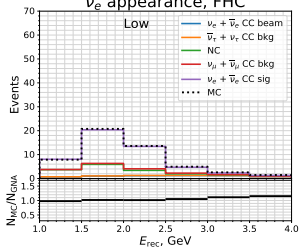
- 4 моды:
 - $\nu_e/\bar{\nu}_e$ появление
 - $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ исчезновение
- MC данные из: TDR DUNE

Энергет. спектры (числа событий vs $E_{recon.}$) в FD NOvA в GNA

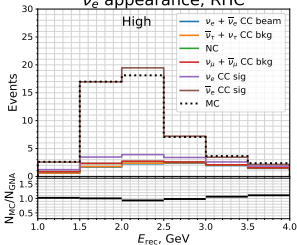
ν_e appearance, FHC



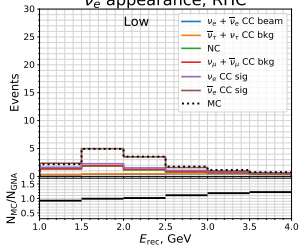
ν_e appearance, FHC



$\bar{\nu}_e$ appearance, RHC

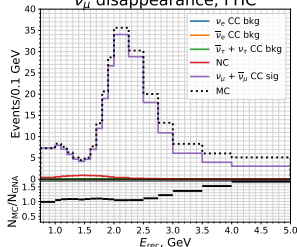


$\bar{\nu}_e$ appearance, RHC

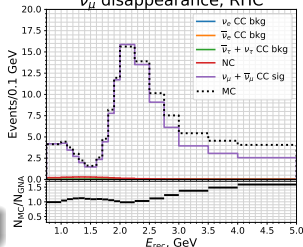


Высокие/низкие знач. PID

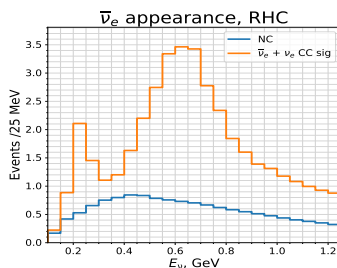
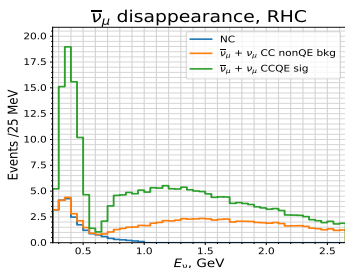
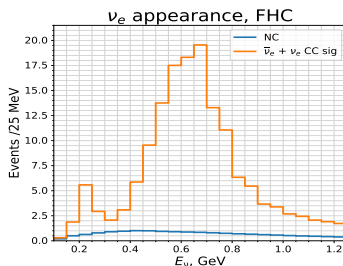
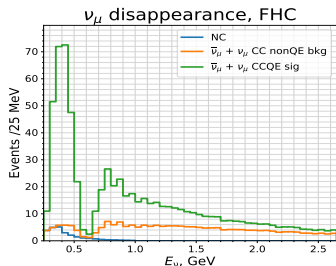
ν_μ disappearance, FHC



$\bar{\nu}_\mu$ disappearance, RHC

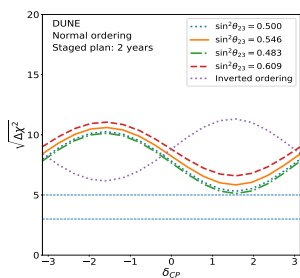
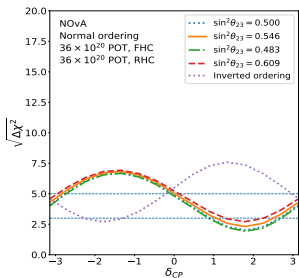
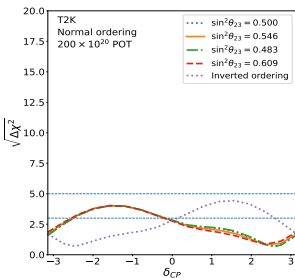


36×10^{20} POT (protons on target) в каждом режиме



• 200×10^{20} POT (FHC+RHC): $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ исчезновение / $\nu_e/\bar{\nu}_e$ появление

Чувствительность T2K, NOvA, DUNE к иерархии масс нейтрино

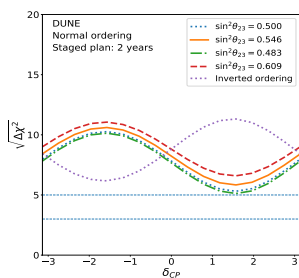
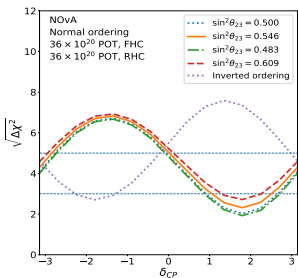
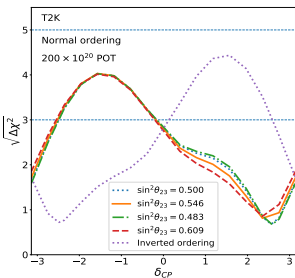


$$\sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\chi_{IO}^2 - \chi_{NO}^2} \text{ (NO)} \quad \text{или} \quad \sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\chi_{NO}^2 - \chi_{IO}^2} \text{ (IO)}$$

- различные значения $\sin^2 \theta_{23}$ около наилучшего знач. из NuFIT 4.0
- две иерархии
- δ_{CP} в полном диапазоне $[-\pi, \pi]$

- DUNE vs (NOvA, T2K): уже через 2 года работы DUNE сможет определить иерархию масс нейтрино на уровне значимости 5σ
- NOvA vs T2K: из-за бóльшей базы осцилляций (810 км vs 295 км) NOvA более чувствительна к иерархии масс нейтрино

Чувствительность T2K, NOvA, DUNE к иерархии масс нейтрино

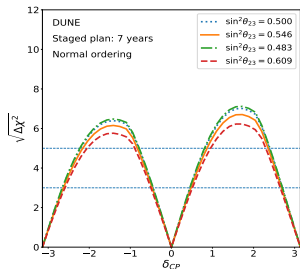
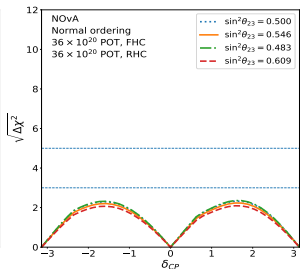
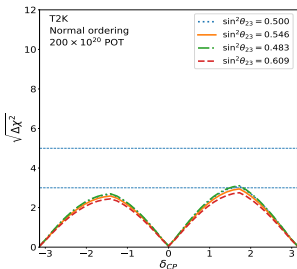


$$\sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\chi_{IO}^2 - \chi_{NO}^2} \text{ (NO)} \quad \text{или} \quad \sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\chi_{NO}^2 - \chi_{IO}^2} \text{ (IO)}$$

- различные значения $\sin^2 \theta_{23}$ около наилучшего знач. из NuFIT 4.0
- две иерархии
- δ_{CP} в полном диапазоне $[-\pi, \pi]$

- DUNE vs (NOvA, T2K): уже через 2 года работы DUNE сможет определить иерархию масс нейтрино на уровне значимости 5σ
- NOvA vs T2K: из-за бóльшей базы осцилляций (810 км vs 295 км) NOvA более чувствительна к иерархии масс нейтрино

Чувствительность T2K, NOvA, DUNE к фазе δ_{CP}

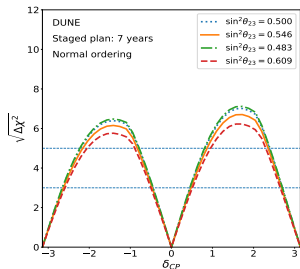
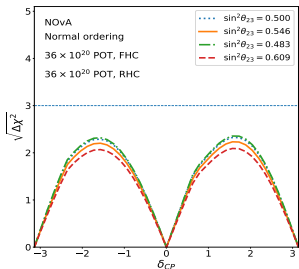
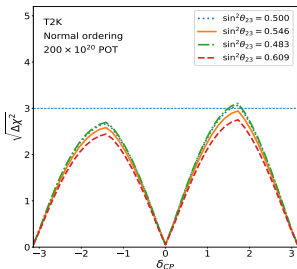


$$\sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\min \chi_{\delta_{CP}=0, \pm\pi}^2 - \chi_{\delta_{CP}}^2} \text{ (NO)} \Rightarrow \sqrt{\Delta\chi^2} = 0 \text{ в } \delta_{CP} = 0, \pm\pi$$

- различные значения $\sin^2 \theta_{23}$ около наилучшего знач. из NuFIT 4.0
- прямая иерархия
- δ_{CP} в полном диапазоне $[-\pi, \pi]$

- DUNE vs (NOvA, T2K): чувствительность DUNE превысит 3σ для значительного диапазона значений δ_{CP} через 7 лет работы
- NOvA vs T2K: из-за меньшей длины базы осцилляций T2K более чувствителен, чем NOvA, к фазе сохранения или нарушения комбинированной чётности δ_{CP}

Чувствительность T2K, NOvA, DUNE к фазе δ_{CP}

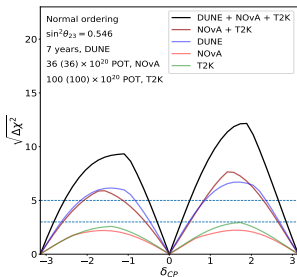
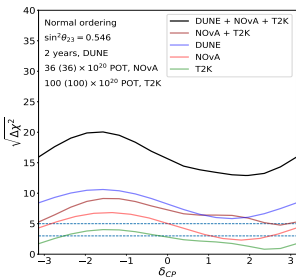


$$\sqrt{\Delta\chi^2} = \sqrt{\min \chi_{\delta_{CP}=0, \pm\pi}^2 - \chi_{\delta_{CP}}^2} \text{ (NO)} \Rightarrow \sqrt{\Delta\chi^2} = 0 \text{ в } \delta_{CP} = 0, \pm\pi$$

- различные значения $\sin^2 \theta_{23}$ около наилучшего знач. из NuFIT 4.0
- прямая иерархия
- δ_{CP} в полном диапазоне $[-\pi, \pi]$

- DUNE vs (NOvA, T2K): чувствительность DUNE превысит 3σ для значительного диапазона значений δ_{CP} через 7 лет работы
- NOvA vs T2K: из-за меньшей длины базы осцилляций T2K более чувствителен, чем NOvA, к фазе сохранения или нарушения комбинированной чётности δ_{CP}

Совместные чувствительности T2K, NOvA и DUNE к неизвестным параметрам осцилляций



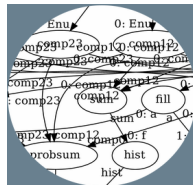
- Ожидается, что NOvA+T2K дадут первое предсказание на иерархию масс нейтрино и на фазу δ_{CP} для некоторых значений δ_{CP} на уровне значимости $> 5\sigma$

- совместная чувствительность T2K+NOvA+DUNE к иерархии масс нейтрино и фазе комбинированной чётности δ_{CP} :

Sensitivity	min($n\sigma$)	range of δ_{CP} values $> 5\sigma$
Joint	12.9	$[-2.51, -0.63] \cup [0.63, 2.51]$ (60%)

Часть 1: Работа с программным обеспечением GNA в группе ЛЯП

Задача: разработать универсальную оболочку для моделирования LBL экспериментов и оценить их совместную чувствительность к неизвестным параметрам осцилляций



Часть 2: Работа в группе «ndoffaxis» коллаборации DUNE

Задача: исследовать возможность предсказания фона «неправильного» знака лептонного заряда в моде исчезновения мюонных антинейтрино с помощью метода DUNE-PRISM



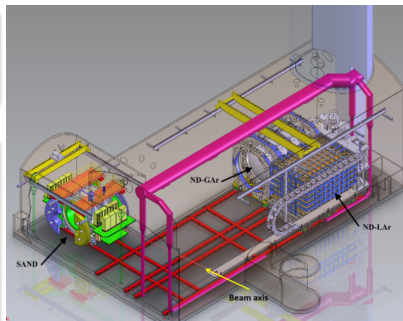
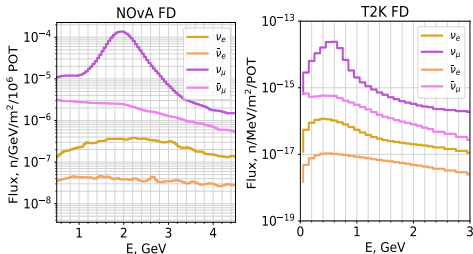
Особенность DUNE относительно NOvA и T2K

ND в LBL экспериментах нужен, чтобы контролировать систематические неопределенности

- NOvA (NuMI Off-Axis ν_e Appearance): 0.84° от оси \rightarrow пик: 1.9 ГэВ
- T2K: 2.5° от оси \rightarrow пик: 600 МэВ



Прямая экстраполяция данных из ближнего в дальний детектор

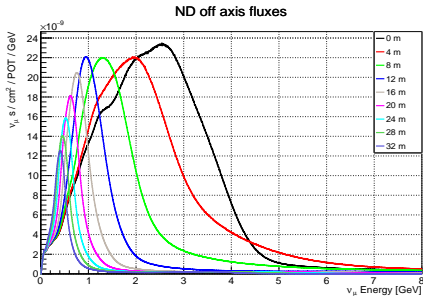
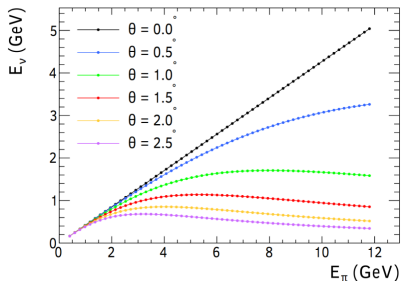


- DUNE: перемещаемые части ближнего детектора (NDLAr, TMS/NDGAr)



Экстраполяция с использованием технологии DUNE-PRISM

Отсутствие точной модели нейтринных взаимодействий



$$E_{\nu_\mu}^{rec} = E_\mu^{true} + E_p^{dep} + E_{\pi^\pm}^{dep} + E_{\pi^0}^{dep} + E_{other}^{dep} + \varepsilon,$$

Проблемы: недостающая энергия (ε)
неверно идентифицированные частицы

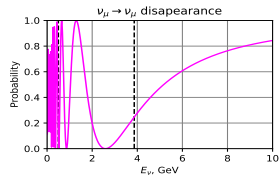
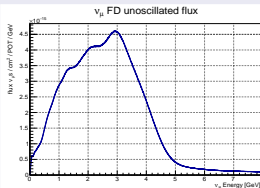
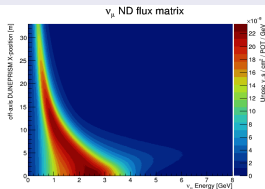
- разделение неопределенностей:
потоков и сечений взаимодействия

**решение проблемы отсутствия точной модели
нейтринных взаимодействий**

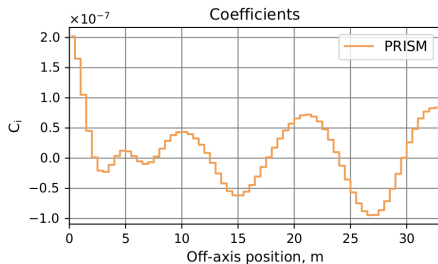
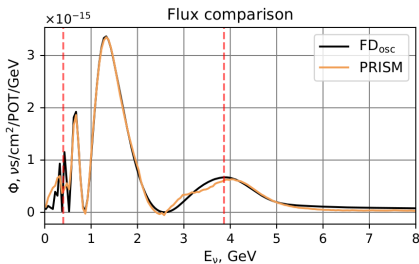
DUNE-PRISM:

- **P**recision
- **R**eaction-
- **I**ndependent
- **S**pectrum
- **M**easurement

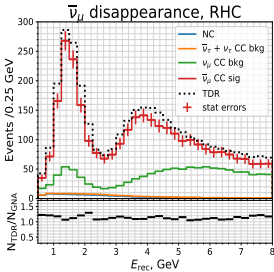
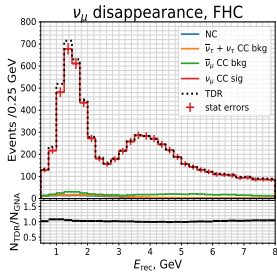
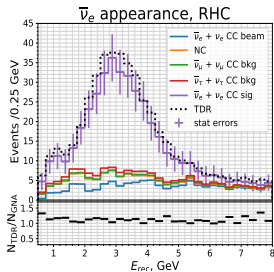
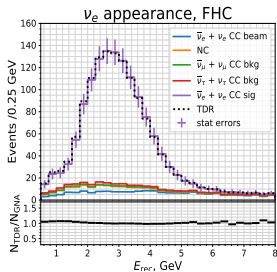
Решение некорректно поставленной задачи с доп. условием – регуляризация Тихонова



$$N \times \vec{C} = \vec{F} \Rightarrow \text{Наилуч. реш.: } \vec{C} = [N^T P N + (\lambda A)^T (\lambda A)]^{-1} N^T P \vec{F}, \lambda \approx 10^{-9}$$



Новый подход к стандартному методу DUNE-PRISM



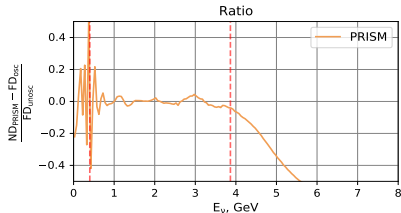
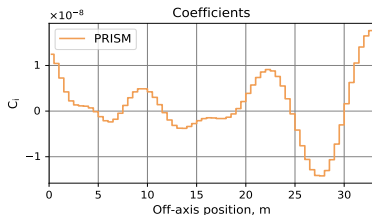
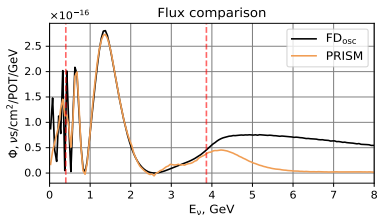
Задача:

исследовать возможность предсказания фона «неправильного» знака лептонного заряда в моде исчезновения мюонных антинейтрино с помощью метода DUNE-PRISM

- ND – режим FHC
- FD – режим RHC

Энергет. спектры в FD DUNE в GNA

- Модифицирован код, разработанный в группе: github.com/DanielMDouglas/prism_fitting
- Соответствие линейной комбинации ν_μ ND потоков в режиме нейтрино для предсказания осцилляции. ν_μ FD потока в режиме антинейтрино



Target: ν_μ RHC

$$\lambda = 4 \times 10^{-9}$$

Как предсказать FD спектры методом DUNE-PRISM?

Для любой моды с МК фоном:

- вычистить ND фон: каналы NC, «неправильный» аромат / знак лептонного заряда

- сделать процедуру линейной комбинации
- учесть отношение $M_{FD}^{DOV} / M_{ND}^{DOV}$

$$N_{FDP}(H_{OA}, E_{rec}) =$$

$$= M_{NF} \sum_i c_i(H_{OA}) [N_{ND,i}(E_{rec}) - B_{ND,i}(E_{rec})] + B_{FD}(E_{rec}) + F(E_{rec}),$$

$$F(E_{rec}) = \sum_k \Delta\Phi(E_\nu) P_{osc}(H_{OA}, E_\nu, k) Y(E_{rec})$$

- добавить FD фон, который не может быть предсказан с помощью DUNE-PRISM

- выполнить поправку линейной комбинации ND потоков и FD потока

Для моды исчезновения мюонных антинейтрино: $N_{FDP}^{signal} + N_{FDP}^{WSB} - B_{FD}^{WSB}$

Как предсказать FD спектры методом DUNE-PRISM?

Для любой моды с МК фоном:

- вычесть ND фон: каналы NC, «неправильный» аромат / знак лептонного заряда

- сделать процедуру линейной комбинации
- учесть отношение $M_{FD}^{DOV.} / M_{ND}^{DOV.}$

$$N_{FDP}(H_{OA}, E_{rec}) =$$

$$= M_{NF} \sum_i c_i(H_{OA}) [N_{ND,i}(E_{rec}) - B_{ND,i}(E_{rec})] + B_{FD}(E_{rec}) + F(E_{rec}),$$

$$F(E_{rec}) = \sum_k \Delta\Phi(E_\nu) P_{osc}(H_{OA}, E_\nu, k) Y(E_{rec})$$

- добавить FD фон, который не может быть предсказан с помощью DUNE-PRISM

- выполнить поправку линейной комбинации ND потоков и FD потока

Для моды исчезновения мюонных антинейтрино: $N_{FDP}^{signal} + N_{FDP}^{WSB} - B_{FD}^{WSB}$

Как предсказать FD спектры методом DUNE-PRISM?

Для любой моды с МК фоном:

- вычесть ND фон: каналы NC, «неправильный» аромат / знак лептонного заряда

- сделать процедуру линейной комбинации
- учесть отношение $M_{FD}^{DOV.} / M_{ND}^{DOV.}$

$$N_{FDP}(H_{OA}, E_{rec}) =$$

$$= M_{NF} \sum_i c_i(H_{OA}) [N_{ND,i}(E_{rec}) - B_{ND,i}(E_{rec})] + B_{FD}(E_{rec}) + F(E_{rec}),$$

$$F(E_{rec}) = \sum_k \Delta\Phi(E_\nu) P_{osc}(H_{OA}, E_\nu, k) Y(E_{rec})$$

- добавить FD фон, который не может быть предсказан с помощью DUNE-PRISM

- выполнить поправку линейной комбинации ND потоков и FD потока

Для моды исчезновения мюонных антинейтрино: $N_{FDP}^{signal} + N_{FDP}^{WSB} - B_{FD}^{WSB}$

Как предсказать FD спектры методом DUNE-PRISM?

Для любой моды с МК фоном:

- вычесть ND фон: каналы NC, «неправильный» аромат / знак лептонного заряда

- сделать процедуру линейной комбинации
- учесть отношение $M_{FD}^{DOV.} / M_{ND}^{DOV.}$

$$N_{FDP}(H_{OA}, E_{rec}) =$$

$$= M_{NF} \sum_i c_i(H_{OA}) [N_{ND,i}(E_{rec}) - B_{ND,i}(E_{rec})] + B_{FD}(E_{rec}) + F(E_{rec}),$$

$$F(E_{rec}) = \sum_k \Delta\Phi(E_\nu) P_{osc}(H_{OA}, E_\nu, k) Y(E_{rec})$$

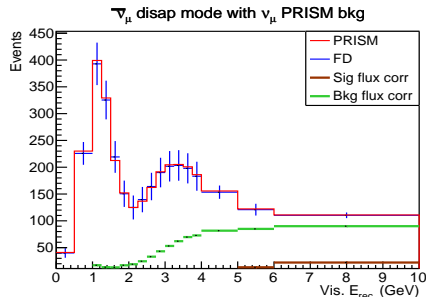
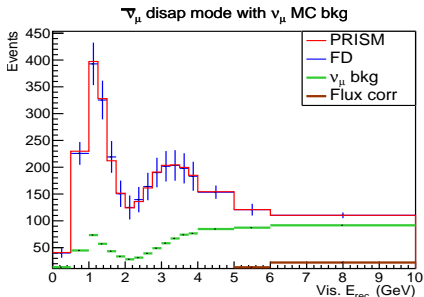
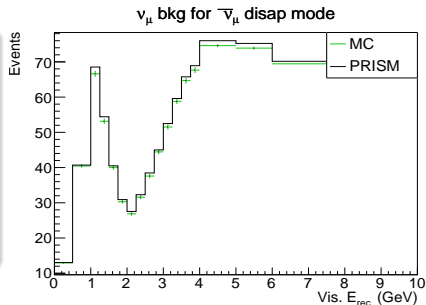
- добавить FD фон, который не может быть предсказан с помощью DUNE-PRISM

- выполнить поправку линейной комбинации ND потоков и FD потока

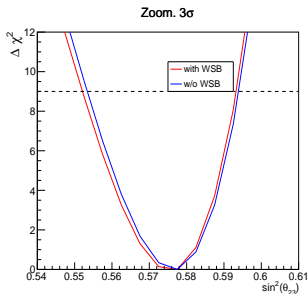
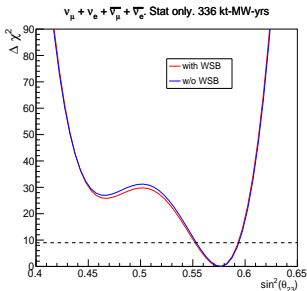
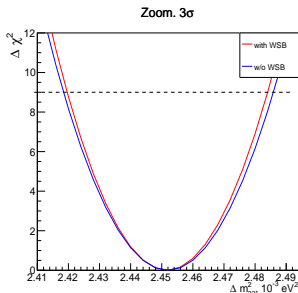
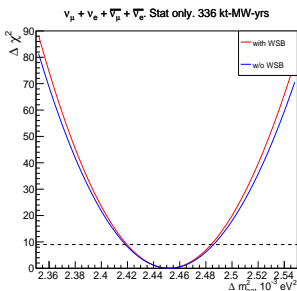
Для моды исчезновения мюонных антинейтрино: $N_{FDP}^{signal} + N_{FDP}^{WSB} - B_{FD}^{WSB}$

Числа событий с DUNE-PRISM для фона моды $\bar{\nu}_\mu$ исчезновения

- Модифицирован код анализа данных DUNE – CAFAna PRISM Tools:
github.com/DUNE/lblpwgtools/tree/master/CAFAAna/PRISM
- Экспозиция:
100 кТ-МВт-год \leftrightarrow 3 года (1:1)



Влияние фона на точность определения параметров осцилляций



- экспозиция:
3 года
 - данные
Азимова
 - наибольшее
влияние на
параметры
 Δm^2_{32} , θ_{23}
 - чем более
узкий контур,
тем лучше
- ↓
- Не зависимый
от МК анализ в
дополнение к
стандартному
анализу

При исследовании процесса осцилляций нейтрино:

- выполнено сравнение характеристик ускорительных нейтринных экспериментов с длинной базой на основе T2K, NOvA, DUNE
- создана универсальная оболочка для моделирования FD спектров экспериментов этого типа в программном обеспечении GNA
- рассчитаны индивидуальные и совместные чувствительности к неизвестным параметрам осцилляций, таким как иерархия масс нейтрино и фаза комбинированной чётности
- показано, что возможно применить метод DUNE-PRISM к наибольшему фону в моде $\bar{\nu}_\mu$ исчезновения
- рассчитано влияние предсказания WSB на точность определения параметров осцилляций нейтрино
- получено, что анализ становится не зависимым от МК, что можно использовать для контроля определения знач. параметров осцилляций

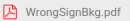
- 1) A. Stepanova, M. Gonchar, L. Kolupaeva, K. Treskov «Deep underground neutrino experiment DUNE – calculation of sensitivity to the measurement of oscillation parameters». Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 5(244). С. 410.
- 2) А.В.Степанова, Л.Д.Колупаева «Разработка оболочки для расчёта чувствительности ускорительных экспериментов в GNA на основе эксперимента DUNE». Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. 2022. № 4. 2240304.
- 3) A. Stepanova, L. Kolupaeva «Joint fit of long-baseline accelerator neutrino experiments in GNA software». Журнал «PEPAN Letters». (Отправлена в журнал).

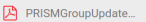
- 1) A. Stepanova «Deep underground neutrino experiment DUNE – calculation of sensitivity to the measurement of oscillation parameters» на [международной конференции AYSS-2021](#), Алматы, Казахстан.
- 2) А. В. Степанова «Разработка оболочки для расчёта чувствительности ускорительных экспериментов в GNA на основе эксперимента DUNE» на [международной конференции «Ломоносов-2022»](#), Москва.
- 3) A. Stepanova «The DUNE experiment PRISM method for data-driven predictions» на [Московской летней школе по физике](#), 2022, Дубна.
- 4) A. Stepanova «Joint fit of long-baseline accelerator neutrino experiments in GNA software» на [международной конференции AYSS-2022](#), Дубна.
- 5) А.В. Степанова «Точность определения параметров осцилляций в эксперименте DUNE в сравнении с другими ускорительными нейтринными экспериментами с длинной базой» на [Курчатовской научной школе](#), 20.03.2023 – 23.03.2023, Москва.
- 6) А.В. Степанова «Расчет точности определения параметров осцилляций нейтрино в ускорительных нейтринных экспериментах с длинной базой» на [международной конференции «Ломоносов-23»](#), Москва.

Регулярные доклады о результатах работы на совещаниях группы «ndoffaxis» коллаборации эксперимента DUNE (DUNE-PRISM analysis meetings) в течение 2022 – 2023 гг.: **8 выступлений**

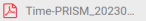
Biweekly Meeting

Thursday Jan 12, 2023, 1:00 PM → 2:30 PM US/Eastern

1:00 PM → 1:20 PM **Wrong Sign Background Update**
Speaker: Anna Stepanova (JINR)


1:20 PM → 1:40 PM **Oscillation Status**
Speaker: Ciaran Hasnip


1:40 PM → 2:00 PM **Nue Status**
Speaker: Eran Rea

2:00 PM → 2:10 PM **Time-PRISM**
Speaker: Luke Pickering (Michigan State University)


- член коллаборации с 2020 г.
- очное участие в коллаборационном совещании DUNE в CERN, Женева

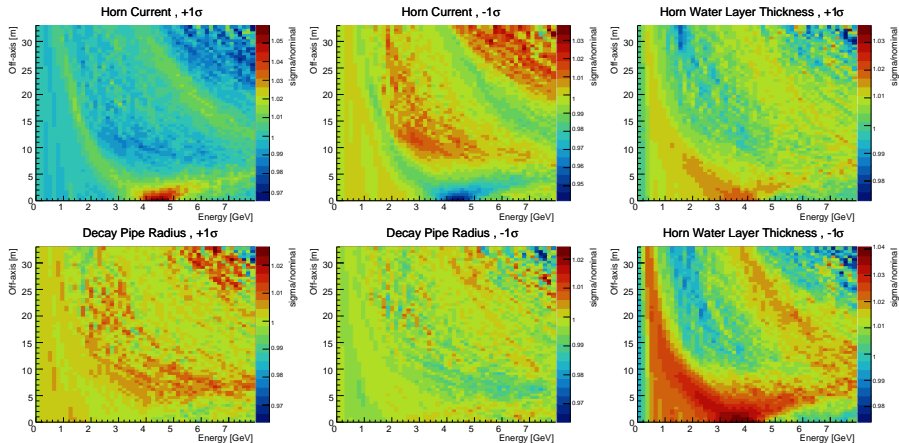
Спасибо за внимание!



Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного
Фонда номер 22-22-00389.

Backup slides

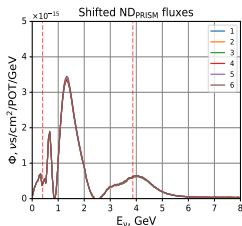
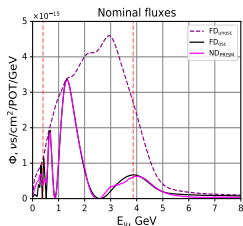
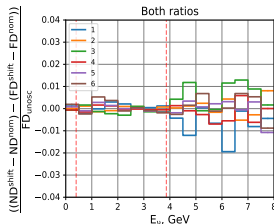
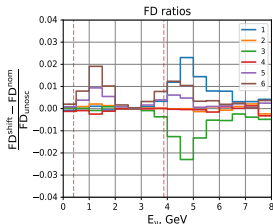
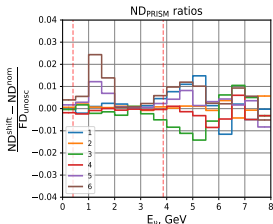
$\pm 1\sigma$ неопределенности фокусировки на внеосевых положениях



фокусировки / выравнивания / сдвига \Rightarrow

$< 4\%$

Focusing uncertainties



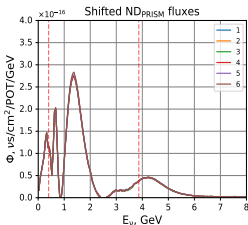
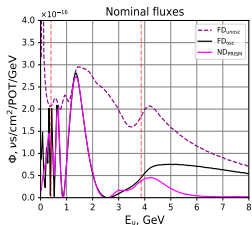
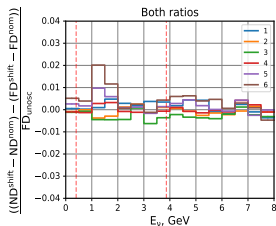
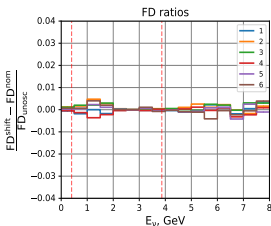
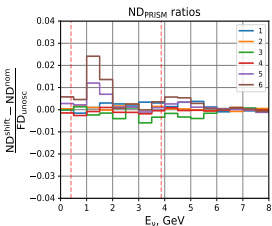
Fluxes: NEW
Target: ν_μ FHC

- 1 HornCurrent +1 σ
- 2 DecayPipeRadius +1 σ
- 3 HornCurrent -1 σ
- 4 DecayPipeRadius -1 σ
- 5 HornWaterLayerThickness +1 σ
- 6 HornWaterLayerThickness -1 σ

фокусировки / выравнивания / сдвига \Rightarrow

< 4%

Focusing uncertainties



Fluxes: NEW
Target: ν_μ RHC

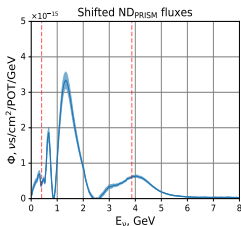
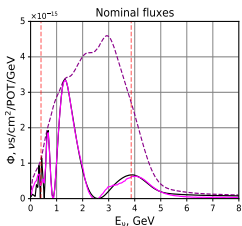
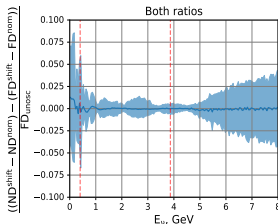
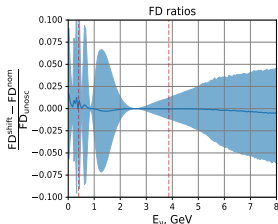
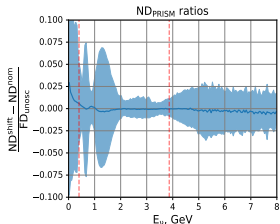
- 1 HornCurrent +1 σ
- 2 DecayPipeRadius +1 σ
- 3 HornCurrent -1 σ
- 4 DecayPipeRadius -1 σ
- 5 HornWaterLayerThickness +1 σ
- 6 HornWaterLayerThickness -1 σ

создания адронов (PPFX)



< 10%

PPFX uncertainties



Fluxes: NEW
Target: ν_{μ} FHC

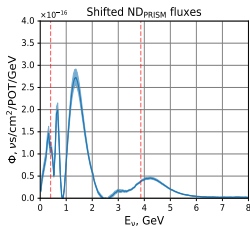
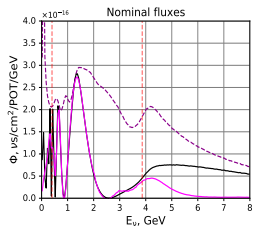
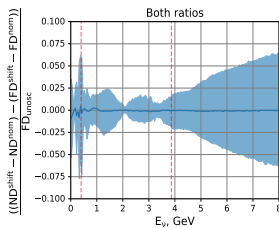
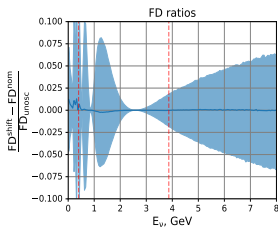
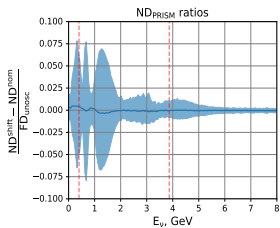
1σ band for 100 PPFX throws

создания адронов (PPFX)



< 10%

PPFX uncertainties



Fluxes: NEW
Target: ν_μ RHC

1σ band for 100 PPFX throws

Влияние на точность определения параметров осцилляций

