

Сравнительный анализ алгоритмов отбора событий взаимодействий мюонных нейтрино для осцилляционного анализа в эксперименте NOvA

Амвросов Вениамин, кафедра физики
элементарных частиц МГУ имени М.В. Ломоносова
(руководитель Самойлов О.Б.)

Нейтрино. PMNS-матрица.

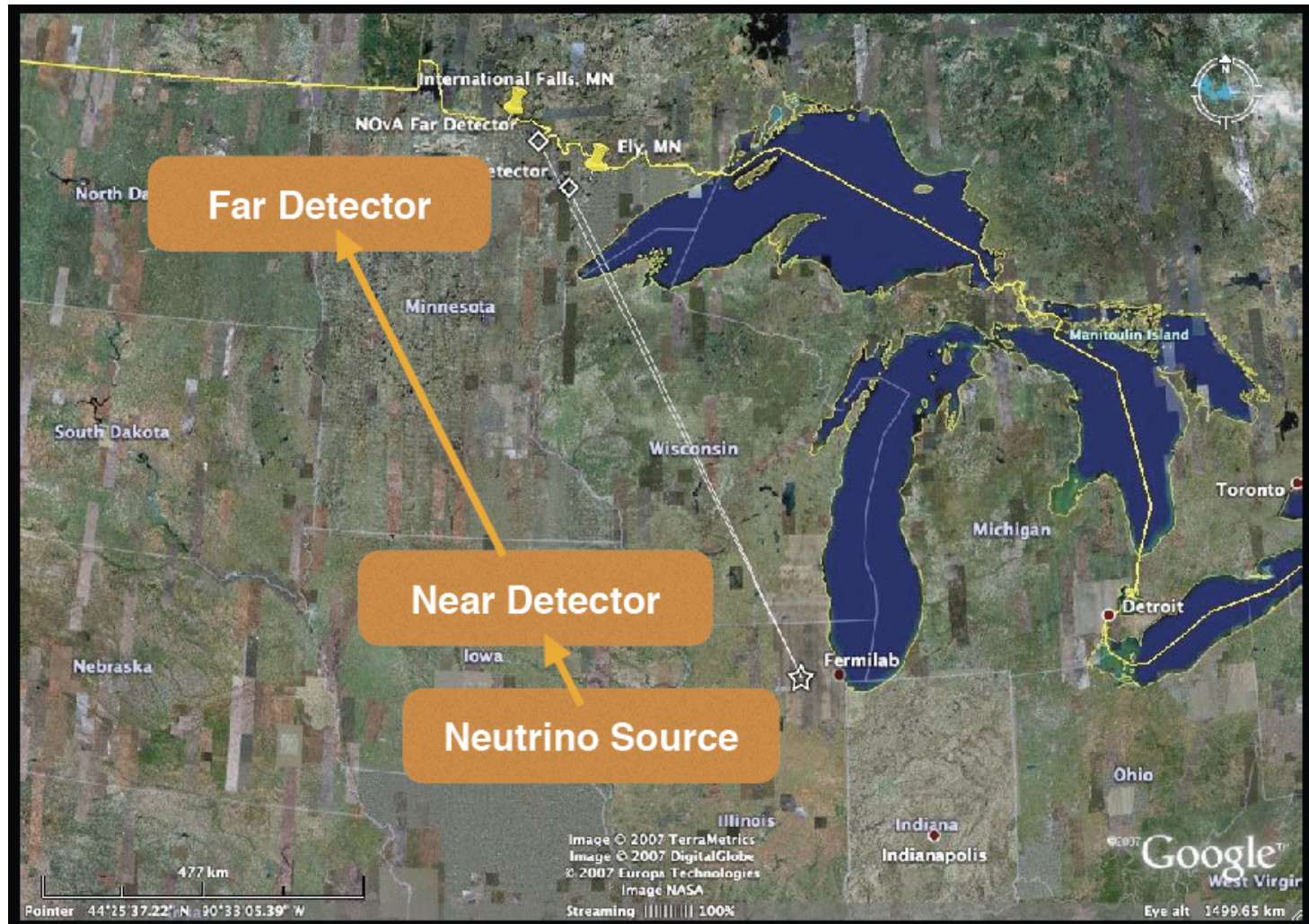
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix} \quad P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \left| \sum_j U_{\beta j}^* e^{-i \frac{m_j^2 L}{2E}} U_{\alpha j} \right|^2$$

$$U = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

U — матрица Понтекорво-Маки-Накагава-Саката, $c_{ij} = \cos\theta_{ij}$, $s_{ij} = \sin\theta_{ij}$, θ_{ij} — углы смешивания нейтрино.

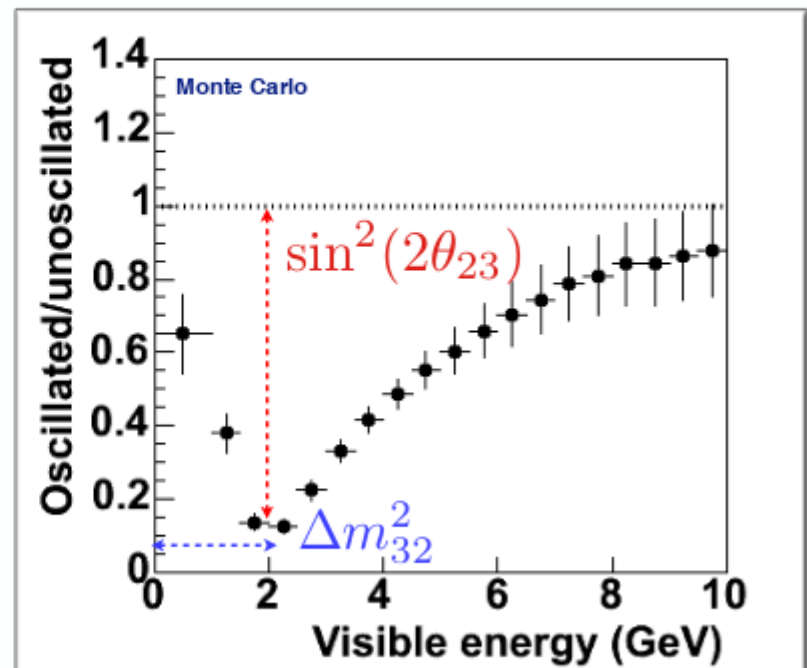
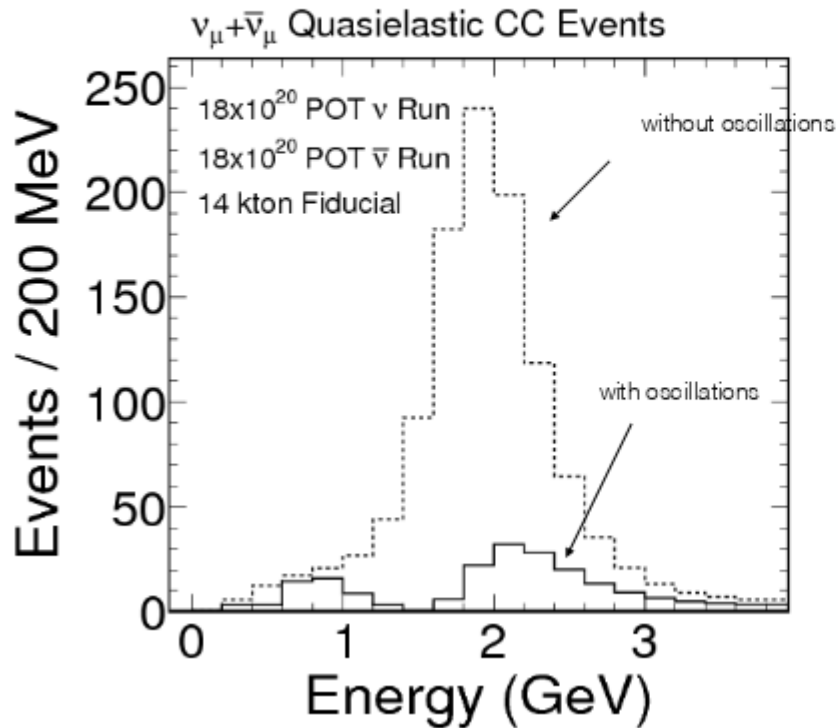
Задача физики элементарных частиц — измерение компонент PMNS-матрицы. θ

Эксперимент NOvA



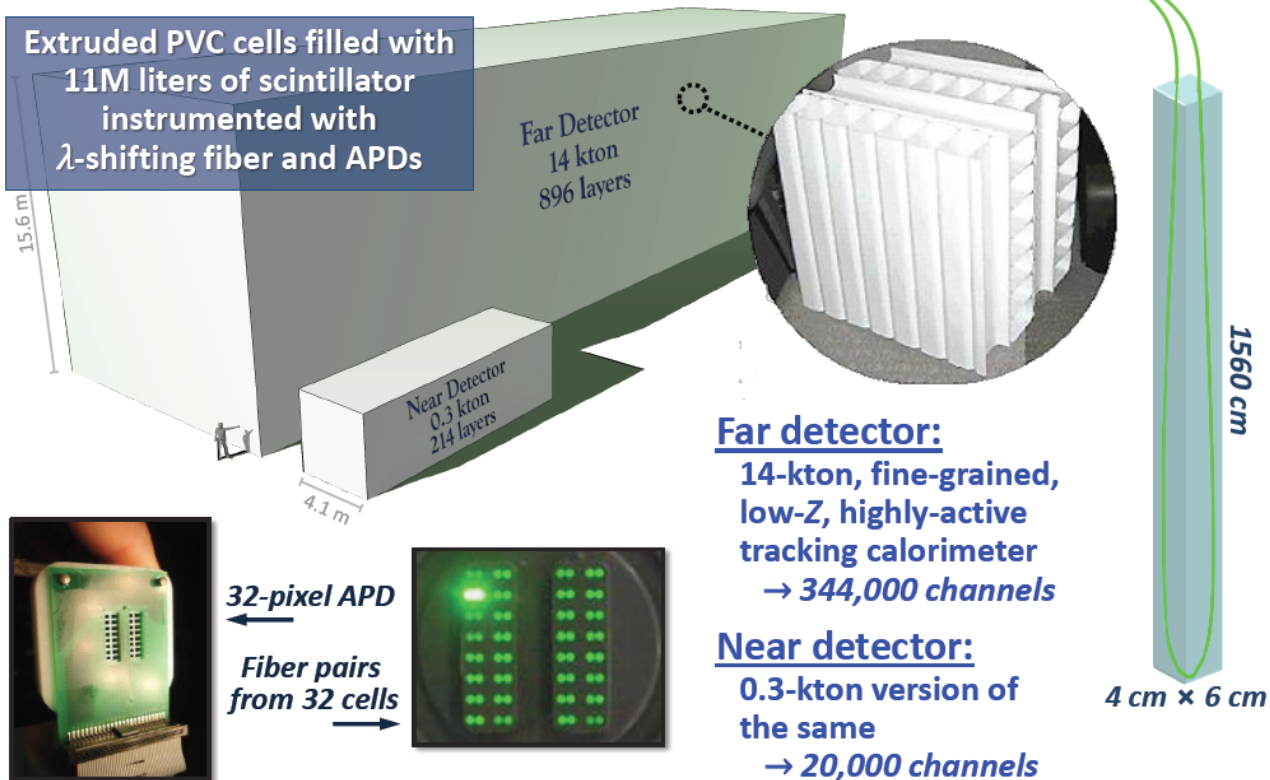
Канал исчезновения мюонных нейтрино

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \approx 1 - \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2\left(\frac{1.27\Delta m_{atm}^2 L}{E}\right)$$

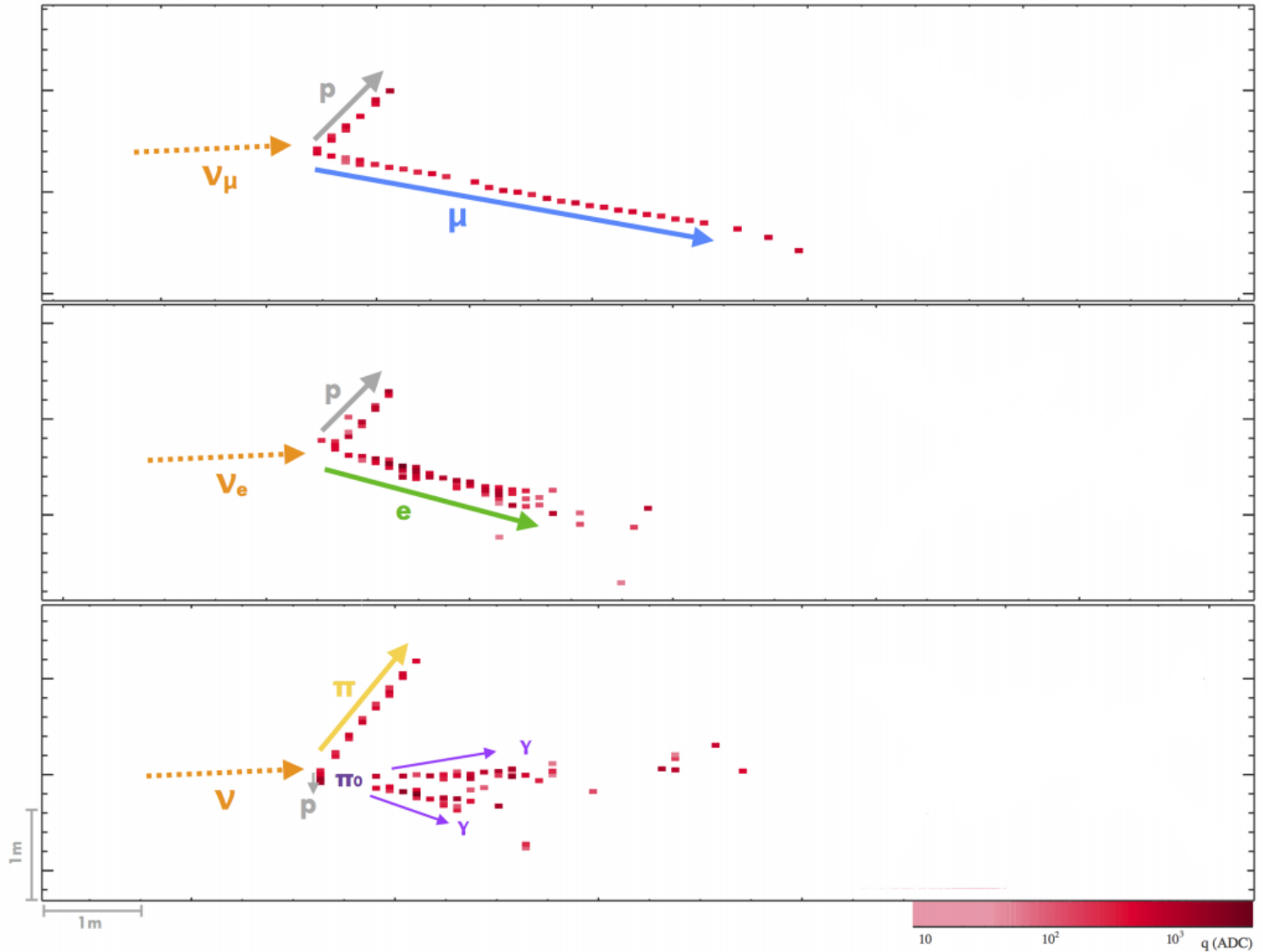


Детекторы NOvA

NOvA detectors



Топология событий



Основная задача

Задача работы: Сравнение двух методов анализа данных для изучения канала исчезновения мюонных нейтрино, использовавшихся коллаборацией NOvA — ReMId (Reconstructed Muon Identification) и CVN (Convolutional Visual Network, разновидность Convolutional Neural Network).

Задача методов: отобрать события с нейтринными взаимодействиями через заряженный ток (CC-events).

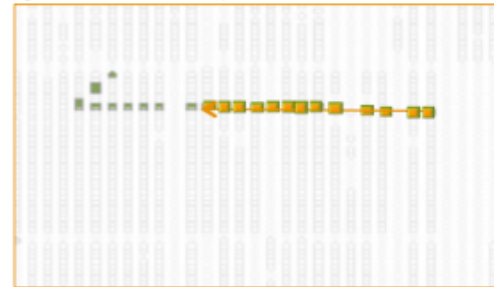
ReMid

Первый этап — восстановление треков частиц из сигналов, полученных с детектора при помощи алгоритма Калмана.

Get initial parameters and extrapolate



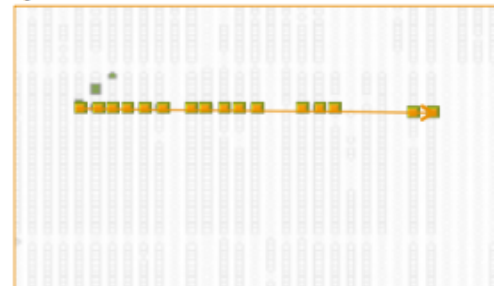
Project to next planes and add hits



Use estimated position and slope at track end to extrapolate in opposite direction



Project and add hits until track end



ReMId

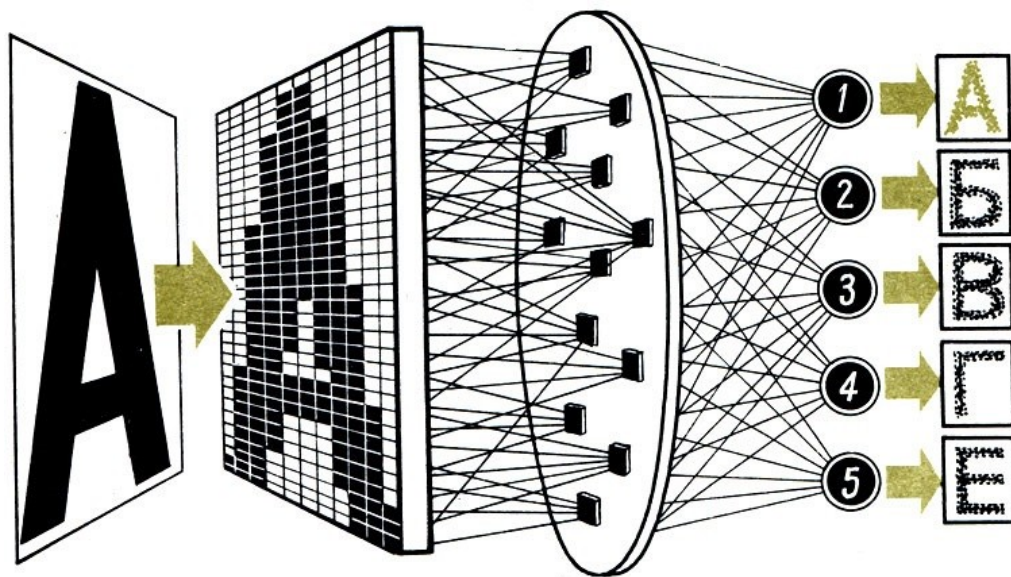
Второй этап — отбор мюонных треков kNN (k Nearest-Neighbor) алгоритмом.

Входные данные для алгоритма:

- Длина трека
- Функция правдоподобия для dE/dx
- Функция правдоподобия для параметра рассеяния (θ^2/d)
- Переменная, описывающая долю плоскостей, участвующих в алгоритме для анализа одного трека (plane fraction)

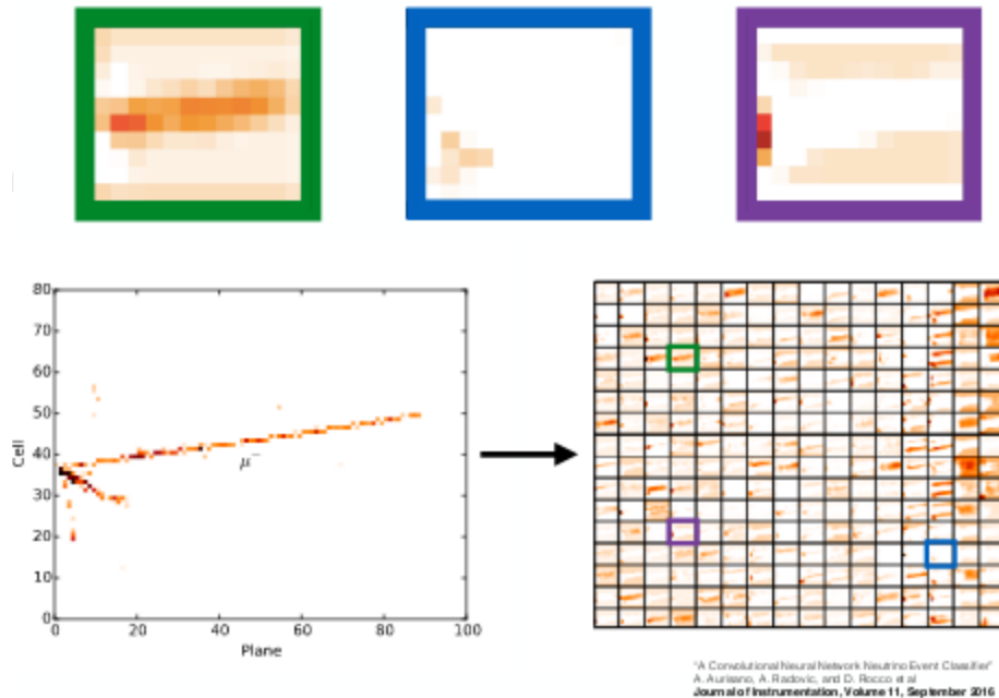
CVN

- Концепция метода: использовать нейронные сети для распознавания «образов» (типов событий).
- Указанная выше задача давно успешно решена. Почему бы не применить к физике частиц?



CVN

- Концепция метода: использовать нейронные сети для распознавания «образов» (типов событий).
- Указанная выше задача давно успешно решена. Почему бы не применить к физике частиц?



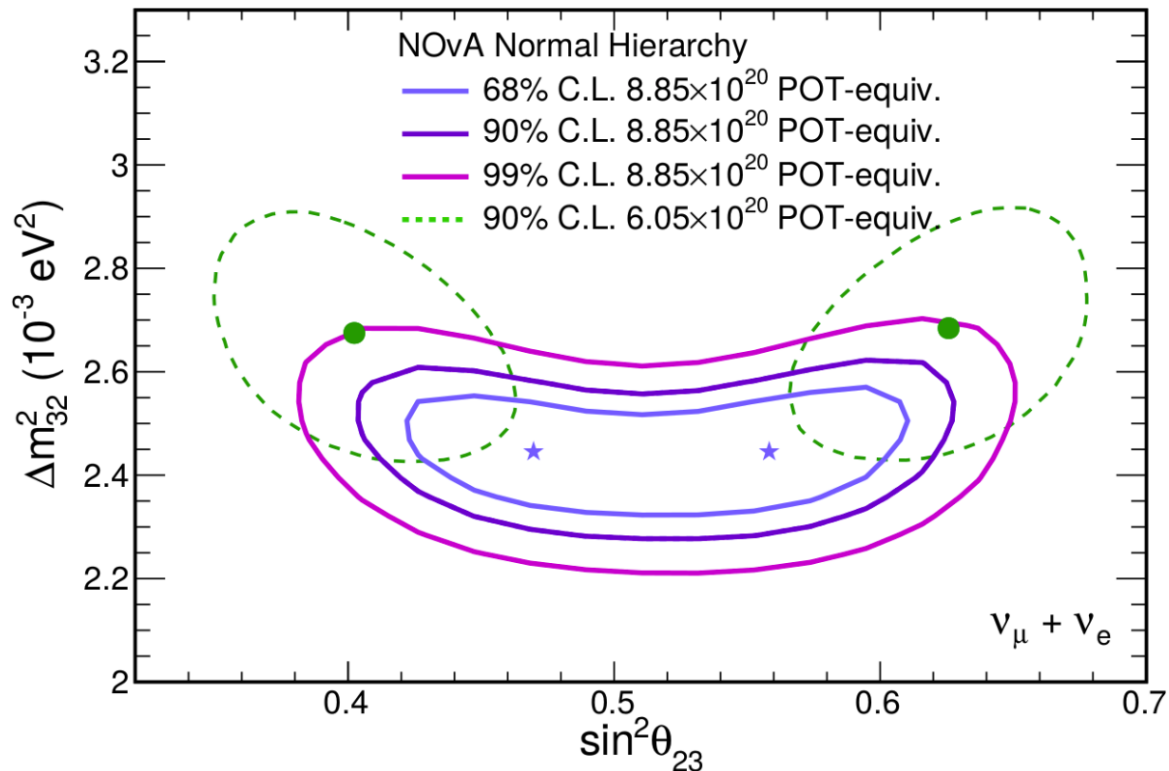
Результаты работы

Суть практической части работы: повторение анализов данных 2016 и 2017 годов, произведенных коллаборацией NOvA, в которых были использованы ReMId и CVN. Для этого использовались макросы для программы ROOT с некоторыми модификациями, позволяющими обрабатывать файлы формата CAF (Common Analysis Files — специальный формат файлов, разработанный и используемый для хранения данных в эксперименте NOvA).

Суть макросов: запуск обработки файлов с экспериментальными данными. Результаты, полученные экспериментально в ближнем детекторе экстраполируются в дальний детектор. По этим результатам в совокупности с симулированными данными строится график с доверительным интервалом для осцилляционных параметров Δm^2_{32} и $\sin^2\theta_{23}$.

Результаты работы

Получены контуры для анализов 2016 и 2017 годов:



Итоги

- 1) Изучены два алгоритма отбора нейтринных событий с взаимодействием через заряженный ток
- 2) Проводится сравнение осцилляционных результатов в канале исчезновения мюонных нейтрино на основе этих методов
- 3) Подготовленная основа будет использована для выбора оптимального использования этих алгоритмов

Выводы

1) В отличие от ReMId'a данный алгоритм самостоятельно выделяет особенности искомым взаимодействий без предварительного их описания в процессе обучения

2) В случае CVN не производится реконструкция треков, что позволяет исключить связанную с этим вопросом погрешность из суммарной для осцилляционных параметров

Спасибо за внимание!