

Идентификация протонов в эксперименте NOvA

Дипломная работа



Выполнил: студент 609 группы Долматов А. А.

Научные руководители: д. ф.-м. н. Ольшевский А. Г.
к. ф.-м. н. Самойлов О. Б.

Эксперимент NOvA

NOvA – Neutrino Oscillation ν Appearance experiment

Используя $\nu_\mu \rightarrow \nu_e, \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$:

- определение иерархии масс нейтрино
- определение октанта θ_{23} , уточнение θ_{13}
- ограничения на δ_{CP}

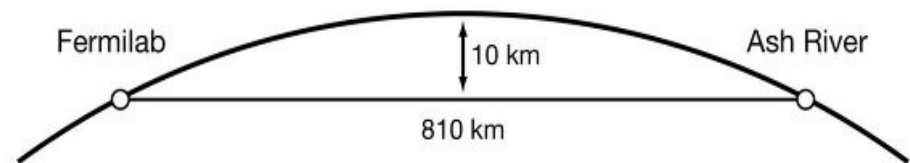
Используя $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$:

- Измерения $\sin^2 2\theta_{23}$ и Δm^2_{23}



Режим работы:

3 года ν x 3 года $\bar{\nu}$

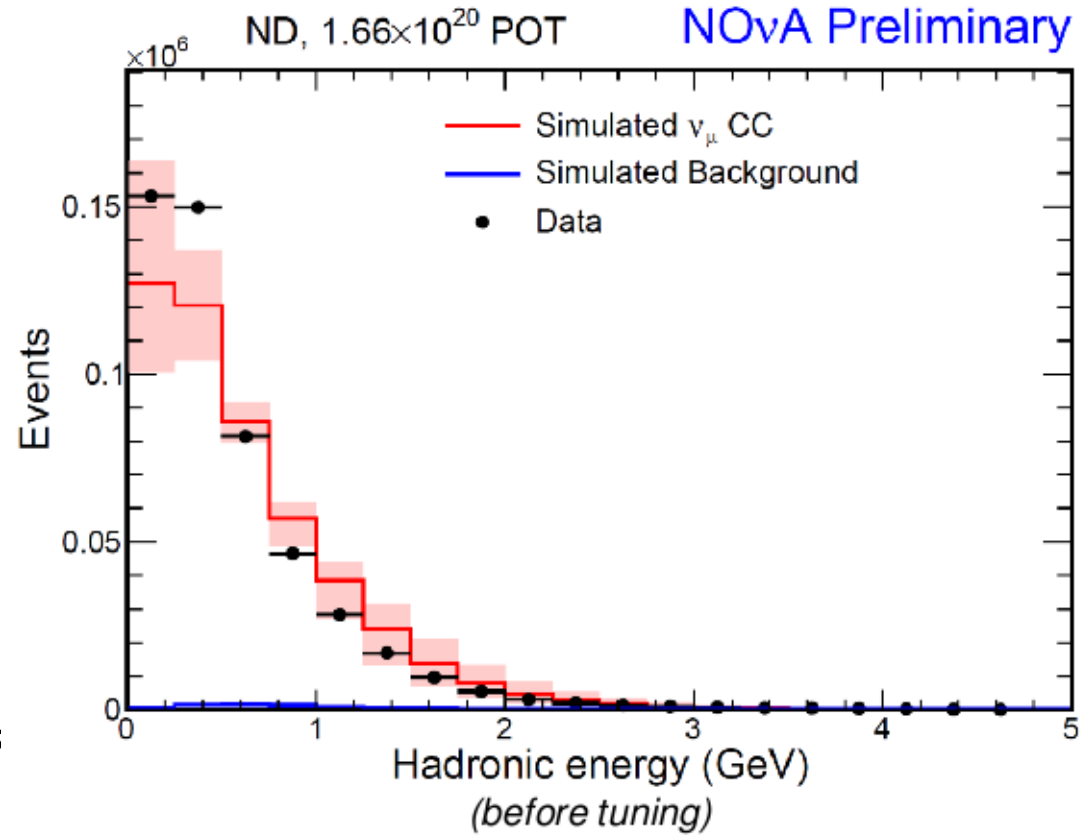


Первые результаты эксперимента NOνA

- Исчезновение ν_μ :
 - наблюдаются явные признаки ν_μ – исчезновения
 - $\sin^2\theta_{23} = 0,51 \pm 0.10$
- Появление ν_e :
 - 6 ν_e событий с помощью первого алгоритма отбора (3,3 σ)
 - 11 ν_e событий с помощью второго алгоритма отбора (5,5 σ)
- Для результата использовалось 7,6 % полной ожидаемой статистики эксперимента NOνA

Систематические неопределённости анализа ν_μ исчезновения

- Адронная энергия (~21%)
- Поток нейтрино
- Моделирование нейтринных взаимодействий
- Фоновые события
- Калибровка энергии и работа детектора
- несовершенство теоретической модели нейтринных осцилляций

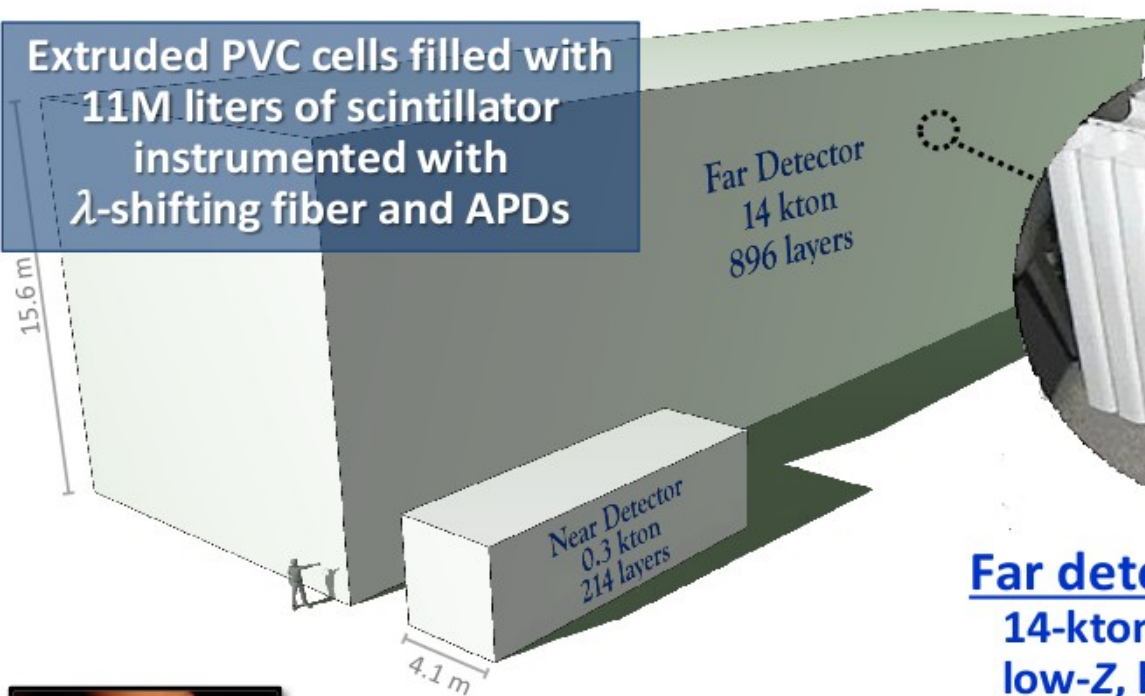


Основной вклад в систематику осцилляционного ν_μ анализа вносит реконструкция адронной энергии.

Детекторы NOνA

NOνA detectors

Extruded PVC cells filled with 11M liters of scintillator instrumented with λ -shifting fiber and APDs



A NOνA cell

To APD



1560 cm

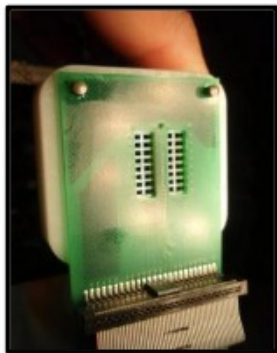
4 cm × 6 cm

Far detector:

14-kton, fine-grained, low-Z, highly-active tracking calorimeter
→ 344,000 channels

Near detector:

0.3-kton version of the same
→ 20,000 channels

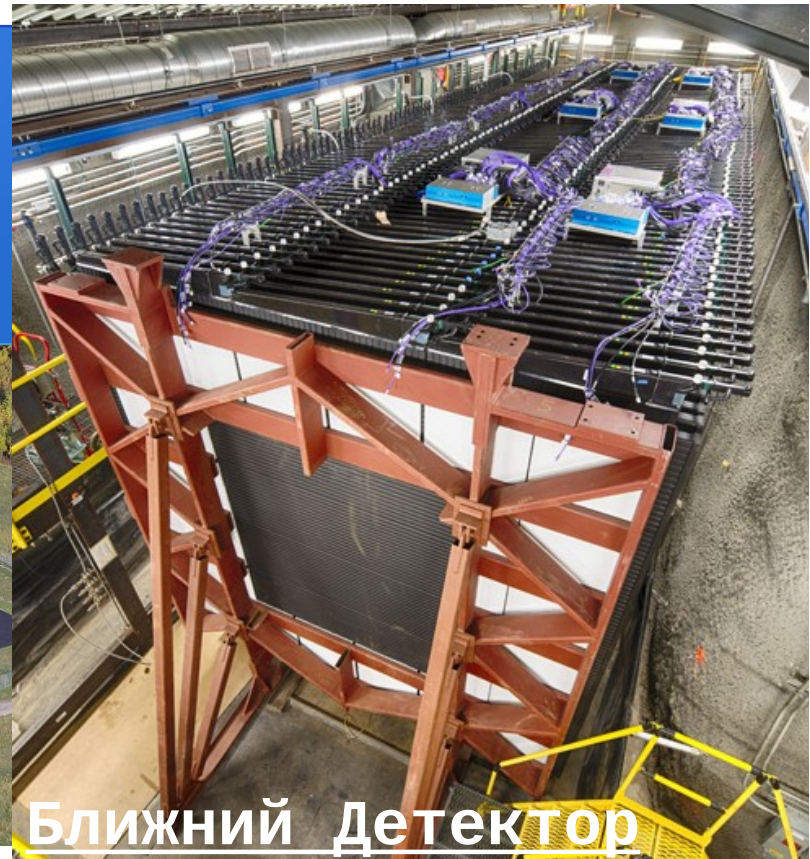


32-pixel APD

Fiber pairs from 32 cells



Детекторы NovaA: Фотографии



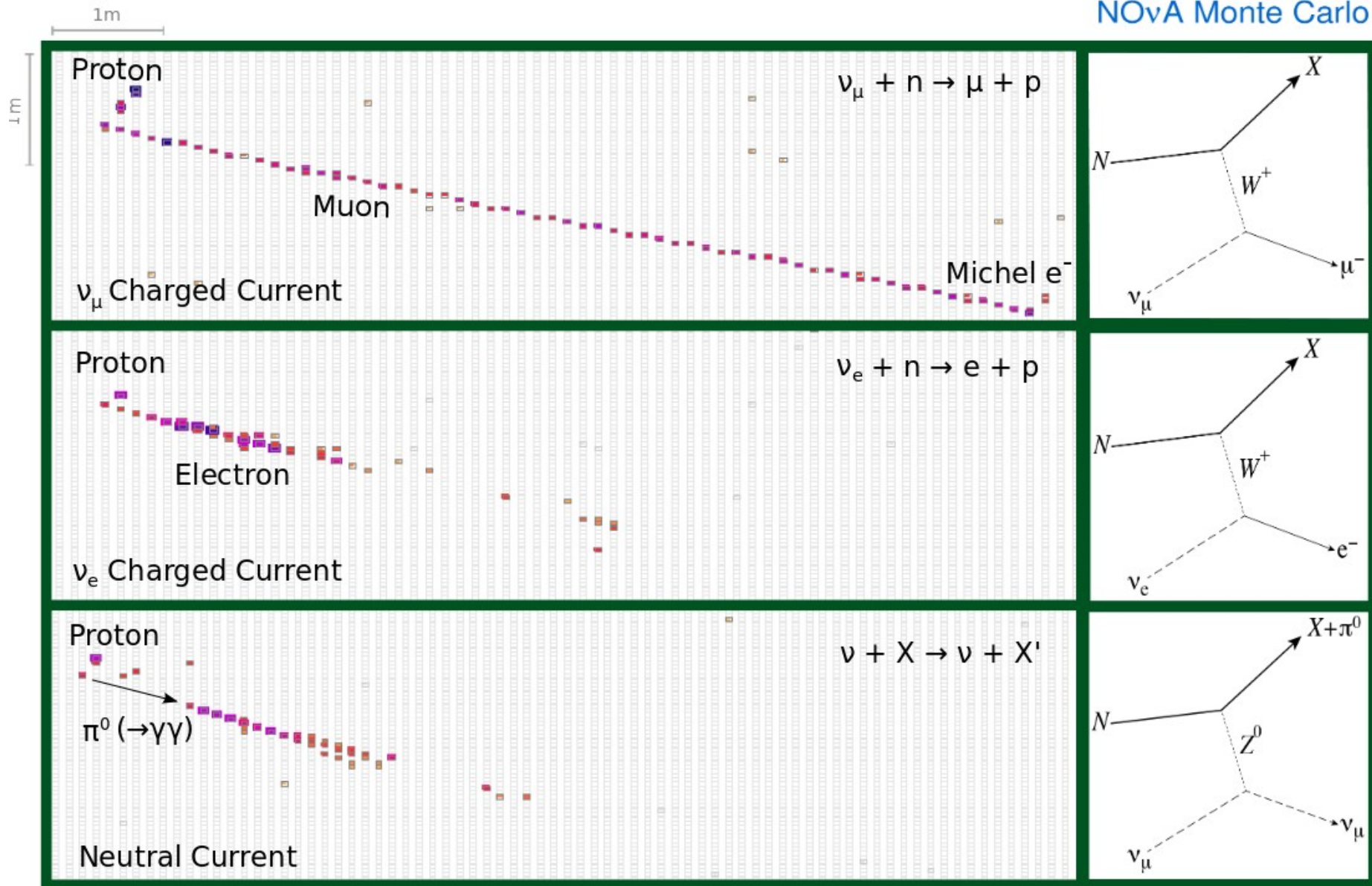
Ближний Детектор



Дальний Детектор

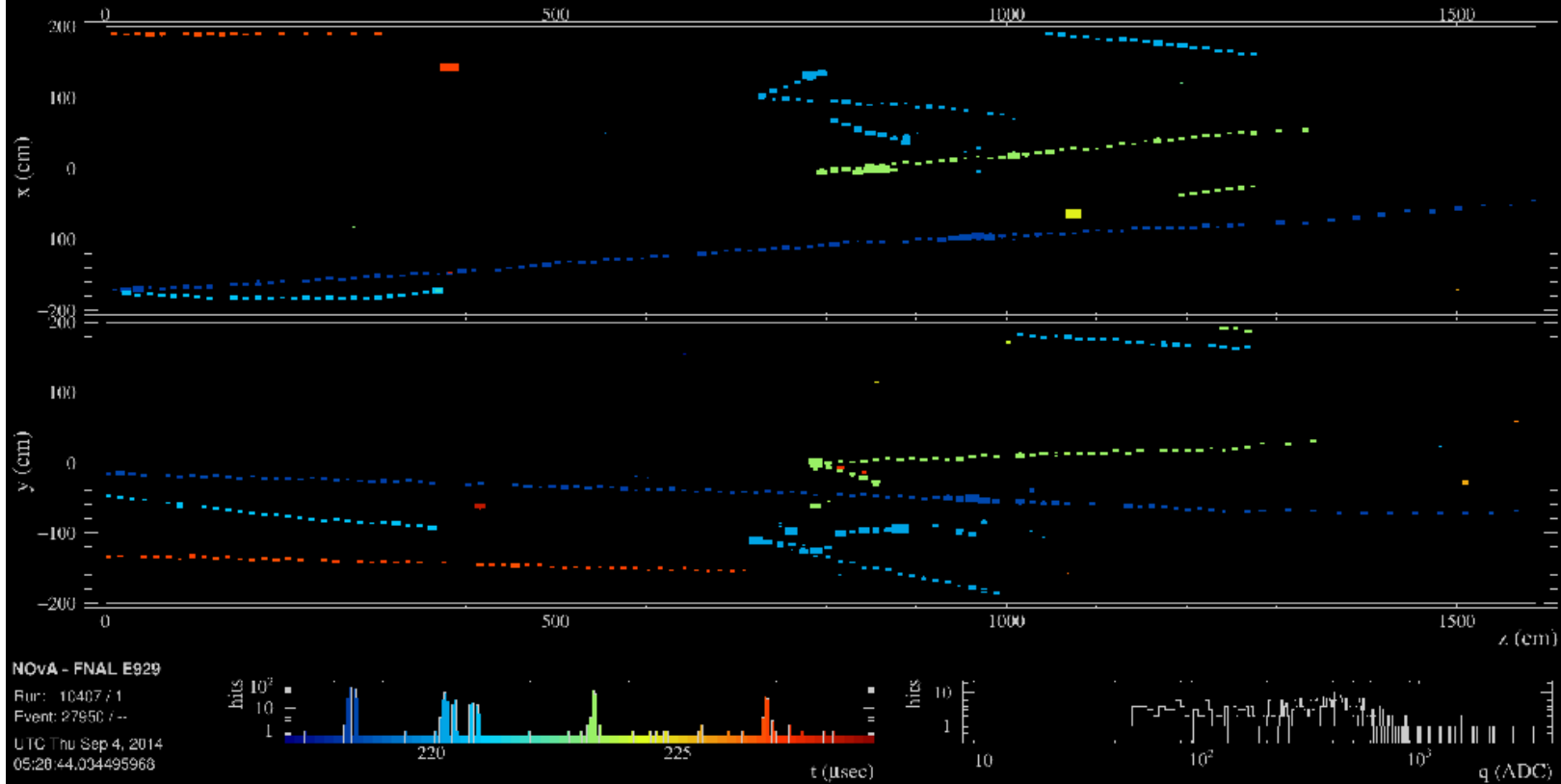
ТОПОЛОГИЯ СОБЫТИЙ

NOvA Monte Carlo



Реальное событие в Ближнем Детекторе:

Near Detector: 10 μ s of readout during NuMI beam pulse
(color \Rightarrow time of hit)



Реконструкция энергии

Длина трека $\rightarrow E_{\mu}$

Адронная система:
 $\sum E_{\text{ячейки}} \rightarrow E_{\text{had}}$



Реконструированная энергия мюонного нейтрино:

$$E_{\nu} = E_{\mu} + E_{\text{had}}$$

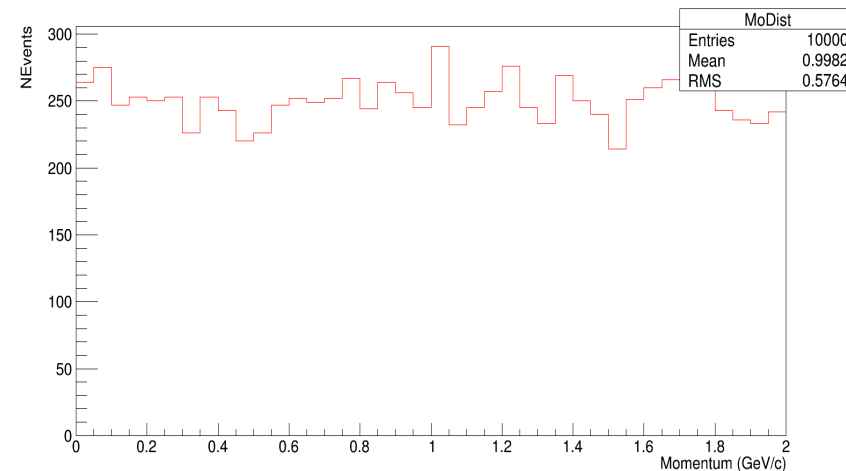
Цели работы

- Исследовать возможность идентификации протонов в эксперименте NovA.
- Разработать алгоритм идентификации протонов на основе метода вероятностного разделения частиц в рамках рабочей среды Fermi-Art.

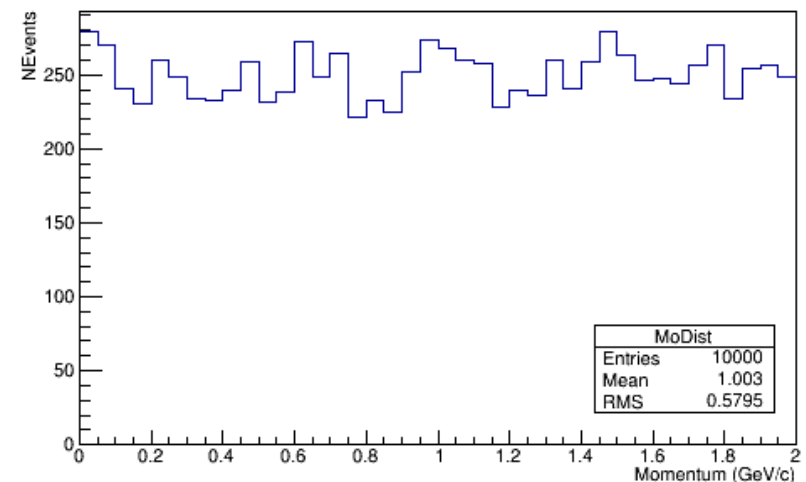
Моделирование рождения частиц частиц

- В рамках программной среды Fermi-art возможно моделирование как пучка, так и одиночных частиц.
- Было решено сгенерировать два набора частиц по 10000 событий: сигнальные протоны и фоновые мюоны.
- Для моделирования рождения одиночных частиц использовался генератор рождения одиночных частиц SingleGen.

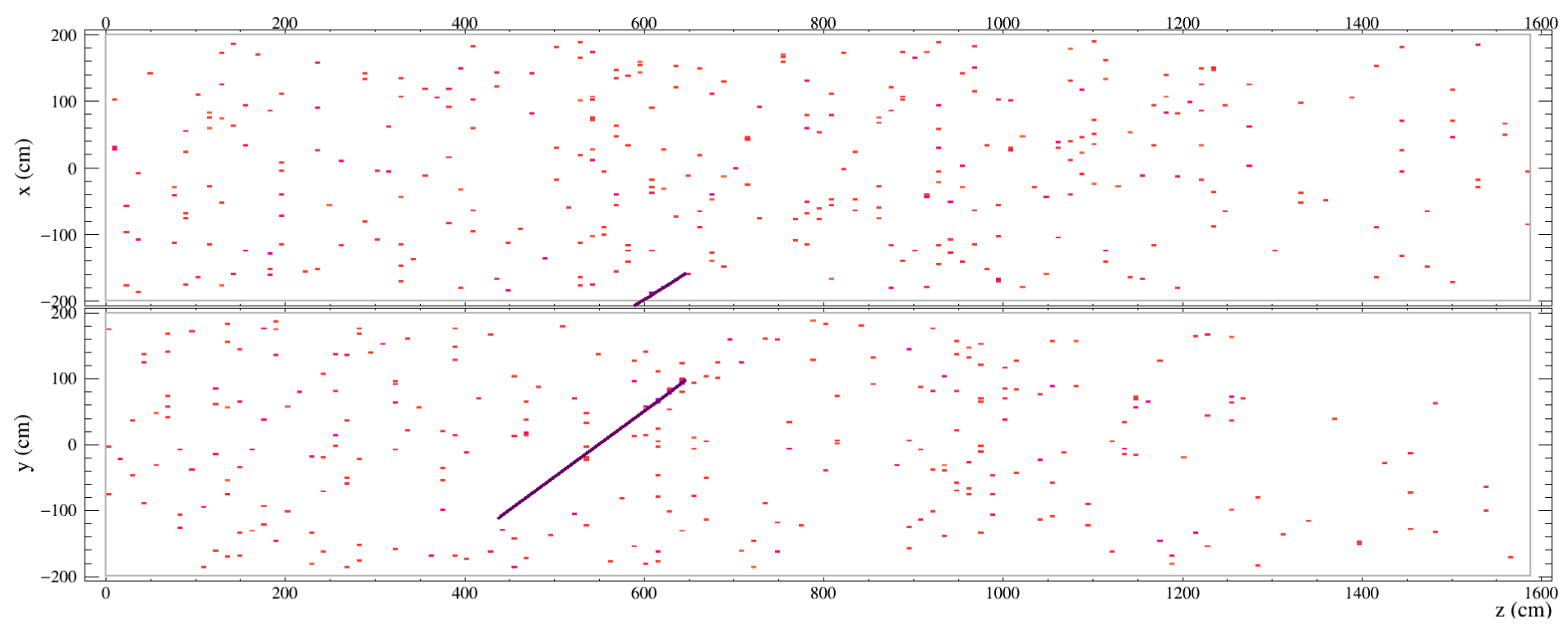
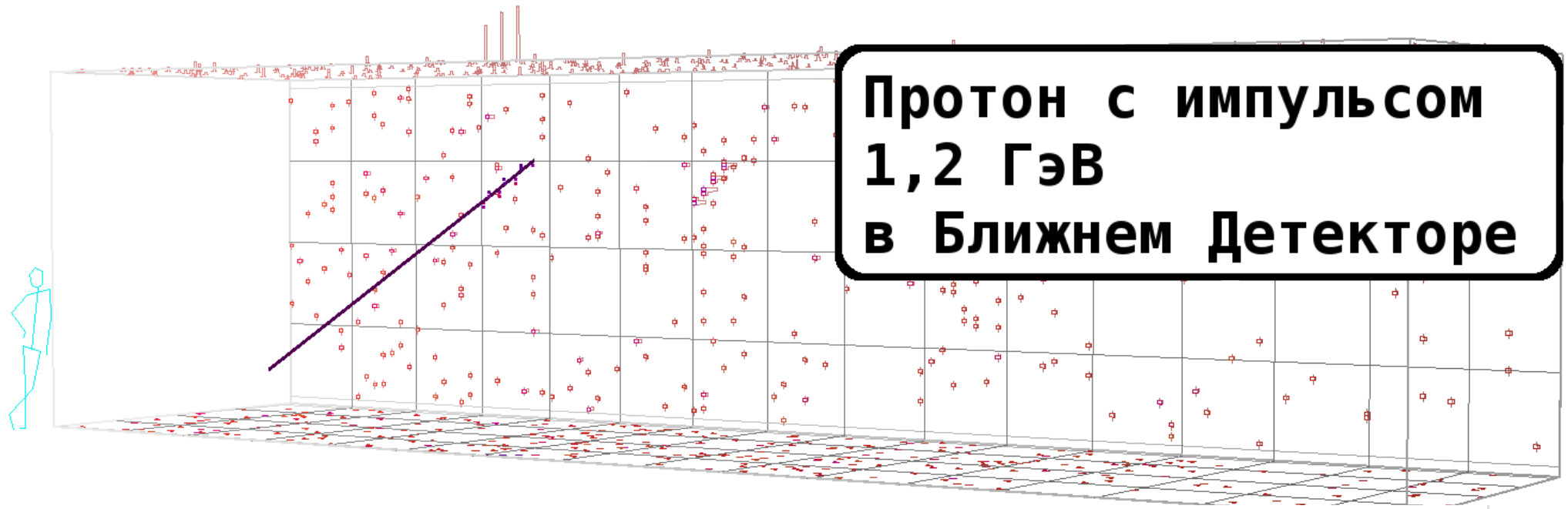
Распределение по импульсам:
протоны



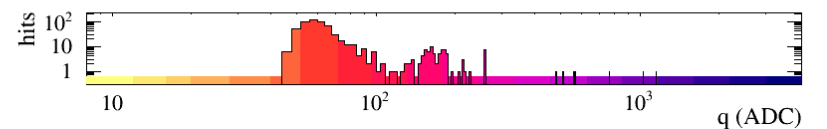
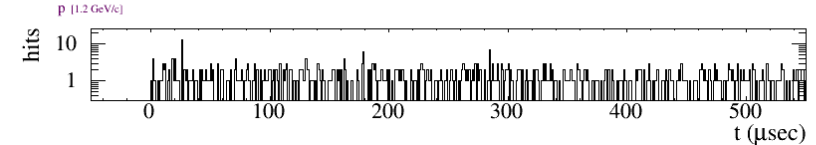
МЮОНЫ



Протон с импульсом 1,2 ГэВ в Ближнем Детекторе



NOvA - FNAL E929
Run: 1000001 / 1
Event: 5 / NuMI
UTC Thu Jan 1, 1970
00:00:0.000000000

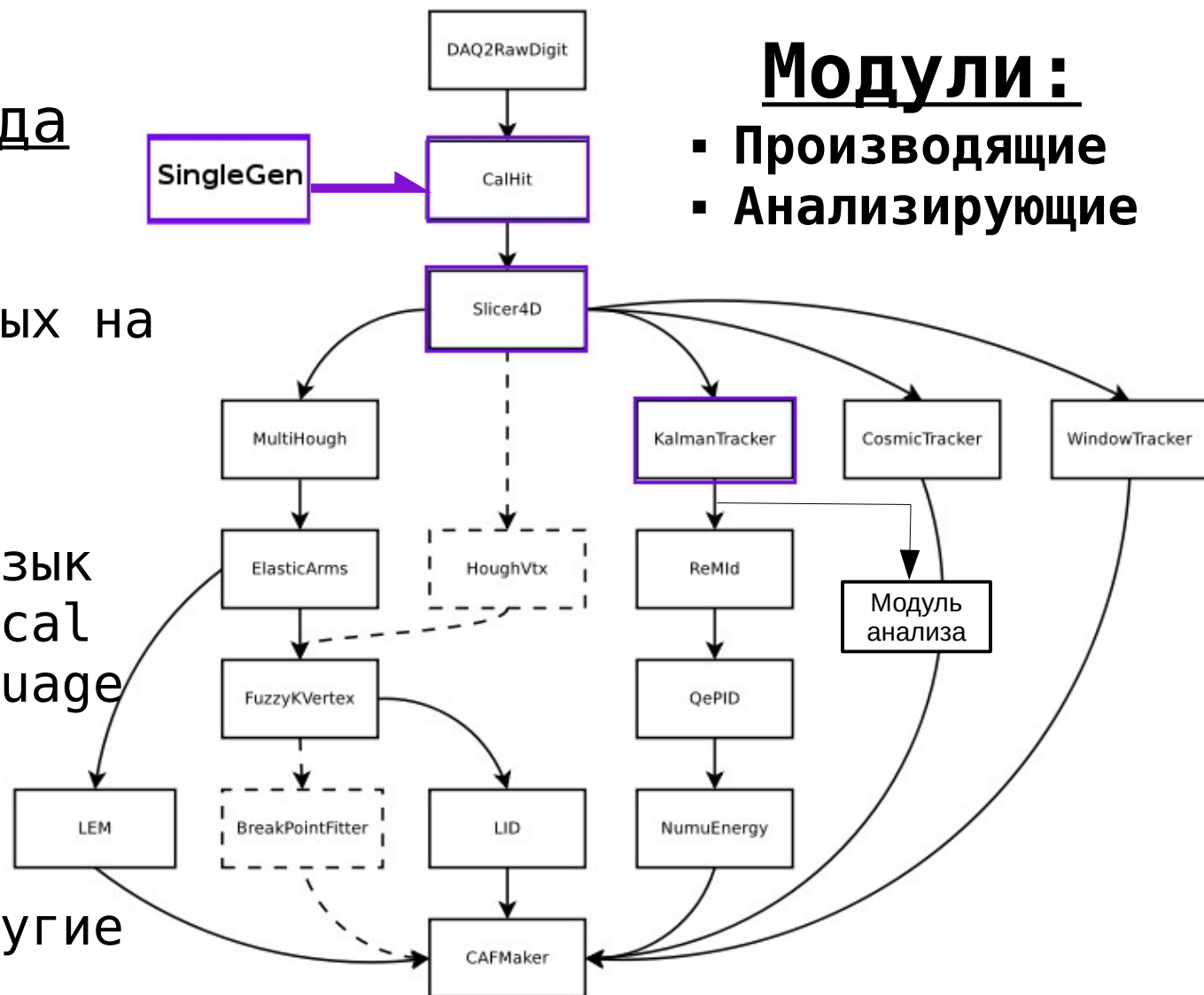


Процесс реконструкции

Программная среда

Fermi-art:

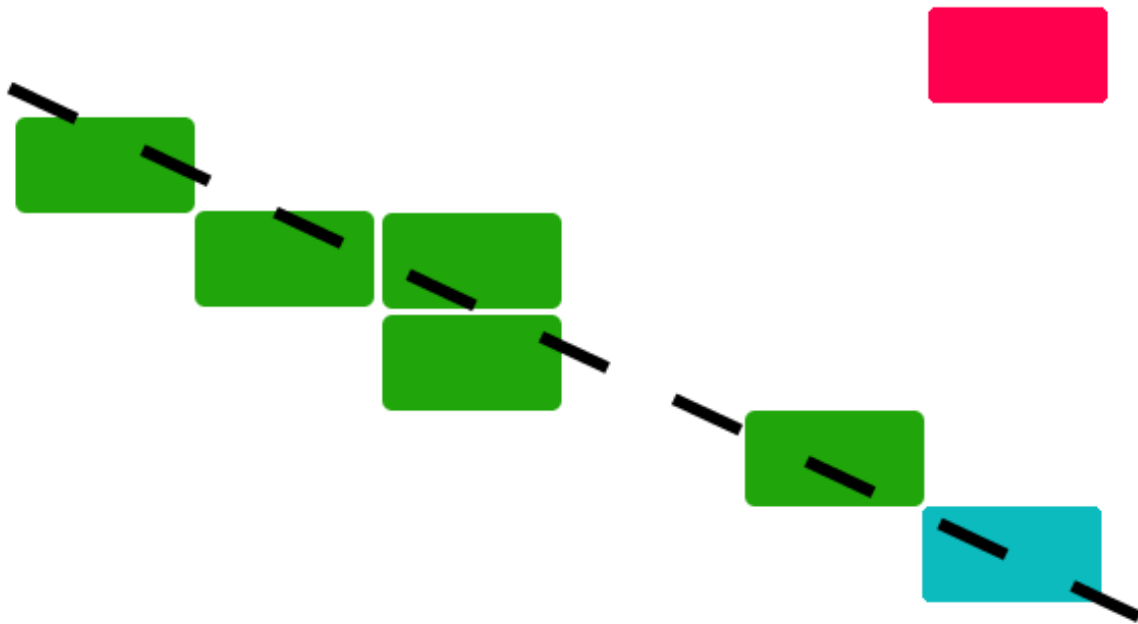
- Набор библиотек и программ, написанных на C++
- Модульность
- Конфигурационный язык Fermilab Hierarchical Configuration Language
- Возможность использовать GEANT4, ROOT и другие



Модули:

- Производящие
- Анализирующие

KalmanTrack



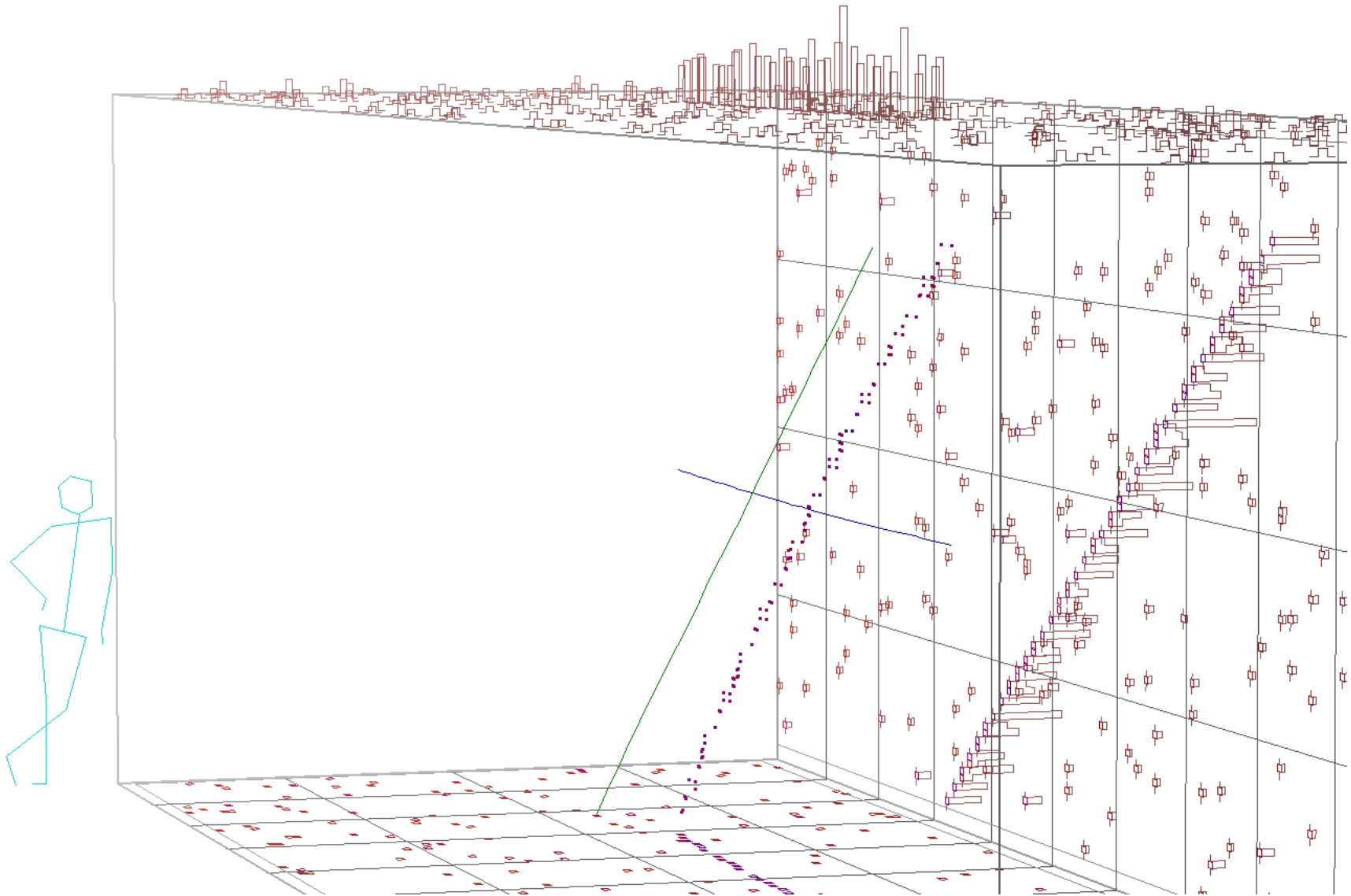
$$\vec{x}_k = A\vec{x}_{k-1} + \vec{\omega}_{k-1}$$

\vec{x}_k – Вектор состояния
{положение; наклон}

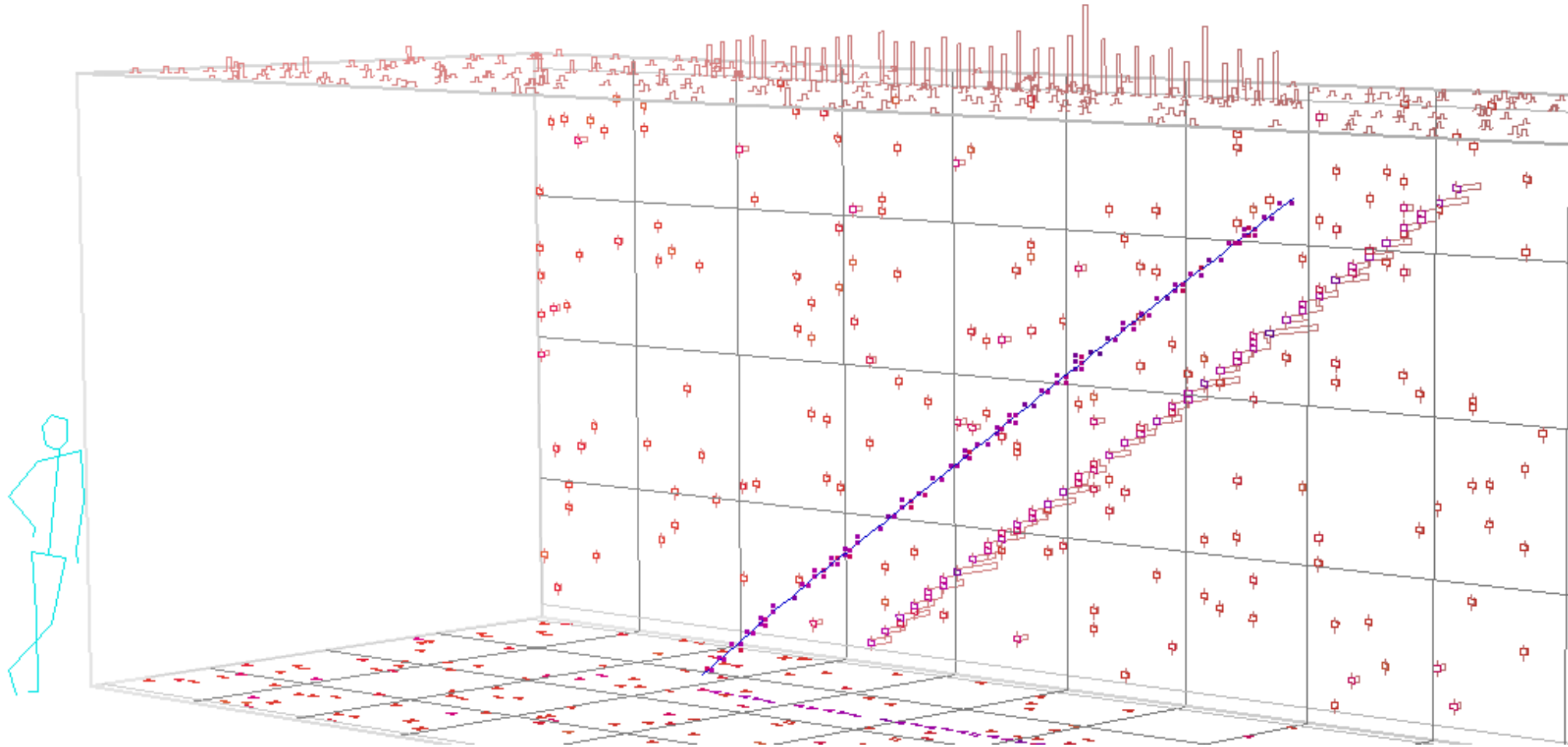
A – матрица
экстраполяции

$\vec{\omega}_{k-1}$ – Вектор шума

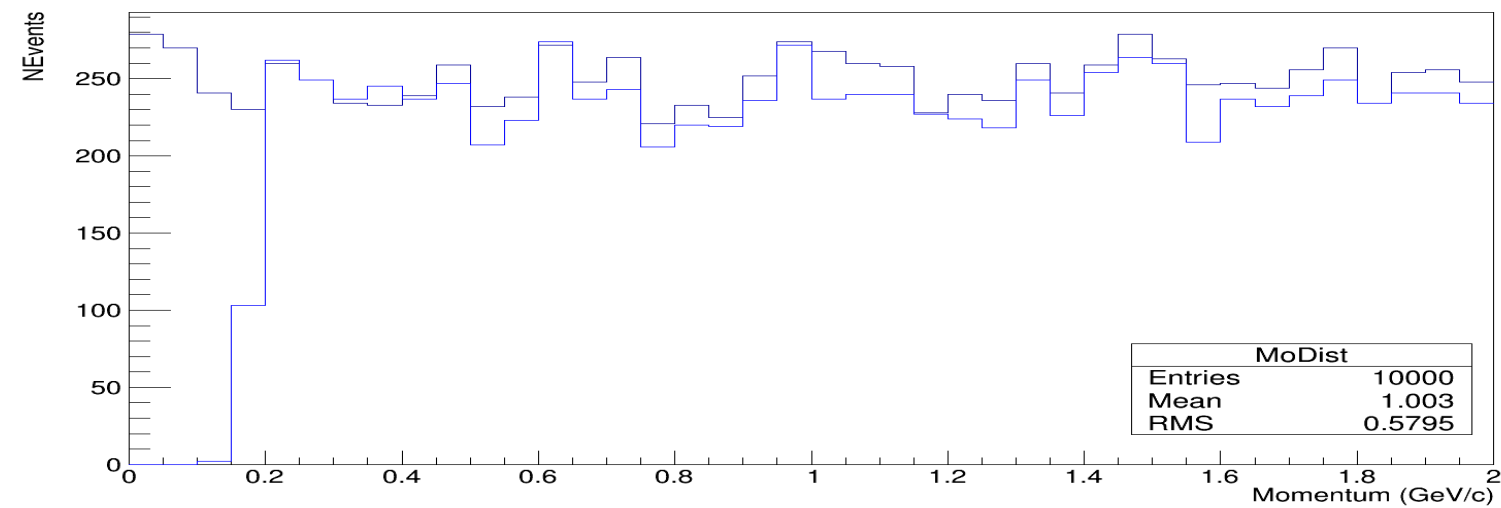
KalmanTrack



KalmanTrackMerge

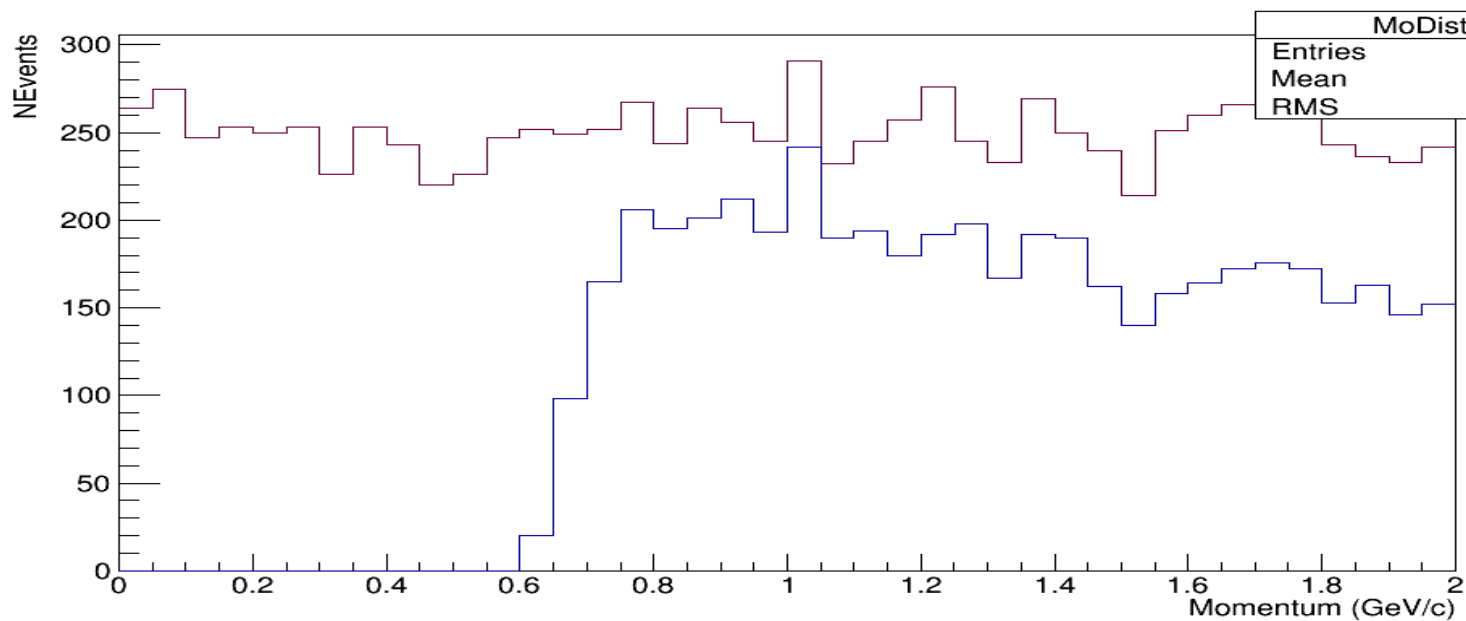


Эффективность модуля Kalmantrack



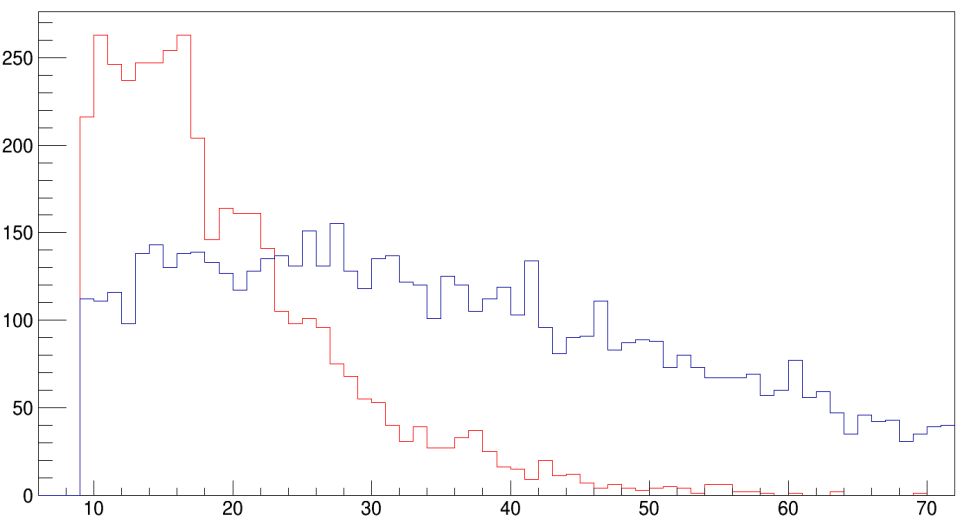
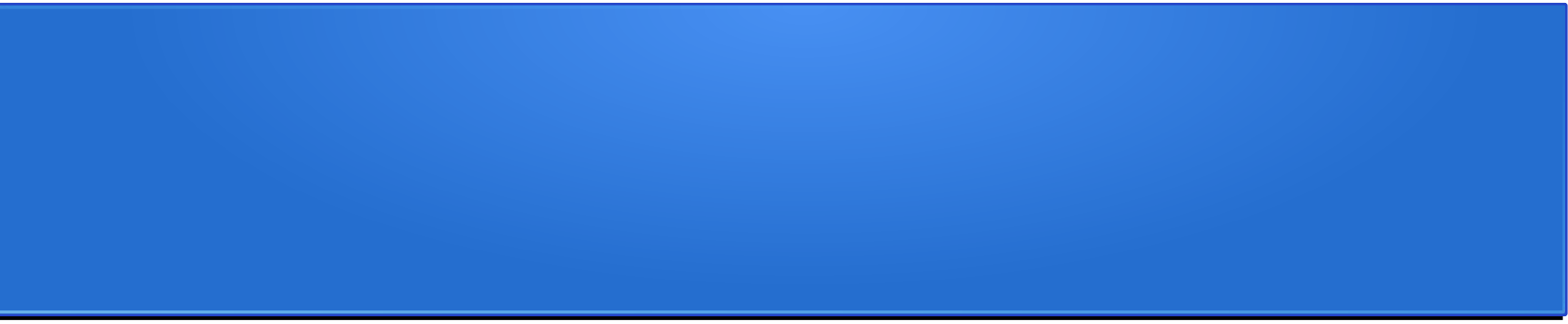
μ

Эффективность: 86,7%

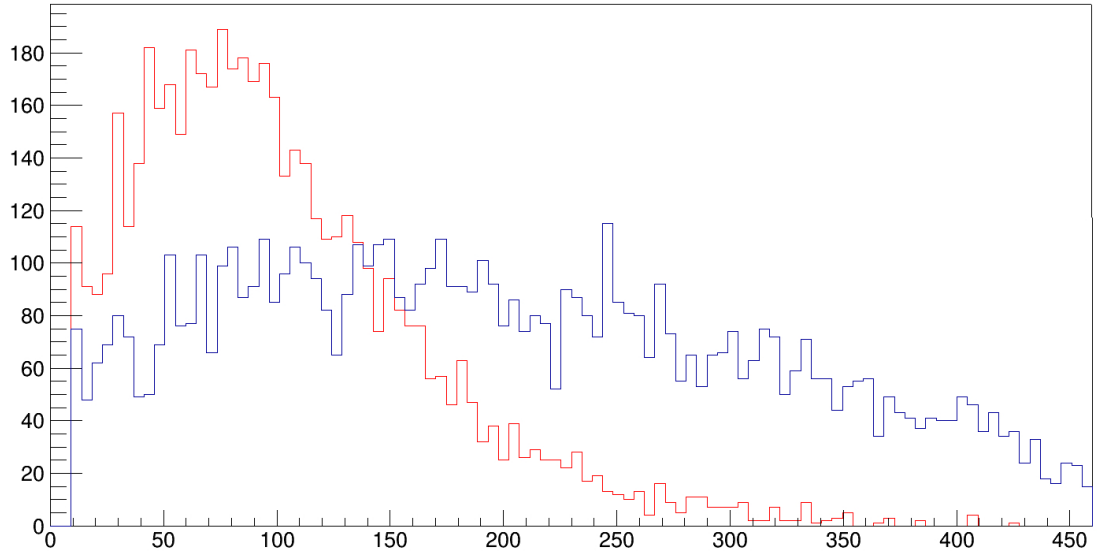


P

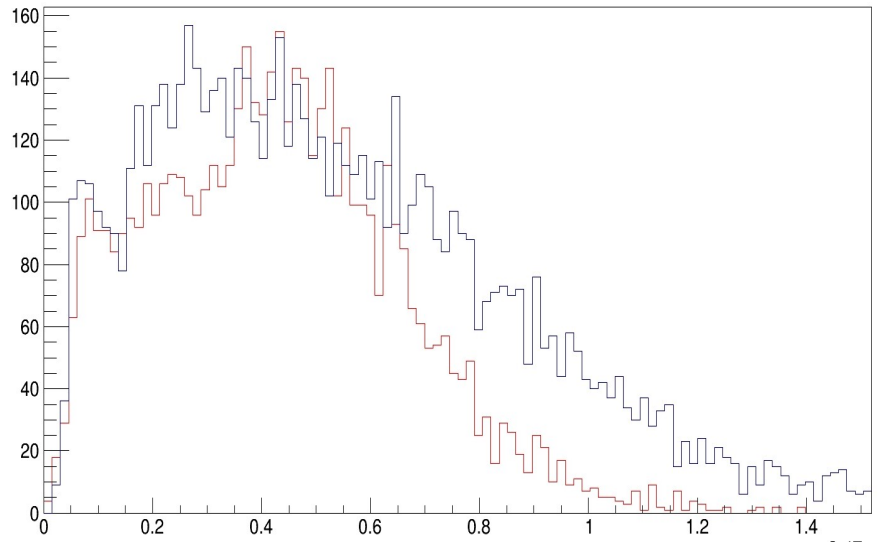
Эффективность: 50,6%



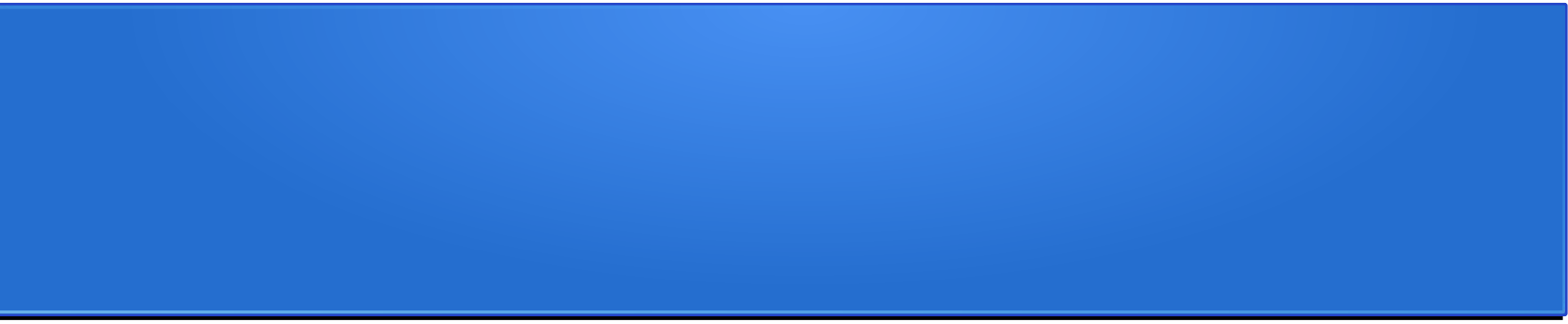
Число хитов в треке



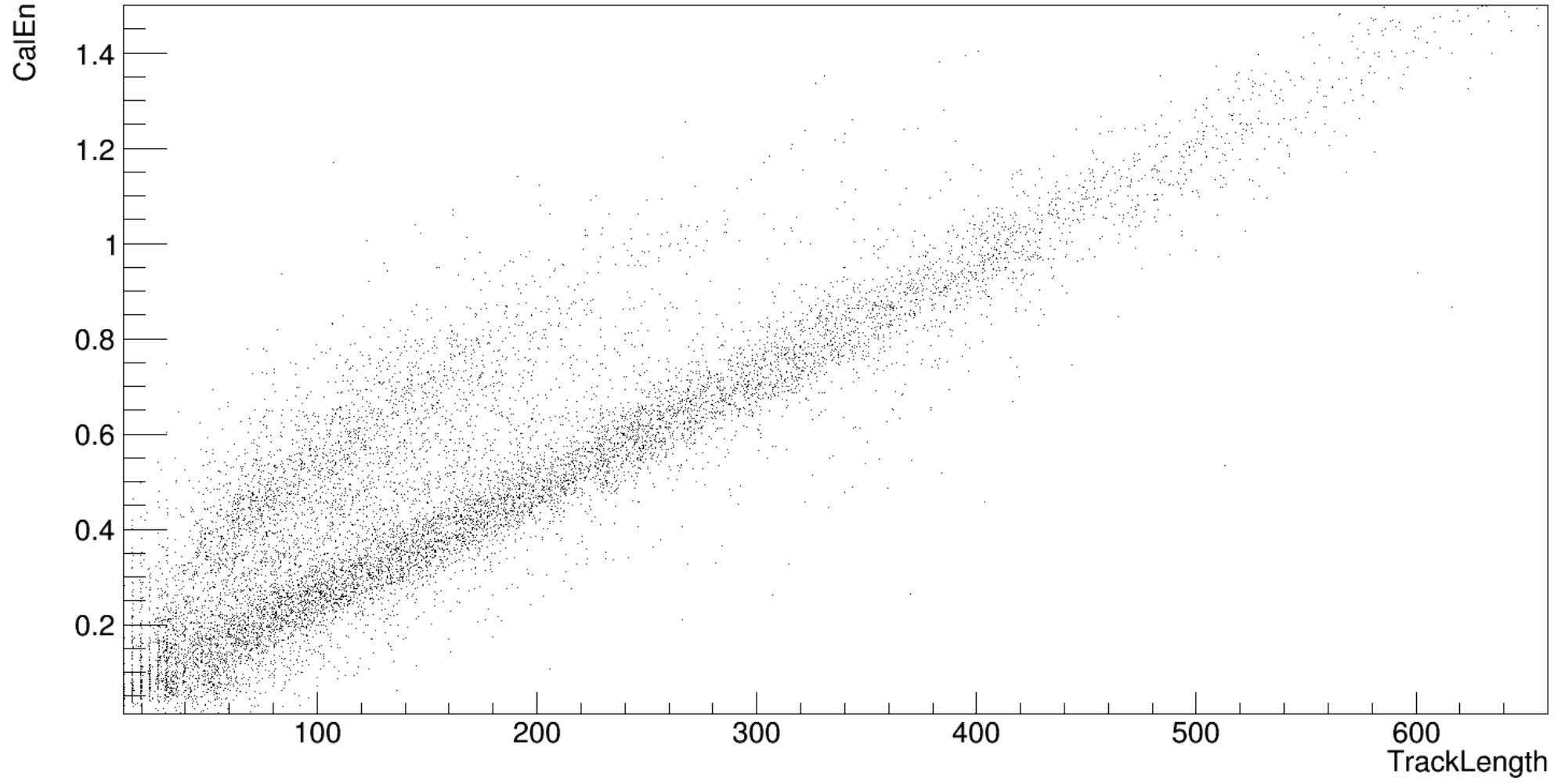
Длина трека, см



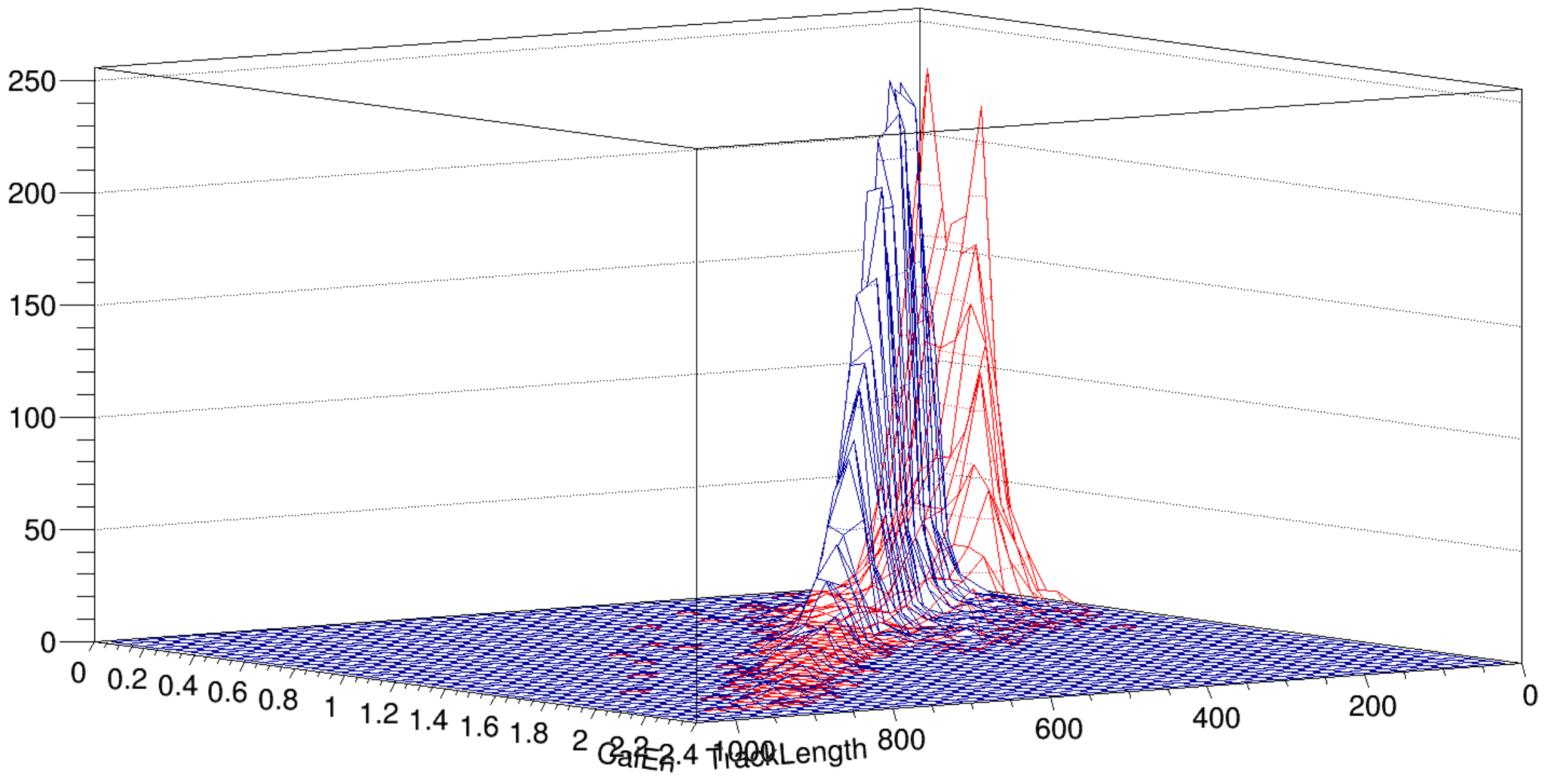
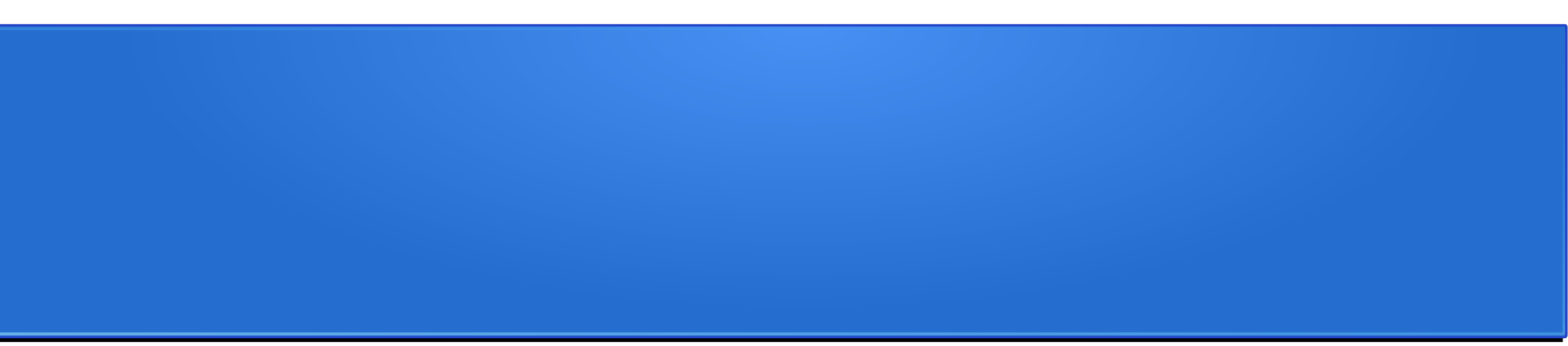
Энергия, ГэВ



Энергия, ГэВ



Длина трека, см



Идентификация

Вероятность определить тип частицы, если она обладает заданными значениями L , E :

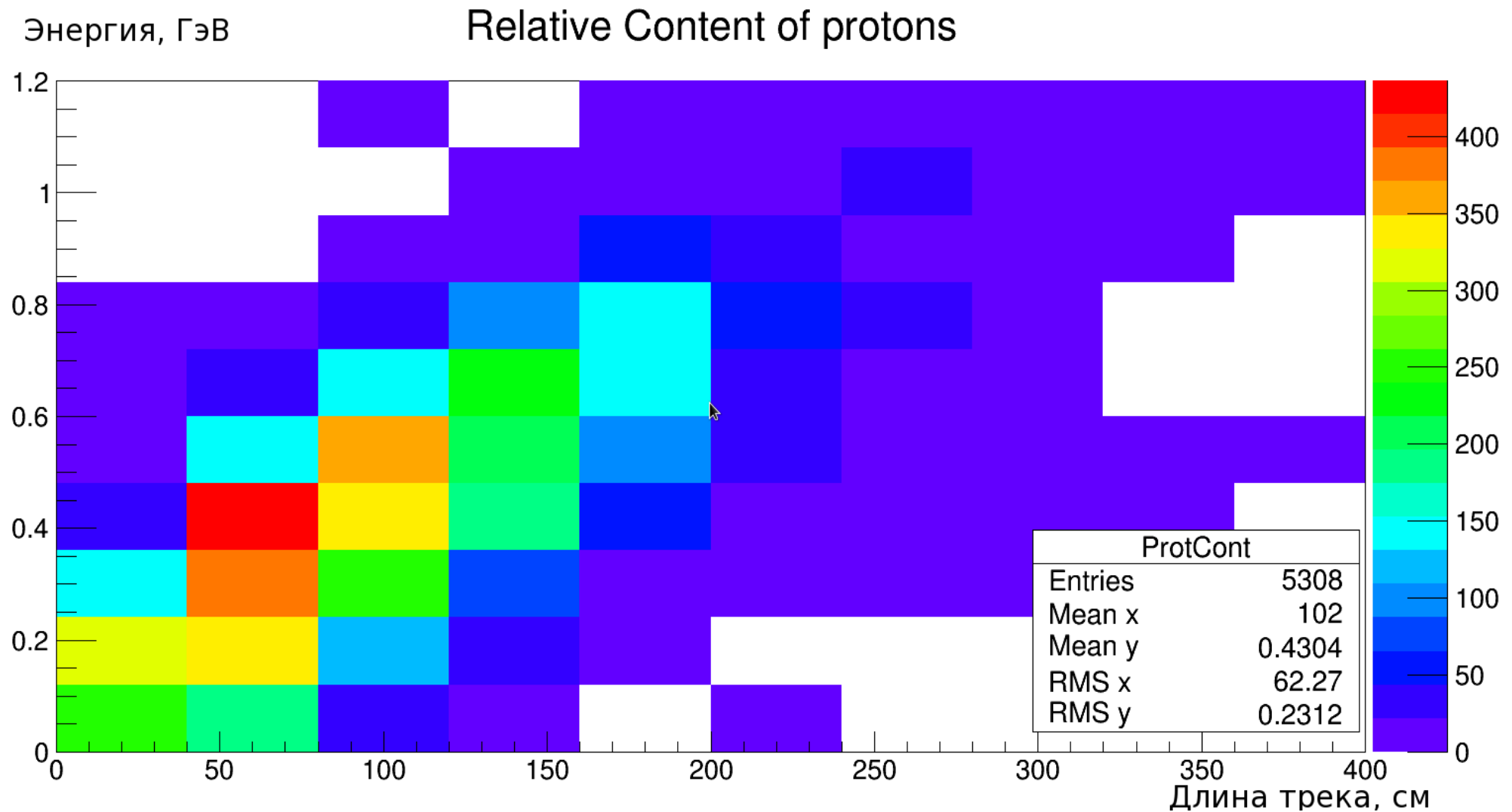
$$P(i|L, E) = \frac{P(E|i, L) \cdot P(i, L)}{\sum_{i=1}^2 [P(E|i, L) \cdot P(i, L)]}$$

Относительное содержание частиц в соответствующем наборе данных:

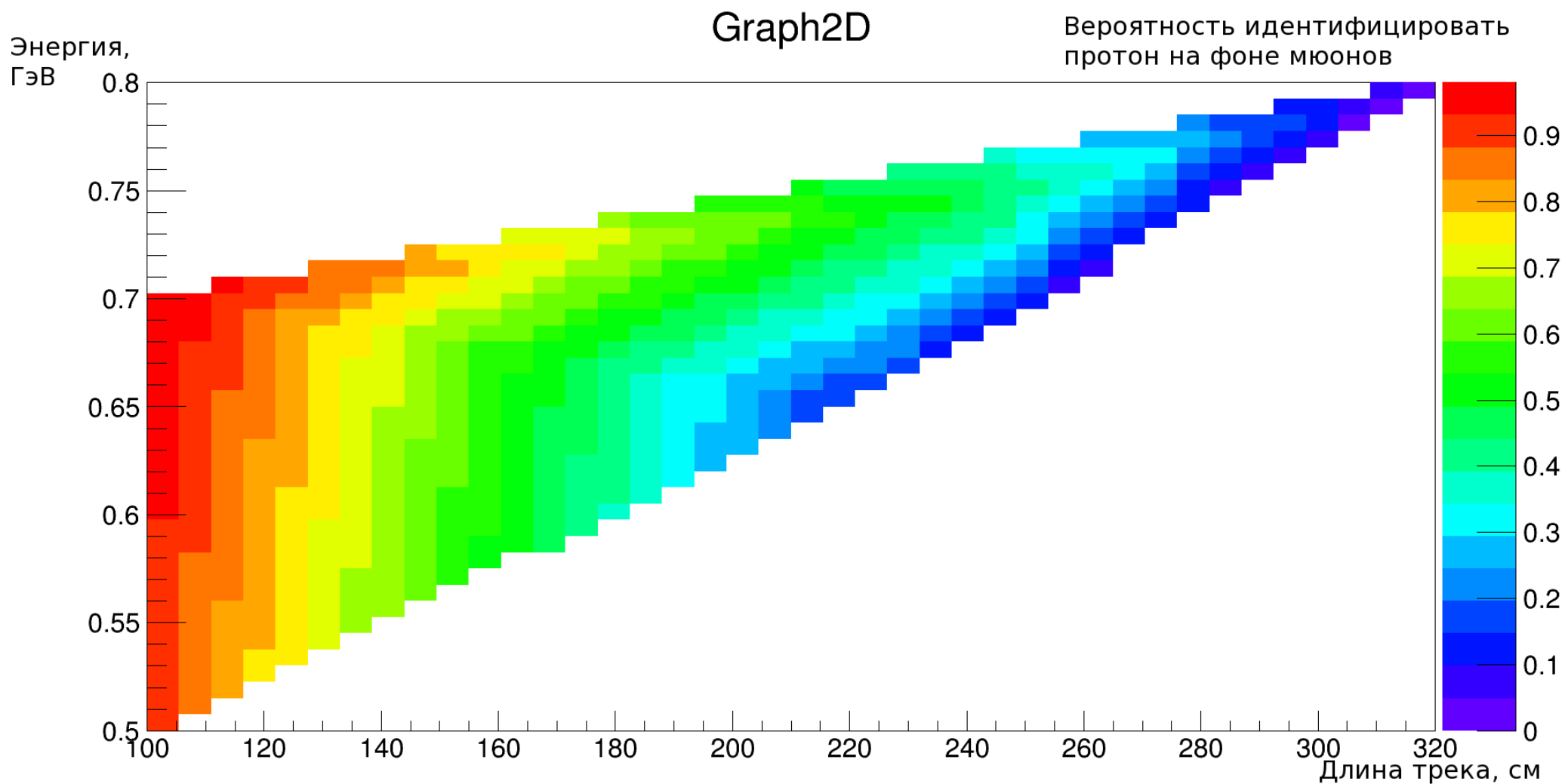
$$P(i, L) = \frac{N_i(L)}{\sum_{i=1}^2 N_i(L)},$$

где $N_i(L)$ – полное число частиц типа i в наборе.

Распределение числа протонов



Вероятность



Выводы

- Были изучены топологии нейтринных событий в Ближнем Детекторе NOvA, разделение которых было необходимо для дальнейшего анализа.
- Была проведена оценка эффективности отбора событий модулем Kalmantrack, лежащими в основе реконструкции. Было показано, что в области энергий до 0,6 ГэВ алгоритмы, лежащие в основе этих модулей, не способны эффективно реконструировать треки протонов.
- Для идентификации протонов в Ближнем Детекторе был предложен метод, основанный на методе, применявшемся ранее в эксперименте HARP. Для исследования возможности идентификации протонов автором был разработан модуль в программной среде Fermilab art.
- Применение данного метода показало, что разделение протонов и других частиц возможно. Построен график иллюстрирующий вероятность, с которой протон может быть выделен из смешанного с мюонами набора частиц.