

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Дипломная работа

Разработка программ реконструкции нейтральных пи-мезонов для электромагнитного калориметра
эксперимента MPD/NICA

Руководитель НИР:
к.ф.-м.н.
нач. лаборатории НИЦ
Курчатовский институт
Блау Д.С.

Москва 2020

Выполнил:
Студент группы Б16-102
Каюков А.А.

Цель и задачи работы

Целью работы является разработка и оптимизация программ реконструкции нейтральных мезонов для калориметра ECal

Задачи:

- Рассмотрение теоретических аспектов разработки программ реконструкции нейтральных кластеров
- Разработка критериев идентификации фотонов
- Применение критериев к парам кластеров для вычисления числа π^0 -мезонов под пиком в спектре инвариантных масс

Комплекс NICA

Исследования:

- Встречные пучки ионов
- Встречные пучки поляризованных протонов и дейтронов
- Выведенные пучки тяжелых ионов и поляризованных частиц



Рисунок 1: Схема комплекса NICA

Эксперимент MPD

Эксперимент будет проводиться на встречных пучках тяжелых ионов. Предназначен для исследования фазовой диаграммы КХД в области высоких плотностей и температур, включая поиск основных состояний адронной материи и фазовые переходы.

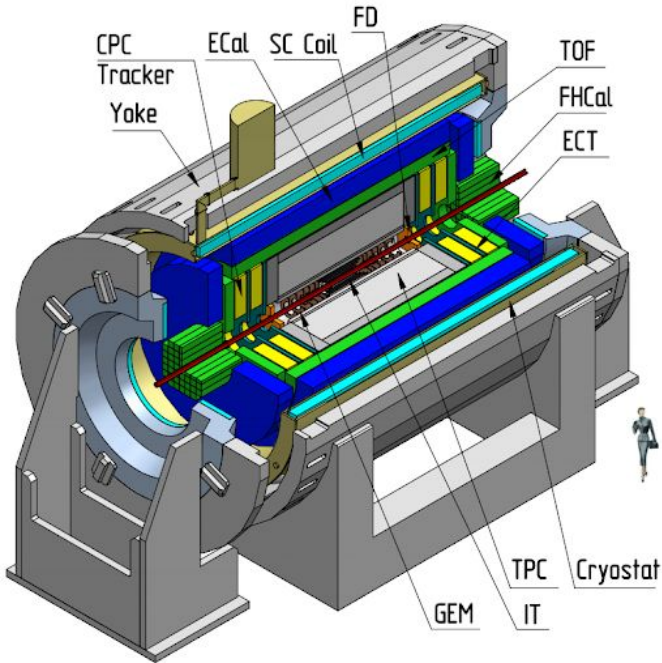


Рисунок 2: Схема установки MPD

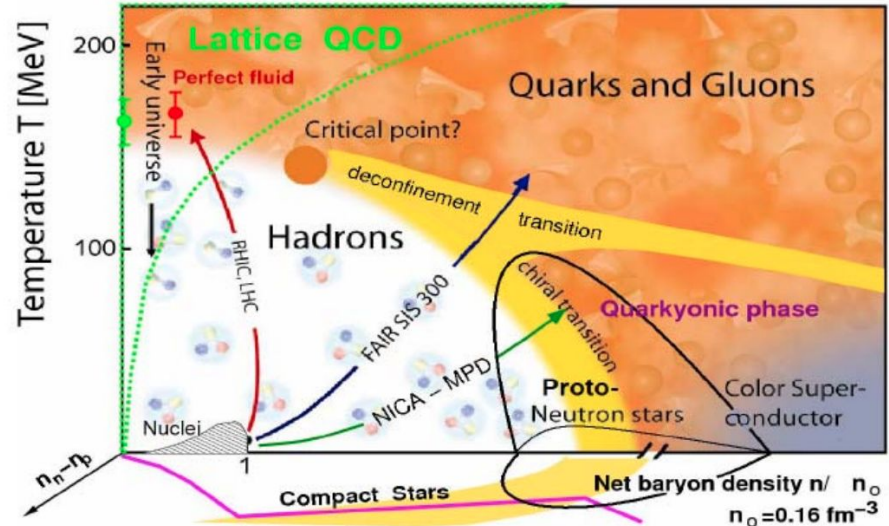


Рисунок 3: Фазовая диаграмма КХД

Электромагнитный калориметр ECal

Измерение пространственного положения и энергии фотонов и электронов, рожденных в столкновениях тяжелых ионов.

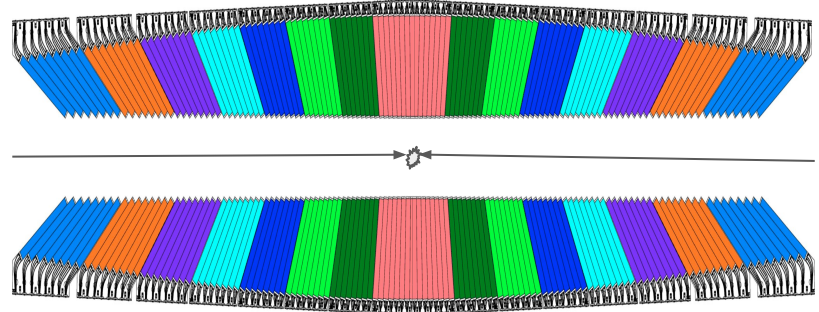
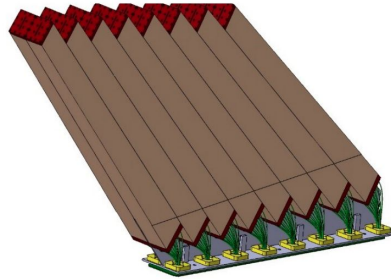
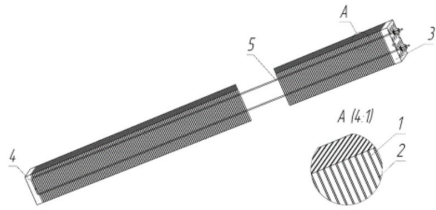


Рисунок 4: Принципиальная схема башни калориметра ECal, где
1 - сцинтилляционная пластина,
2 - свинцовая пластина,
3 и 4 - сдавливающие пластины,
5 - натягивающая струна.

Рисунок 5: Один модуль калориметра

Рисунок 6: Калориметр в разрезе

Поперечные размеры башни	40x40
Поперечные размеры модуля	80x320
Число слоев	220
Радиус Мольера, мм	62
Радиационная длина, X	11.8

Генерация, симуляция и реконструкция

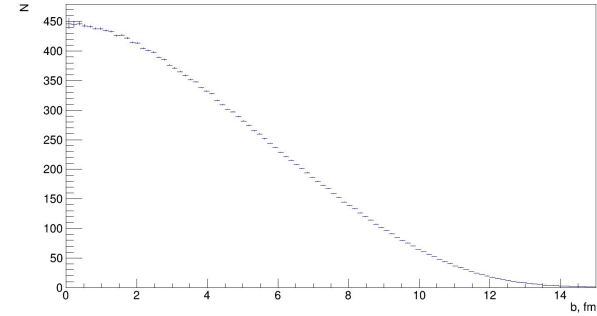


Рисунок 7: Распределение множественности нейтральных пи-мезонов по прицельному параметру

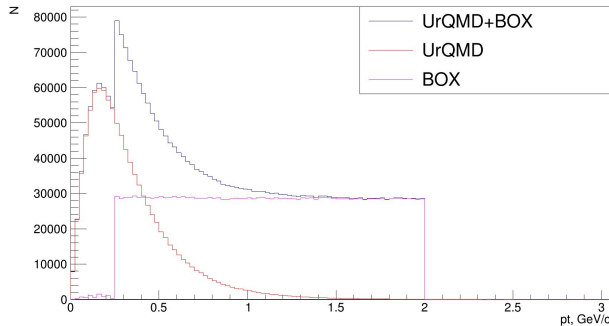


Рисунок 8: Распределение по поперечному импульсу для различных генераторов

Генерация UrQMD с прицельным параметром от 0 до 15 фм:
100k - Au + Au

Симуляция и реконструкция:
Используется 10к событий и добавляется к каждому событию 200 нейтральных пи-мезонов в диапазоне поперечного импульса 0.25 - 2.00 GeV/c. Симуляция проводилась с помощью пакета программ GEANT4, включенных в пакет MPDRoot. Реконструкция проводилась на основе фильтра Калмана, также реализованного в MPDRoot.

Поиск заряженных кластеров

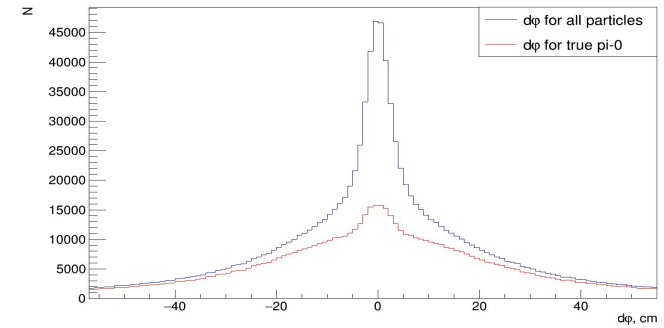
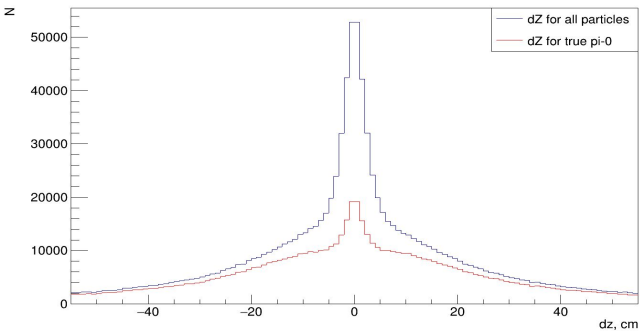


Рисунок 9: Распределения разности координат между кластером и ближайшим к нему треком ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ)

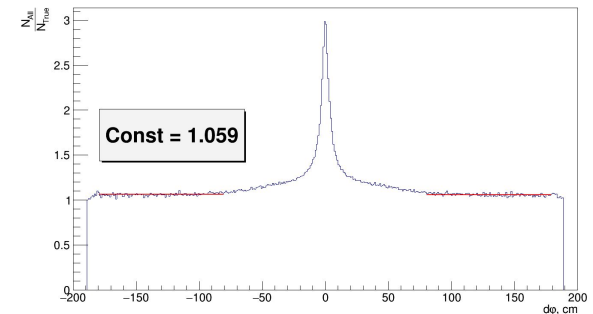
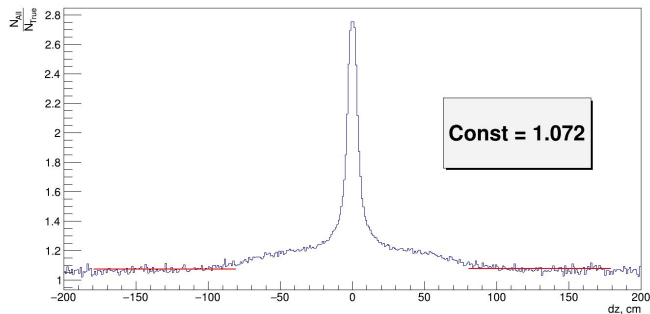
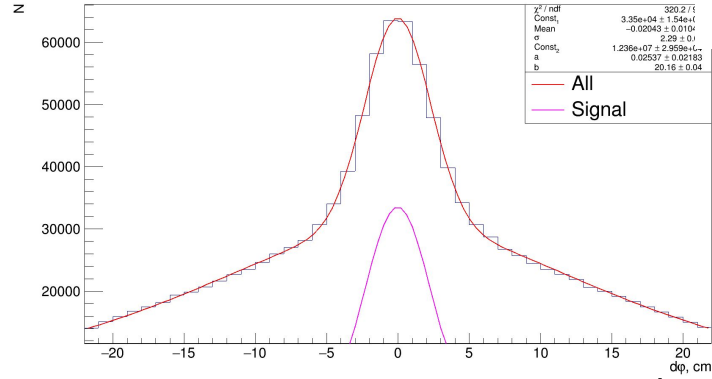
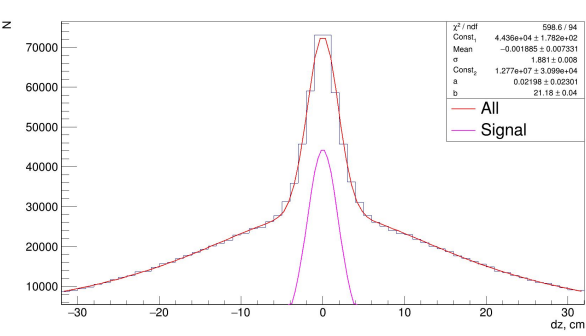


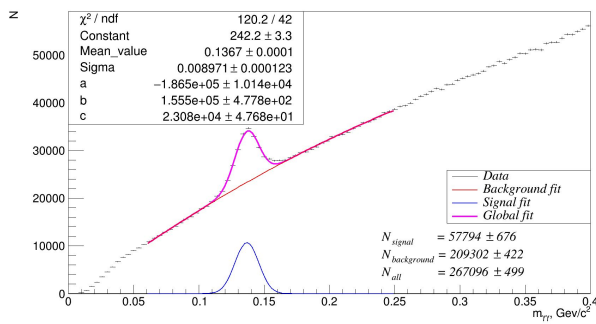
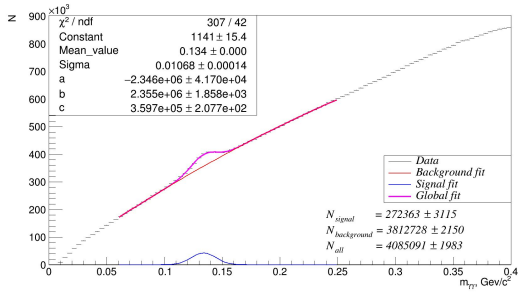
Рисунок 10: Отношение распределений разности координат между кластером и треком всех кластеров к кластерам от π^0 распада ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ).

Поиск заряженных кластеров



$$N_1 \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x - \mu^2}{\sigma} \right)^2 \right] + \frac{N_2}{(x - a)^2 + b}$$

Рисунок 11: Разность координат между кластером и заряженным треком с фоном и без ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ).



a)

b)

Рисунок 12: Распределения двух-фотонных инвариантных масс пар кластеров под действием критерия на заряженные кластеры для $1.25 < p_t < 1.50$ (а) и $1.75 < p_t < 2.00$ (б).

Дисперсии кластеров

Ковариационная матрица кластера:

$$S = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{zx} \\ s_{zx} & s_{zz} \end{pmatrix},$$

$$s_{xx} = \langle (x - \bar{x})^2 \rangle,$$

$$s_{xz} = \langle (x - \bar{x})(z - \bar{z}) \rangle$$

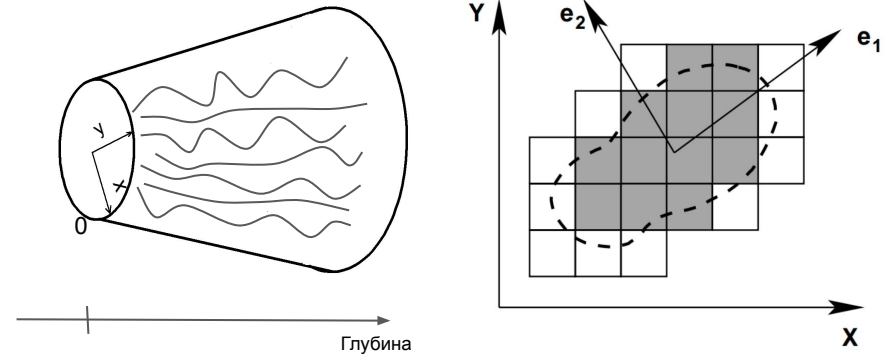


Рисунок 13: Схематичный вид поверхности кластера (а) и плоскость пересечения этой поверхности с поверхностью калориметра

Дисперсии кластеров

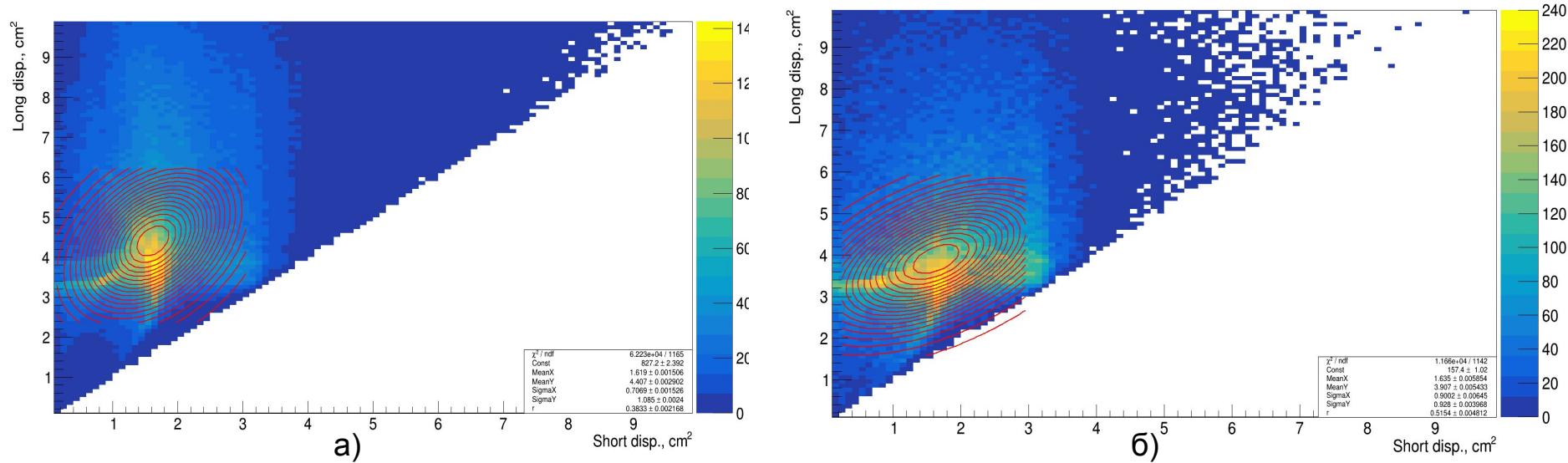


Рисунок 14: Распределение дисперсий кластеров для $0.0 < E < 0.1$ (а) и $0.4 < E < 0.5$ (б).

Для каждого диапазона энергий фитируется двумерным распределением Гаусса:

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_x \sigma_y} \cdot e \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} - 2r_{xy} \cdot \frac{(x-\mu_x)}{\sigma_x} \frac{(y-\mu_y)}{\sigma_y} \right) \right]$$

Дисперсии кластеров

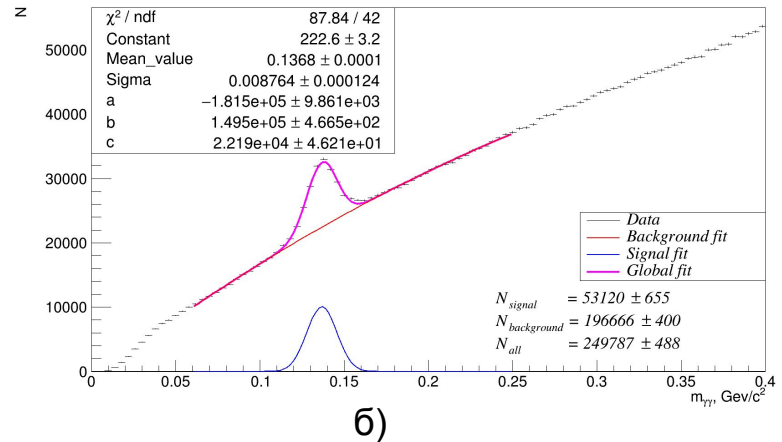
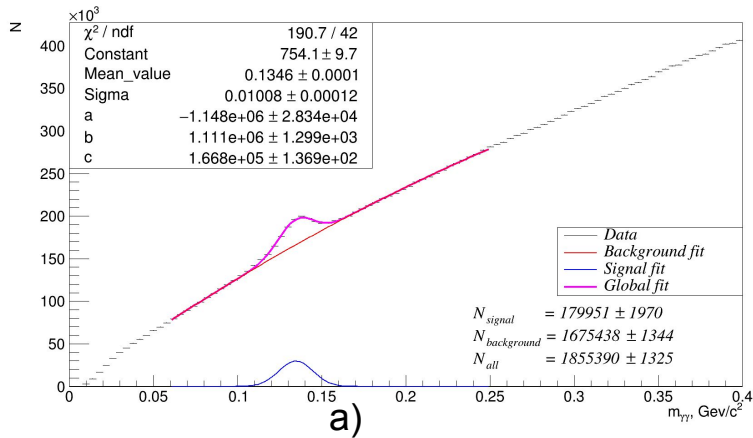


Рисунок 15: Распределения двух-фотонных инвариантных масс пар кластеров под действием критерия на дисперсию для $1.25 < p_t < 1.50$ (а) и $1.75 < p_t < 2.00$ (б).

Учет временного разрешения калориметра

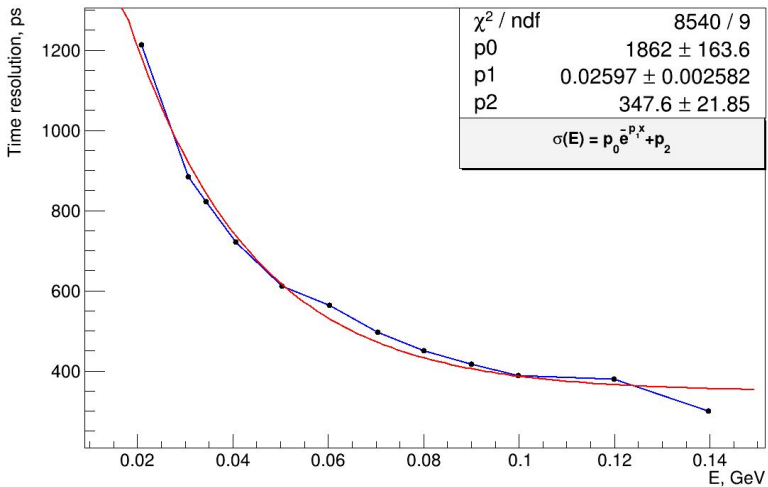


Рисунок 16: Зависимость временного разрешения от энергии кластера

Информация о времени образования кластера размывалась временным разрешением с помощью функции Гаусса:
 $t = t + F(0, \text{res})$, где $\text{res} = \text{TimeResolution}(E)$ - функция, зависящая от энергии кластера.

Учет временного разрешения калориметра

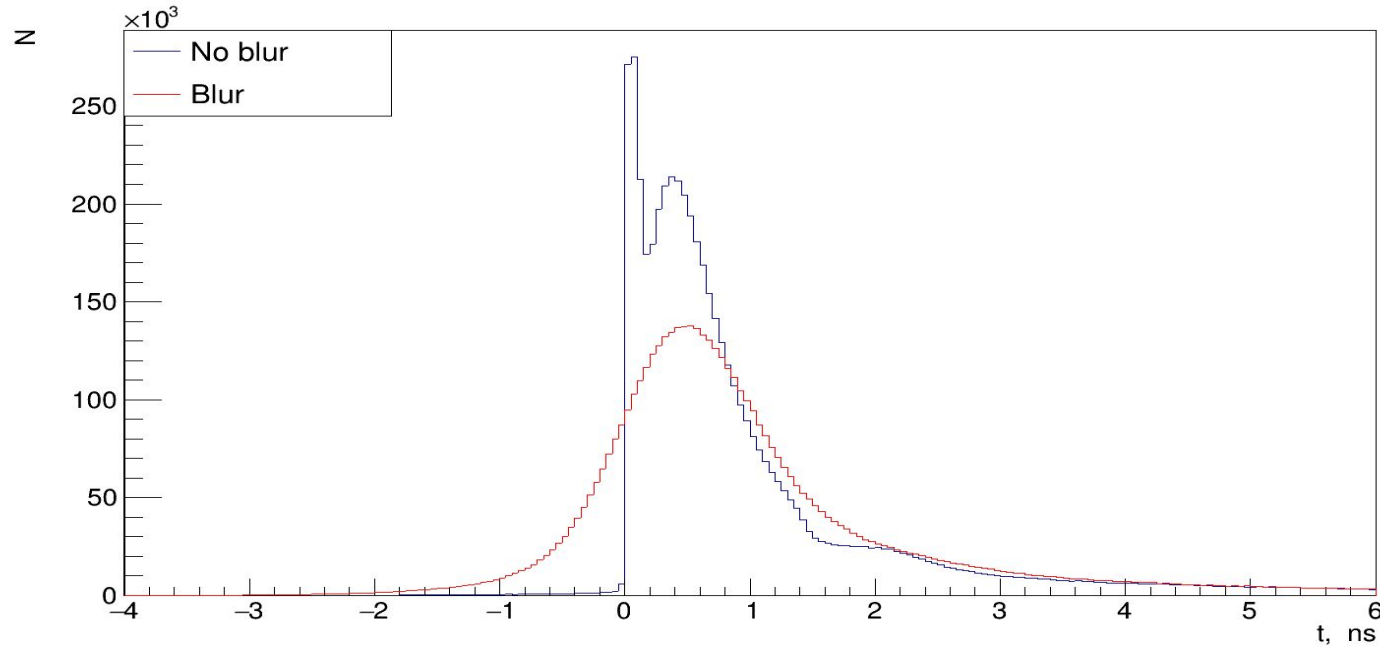
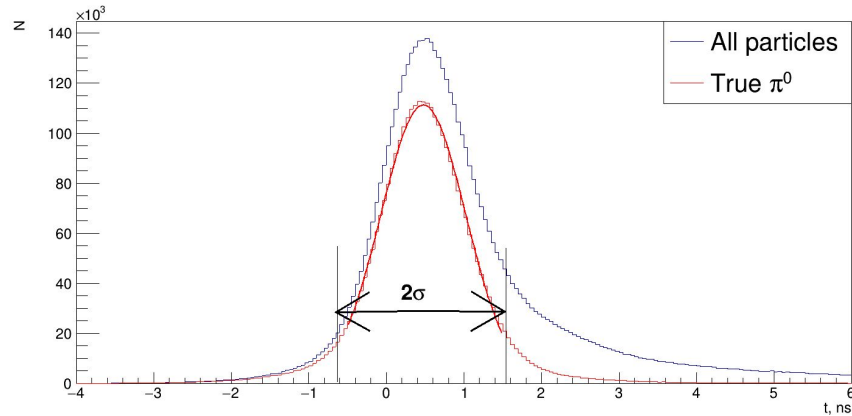


Рисунок 17: Распределение по времени пролета частицы до размытия и после размытия для всех частиц.

Критерий на время пролета



$$\Delta t = t_{clu} - \frac{\Delta r}{c}$$

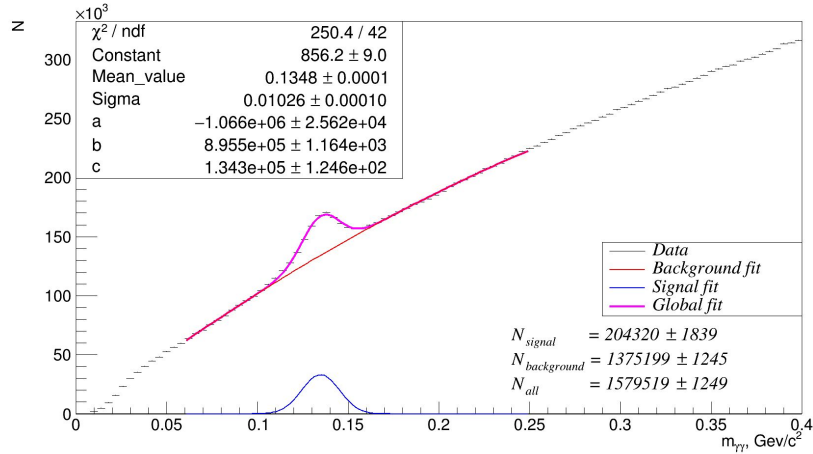
t_{clu} - экспериментально измеренное время появления кластера

Δr - расстояние от кластера до первичной вершины

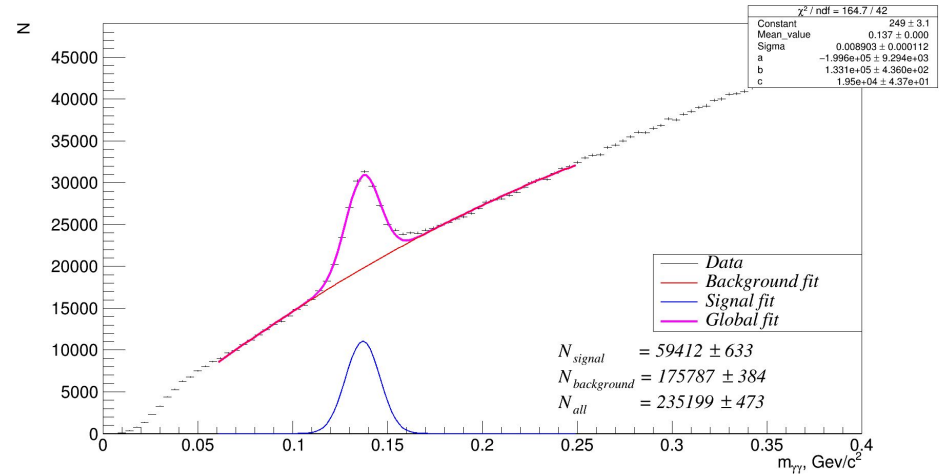
c - скорость света

Рисунок 14: Распределение по времени пролета частицы для фотонов, рожденных в процессе распада π^0

Критерий на время пролета



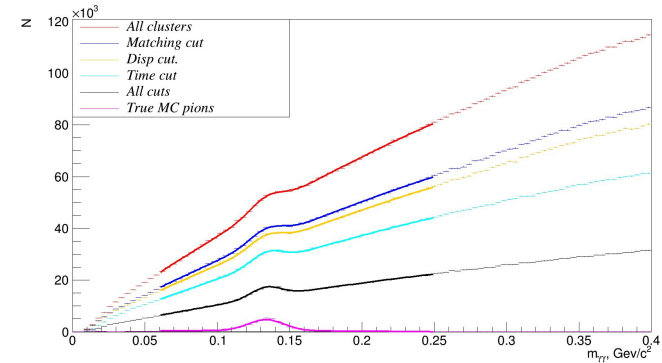
а)



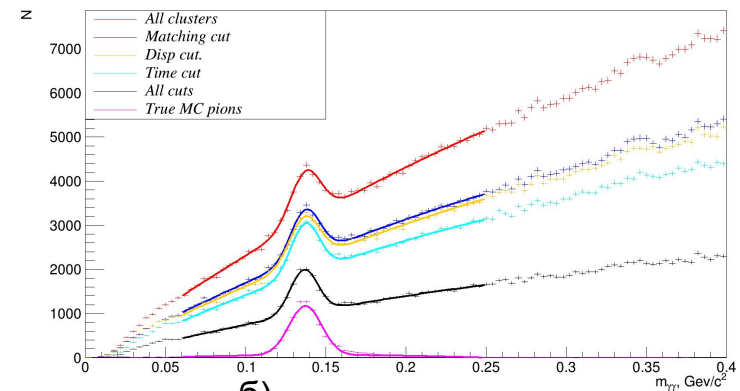
б)

Рисунок 15: Распределения двух-фотонных инвариантных масс пар кластеров под действием критерия на время пролета для $1.25 < p_t < 1.50$ (а) и $1.75 < p_t < 2.00$ (б).

Применение всех критериев



а)



б)

Рисунок 16: Распределения двух-фотонных инвариантных масс пар кластеров под действием всех критериев для $1.00 < p_t < 1.25$ (а) и $1.75 < p_t < 2.00$ (б).

Таблица 1: Эффективности критериев

Pt, ГэВ	Veto	Time	Disp	All
(0.75-1.00)	0.87	0.95	0.76	0.64
(1.00-1.25)	0.95	0.88	0.78	0.67
(1.25-1.50)	0.96	0.89	0.80	0.69
(1.50-1.75)	0.96	0.89	0.81	0.71
(1.75-2.00)	0.97	0.90	0.81	0.72

Таблица 2: Отношение сигнала к фону

Pt, ГэВ	All	Veto	Time	Disp	All
(0.75-1.00)	0.033	0.046	0.057	0.043	0.11
(1.00-1.25)	0.055	0.071	0.098	0.071	0.17
(1.25-1.50)	0.087	0.113	0.153	0.112	0.20
(1.50-1.75)	0.136	0.178	0.231	0.180	0.280
(1.75-2.00)	0.217	0.286	0.354	0.283	0.372

Заключение

- Разработаны критерии для отбора нейтральных кластеров
- Вычислены эффективности регистрации нейтральных мезонов для каждого из критериев
- Вычислены отношения сигнала к фону для каждого из критериев

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Дипломная работа

Разработка программ реконструкции нейтральных пи-мезонов для электромагнитного калориметра
эксперимента MPD/NICA

Руководитель НИР:
к.ф.-м.н.
СНС НИЦ Курчатовский
институт
Блау Д.С.

Москва 2020

Выполнил:
Студент группы Б16-102
Каюков А.А.