

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

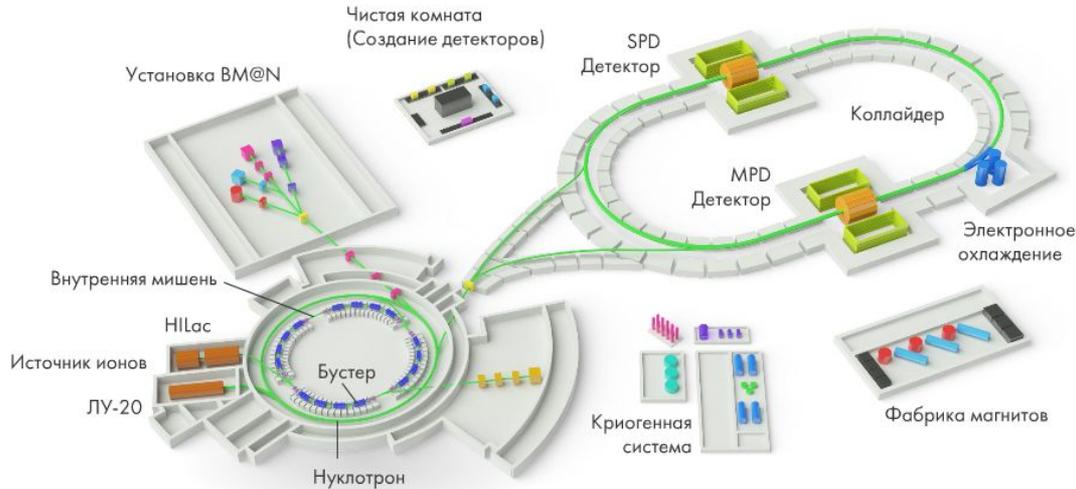


Рисунок 1: Схема комплекса NICA

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.

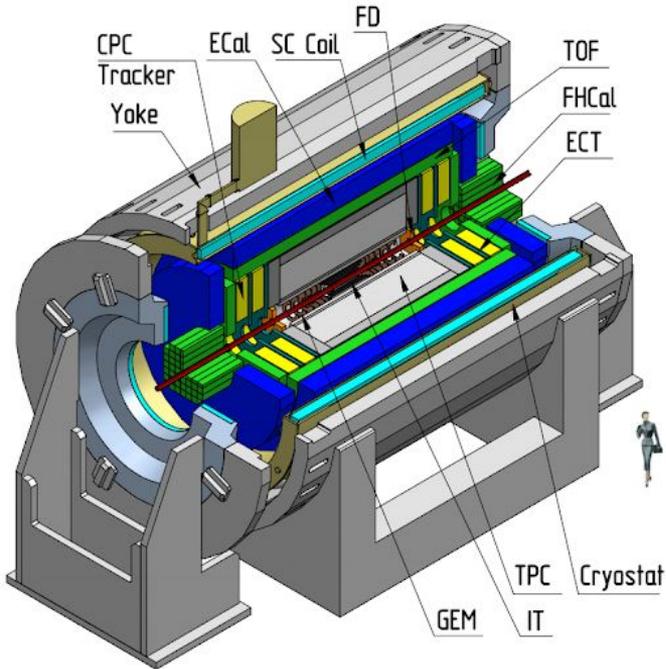


Рисунок 2: Схема установки MPD

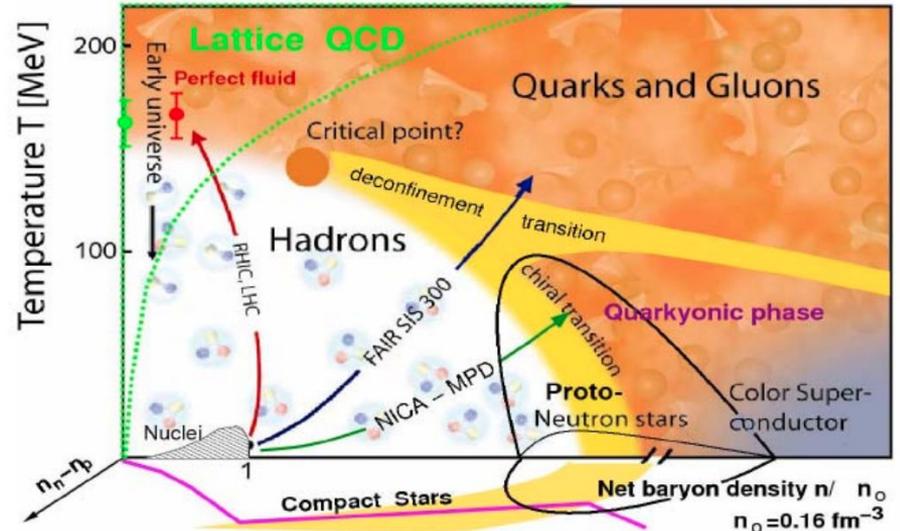


Рисунок 3: Фазовая диаграмма КХД

Электромагнитный калориметр ECal

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

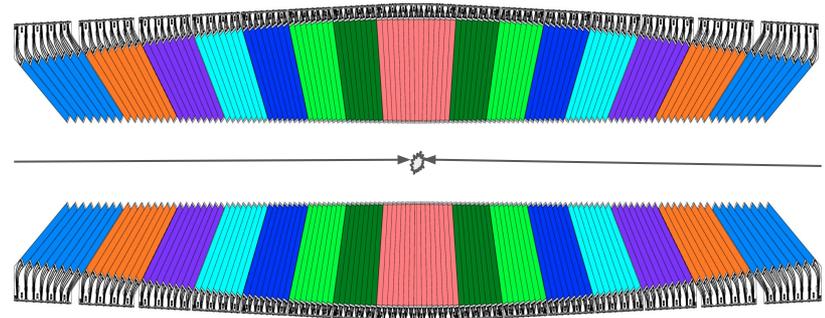
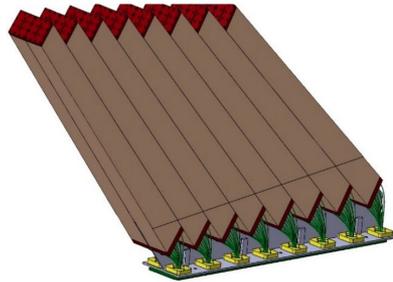
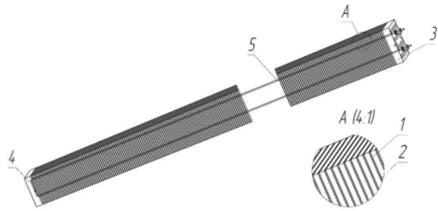


Рисунок 4: Принципиальная схема башни калориметра ECal, где
1 - сцинтилляционная пластина,
2 - свинцовая пластина,
3 и 4 - сдавливающие пластины,
5 - натягивающая струна.

Рисунок 5: Один модуль калориметра

Рисунок 6: Калориметр в разрезе

Генерация, симуляция и реконструкция

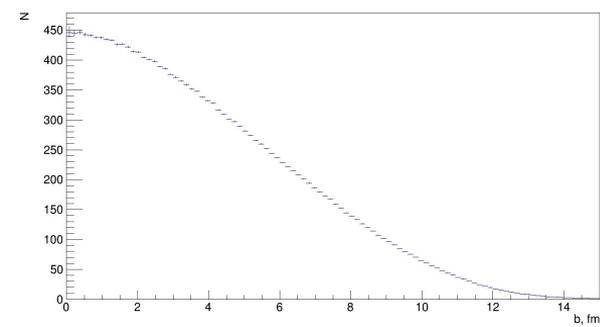


Рисунок 7: Распределение множественности нейтральных пи-мезонов по прицельному параметру

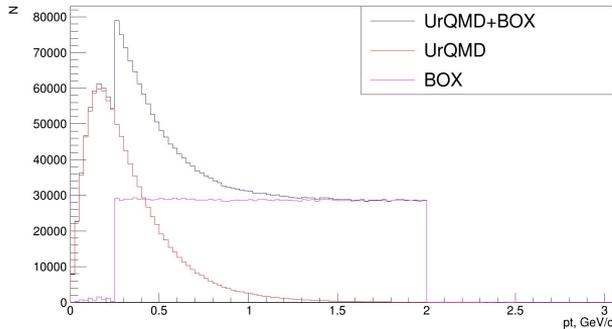


Рисунок 8: Распределение по поперечному импульсу для различных генераторов

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

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

Поиск заряженных кластеров

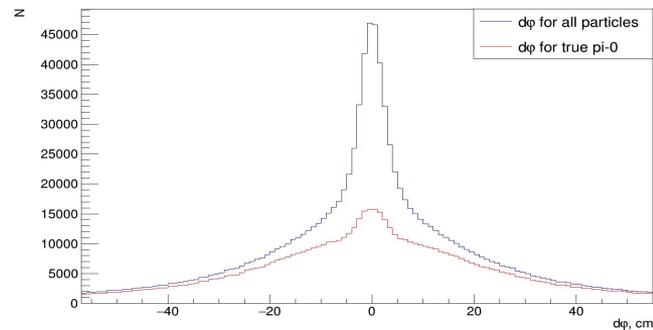
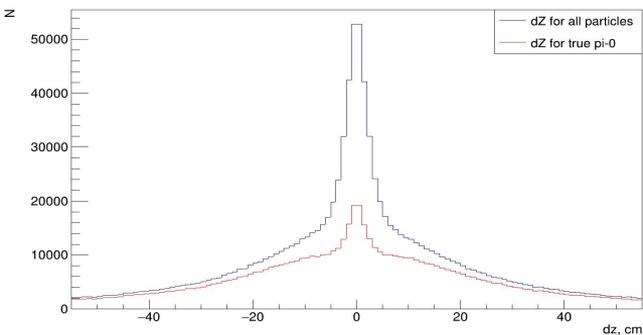


Рисунок 9: Распределения разности координат между кластером и ближайшим к нему треком ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ)

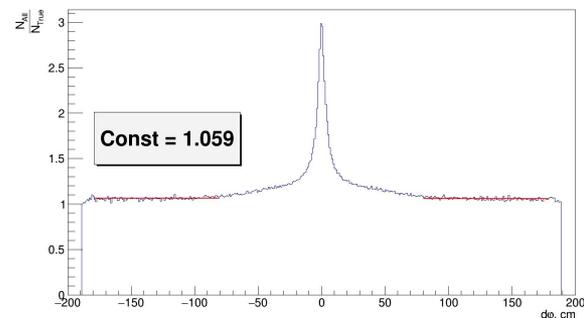
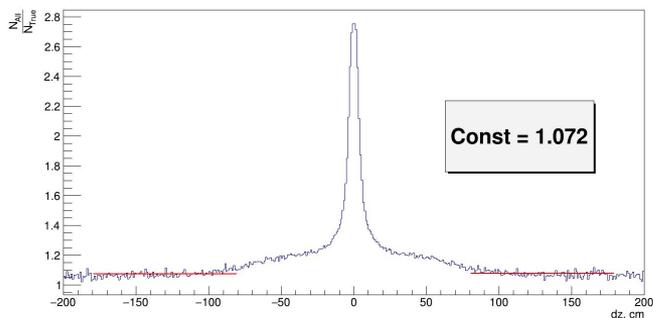


Рисунок 10: Отношения распределений разности координат между кластером и треком всех кластеров к кластерам от пи0 распада ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ).

Поиск заряженных кластеров

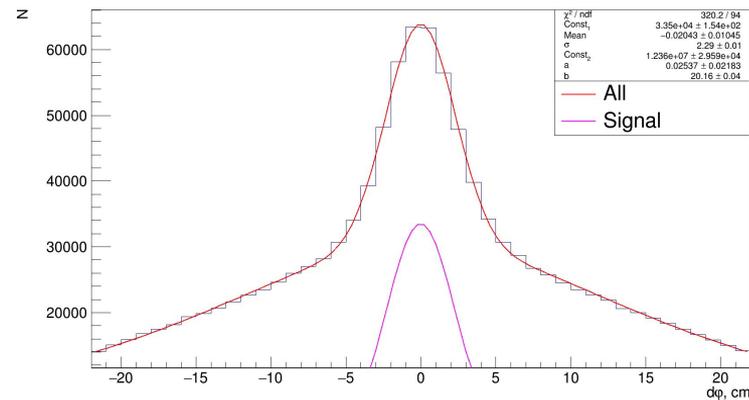
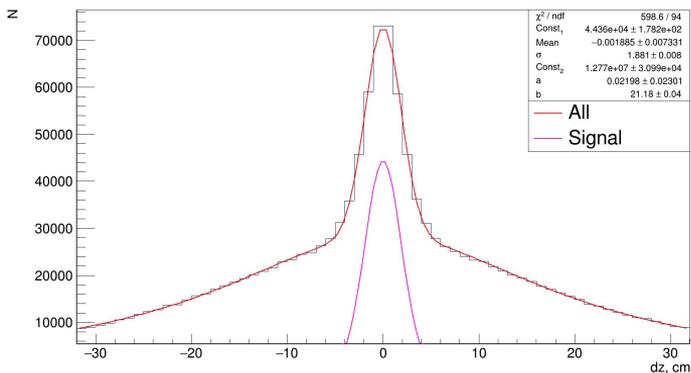
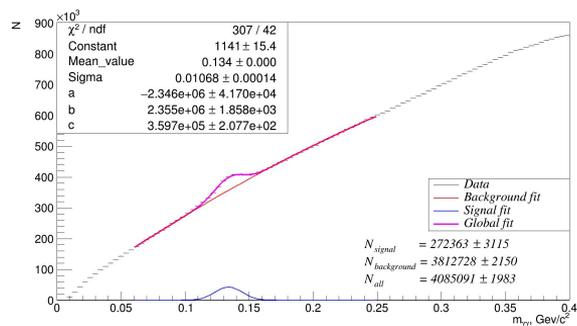
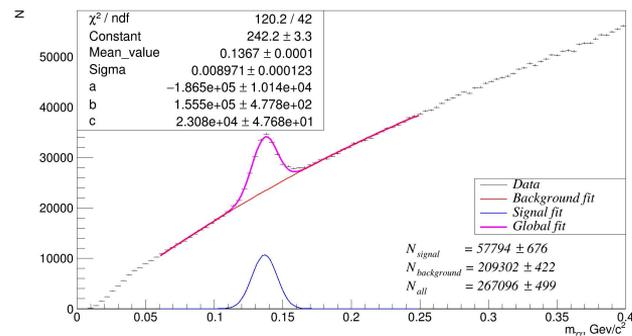


Рисунок 11: Разность координат между кластером и заряженным треком с фоном и без ($0.1 < E < 0.2$ ГэВ).



а)



б)

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:

$$S = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xz} \\ S_{zx} & S_{zz} \end{pmatrix}$$

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

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

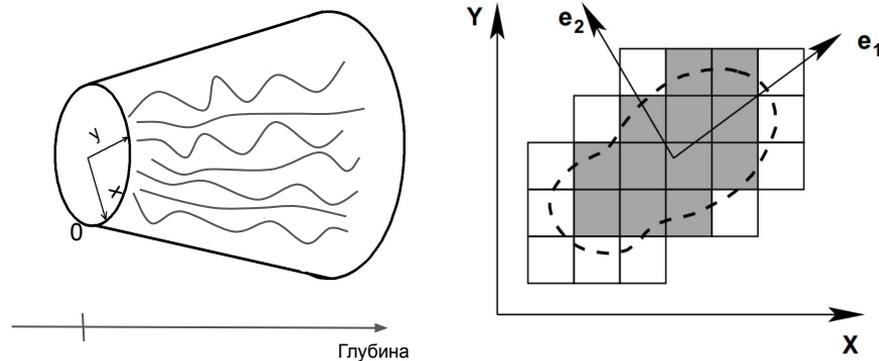


Рисунок 13: Схематичный вид поверхности кластера и плоскость пересечения этой поверхности с поверхностью калориметра

Дисперсии кластеров

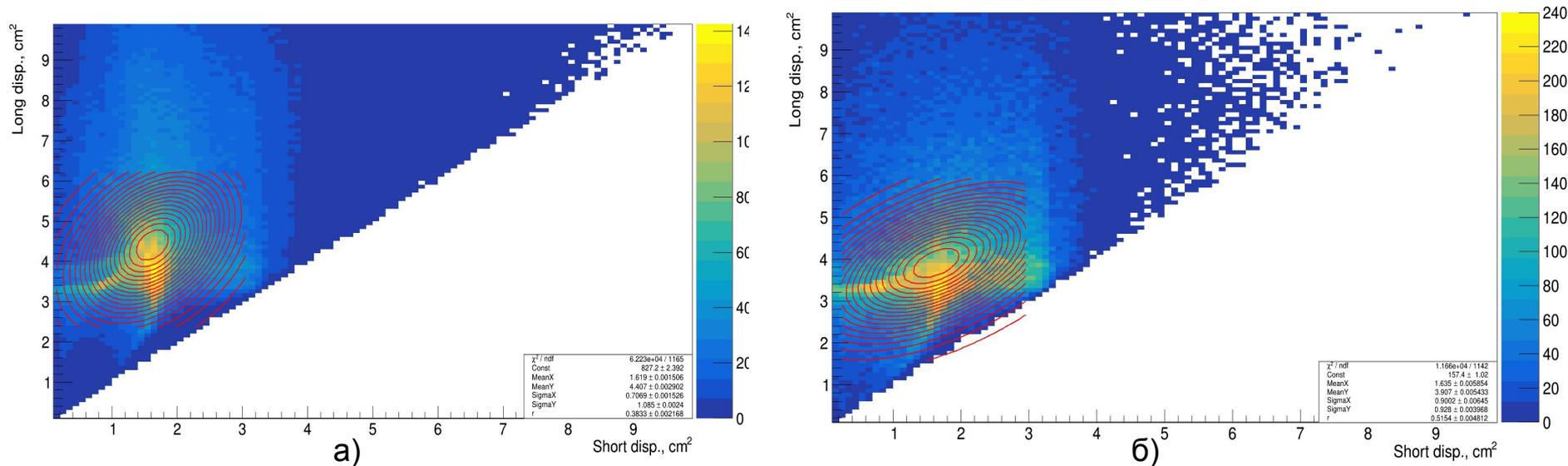


Рисунок 14: Распределение дисперсий кластеров для $0.0 < E < 0.1$ (а) и $0.4 < E < 0.5$ (б).

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

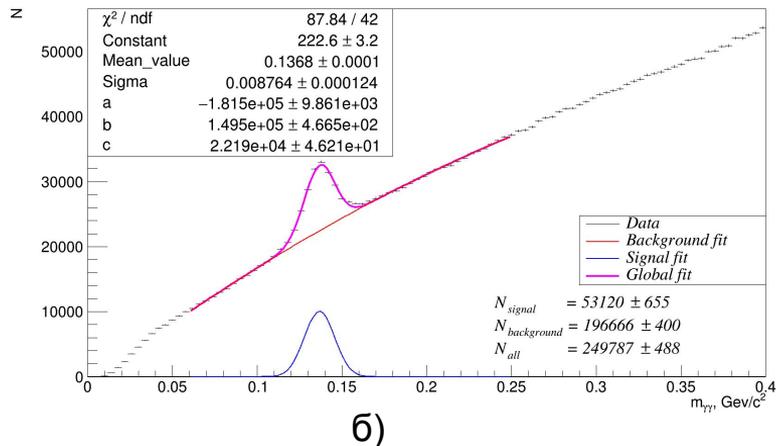
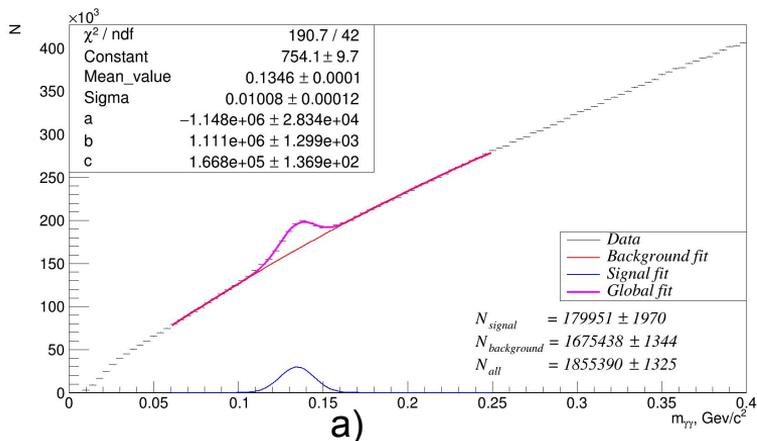


Рисунок 15: Распределения двух-фотонных инвариантных масс пар кластеров под действием критерия на дисперсию для $1.25 < p_t < 1.50$ (а) и $1.75 < p_t < 2.00$ (б).

Учет временного разрешения калориметра

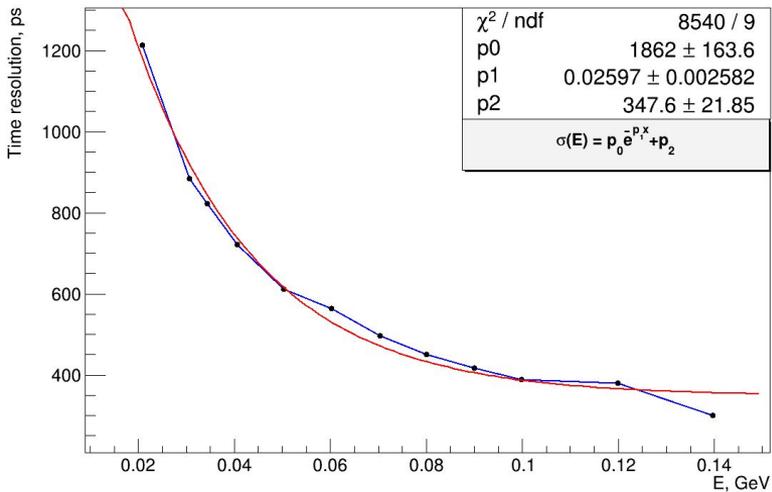


Рисунок 16: Зависимость временного разрешения от энергии кластера

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

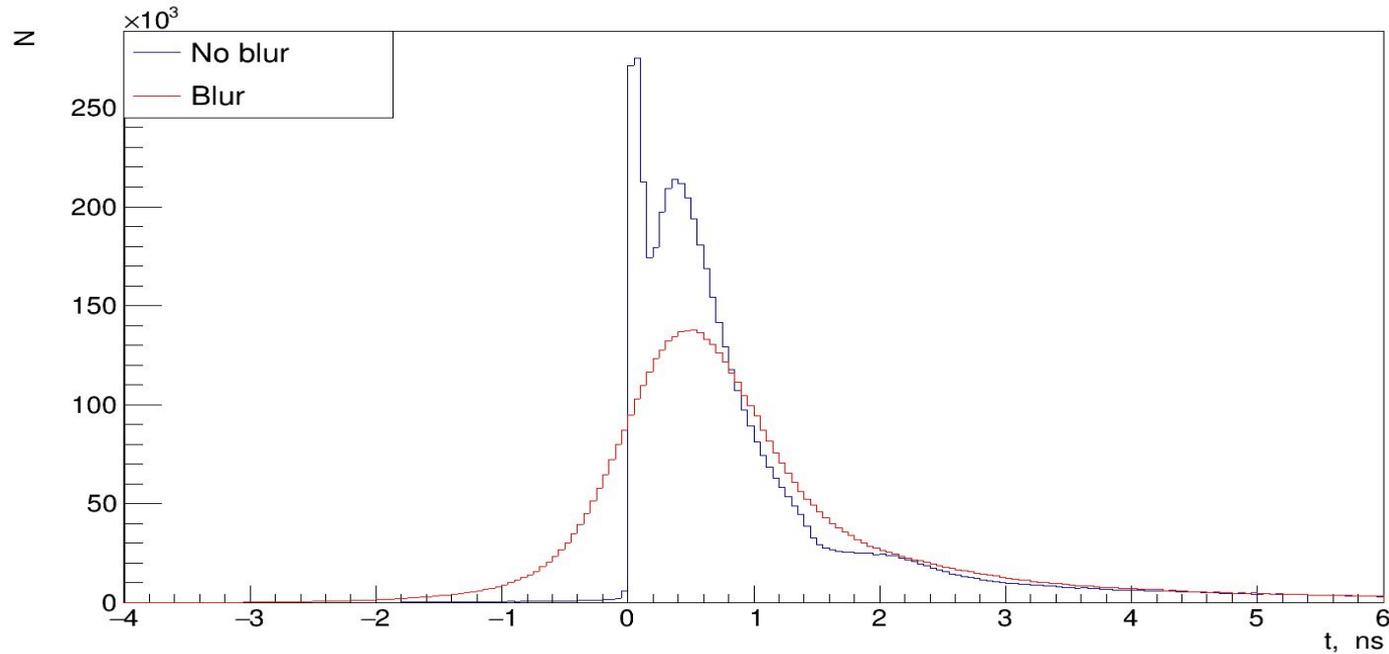
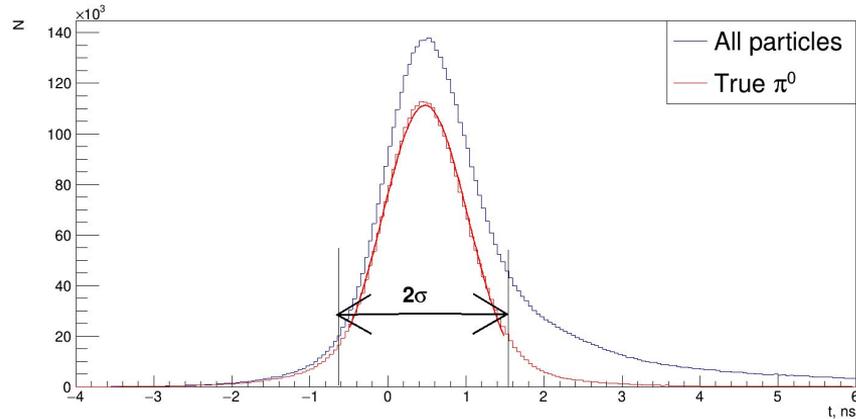


Рисунок 17: Распределение по времени пролета частицы до размытия и после размытия для всех частиц.

Критерий на время пролета



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

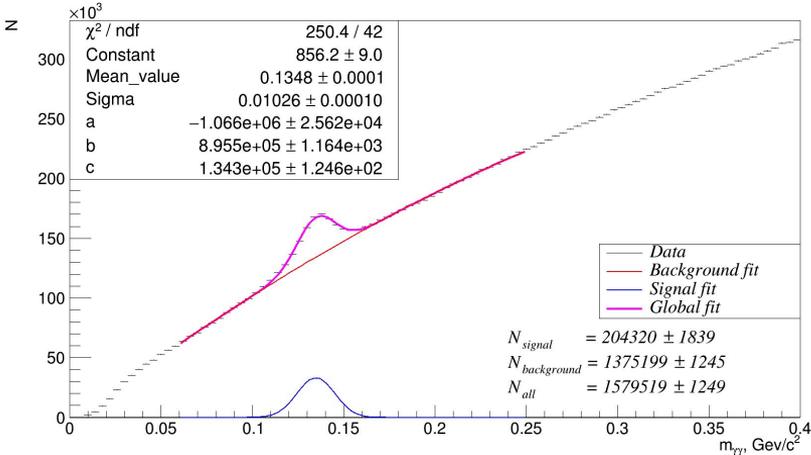
t_{clu} - экспериментально измеренное время появления кластера

Δr - расстояние от кластера до первичной вершины

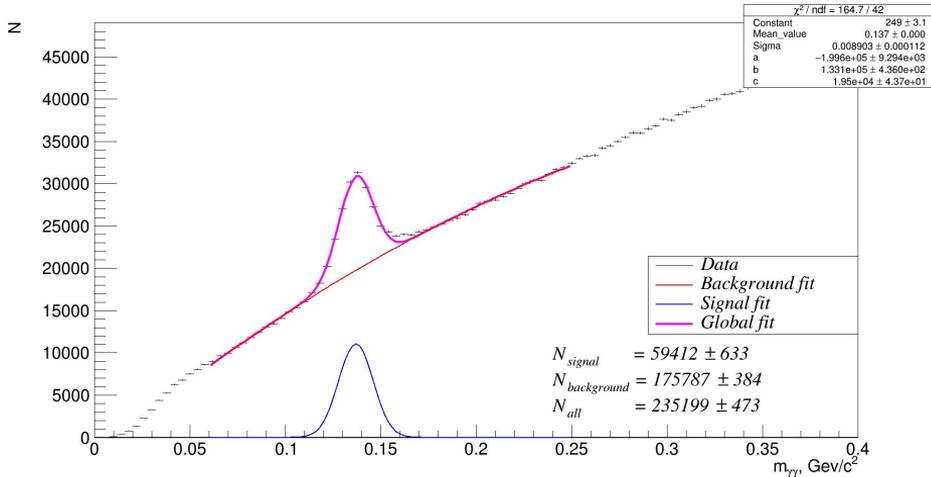
c - скорость света

Рисунок 18: Распределение по времени пролета частицы для фотонов, рожденных в процессе распада π^0

Критерий на время пролета



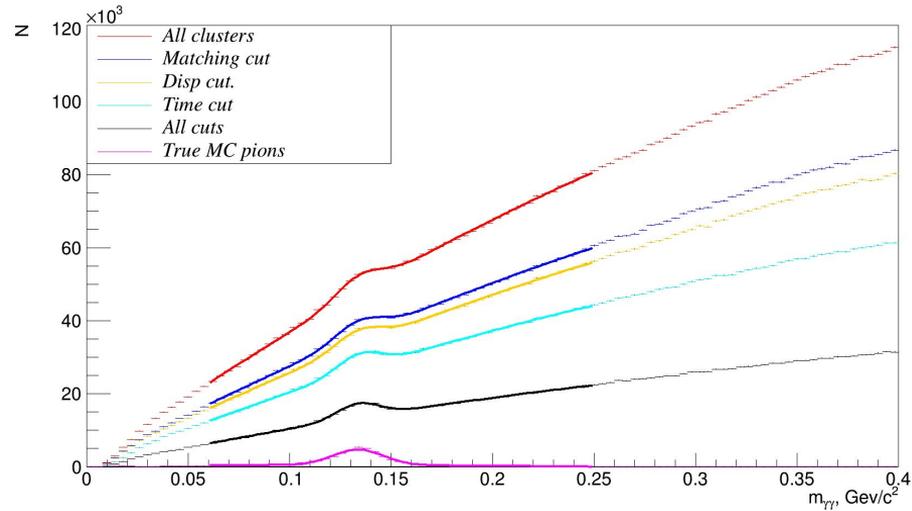
а)



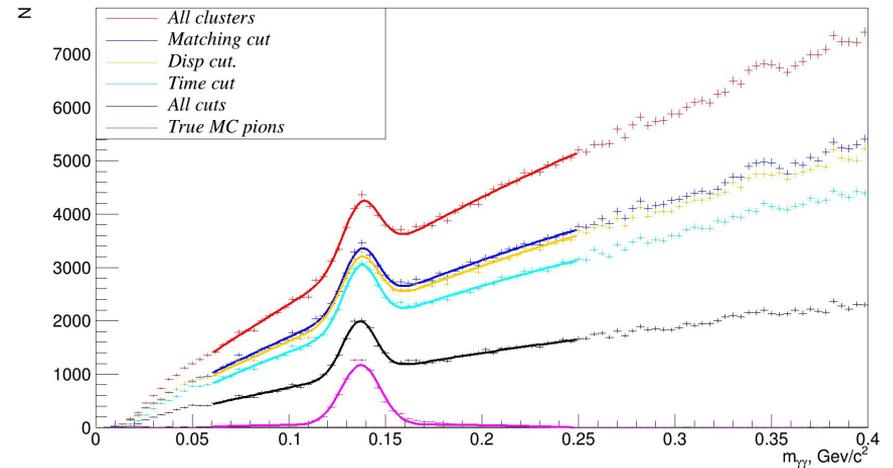
б)

Рисунок 19: 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 20: 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).

Применение всех критериев

Таблица 1: Эффективности критериев

Pt, ГэВ	Veto	Time	Disp	Both cuts
(0.75-1.00)	0.764 ± 0.011	0.715 ± 0.009	0.682 ± 0.011	0.606 ± 0.006
(1.00-1.25)	0.728 ± 0.010	0.731 ± 0.008	0.661 ± 0.009	0.625 ± 0.006
(1.25-1.50)	0.750 ± 0.009	0.754 ± 0.008	0.681 ± 0.009	0.649 ± 0.006
(1.50-1.75)	0.778 ± 0.010	0.787 ± 0.009	0.719 ± 0.009	0.681 ± 0.007
(1.75-2.00)	0.807 ± 0.013	0.823 ± 0.012	0.756 ± 0.012	0.713 ± 0.009

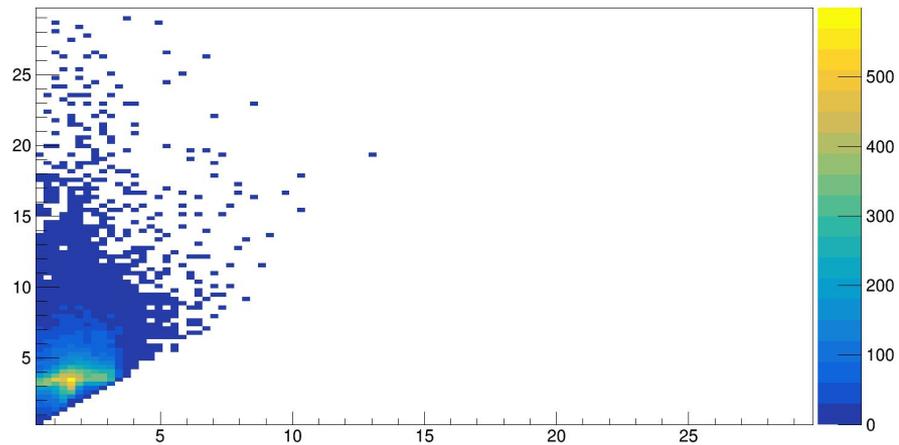
Таблица 2: Отношение сигнала к фону

Pt, ГэВ	All	Veto	Time	Disp	Both cuts
(0.75-1.00)	0.0317 ± 0.0005	0.0437 ± 0.0006	0.0566 ± 0.0007	0.0424 ± 0.0006	0.1055 ± 0.0010
(1.00-1.25)	0.0536 ± 0.0007	0.0702 ± 0.0009	0.0950 ± 0.0010	0.0693 ± 0.0009	0.1659 ± 0.0015
(1.25-1.50)	0.0859 ± 0.0011	0.1112 ± 0.0013	0.1486 ± 0.0015	0.1198 ± 0.0013	0.252 ± 0.002
(1.50-1.75)	0.136 ± 0.002	0.178 ± 0.002	0.229 ± 0.002	0.176 ± 0.002	0.387 ± 0.004
(1.75-2.00)	0.209 ± 0.003	0.281 ± 0.004	0.338 ± 0.004	0.277 ± 0.004	0.583 ± 0.007

Заключение

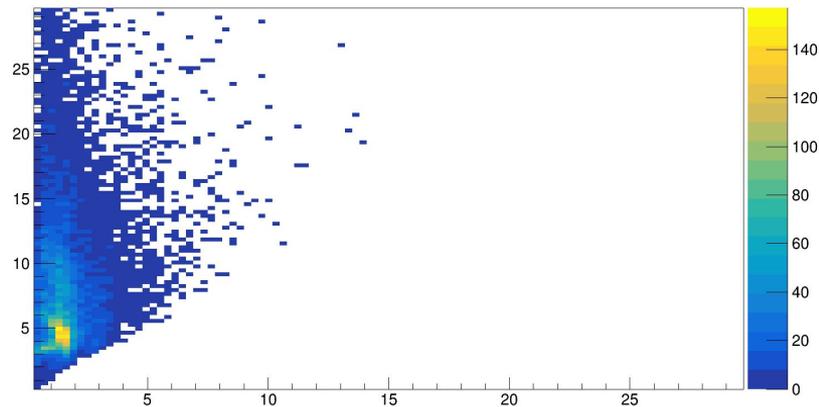
- Разработаны критерии для отбора нейтральных кластеров
- Вычислены эффективности регистрации нейтральных мезонов для каждого из критериев
- Вычислены отношения сигнала к фону для каждого из критериев

Спасибо за внимание



Дисперсии кластеров от фотонов

40 тыс. частиц



Дисперсии кластеров от нейтронов