

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

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.

Выполнил:
Студент группы М20-115
Каюков А.А.

Москва 2022

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 пи⁰-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

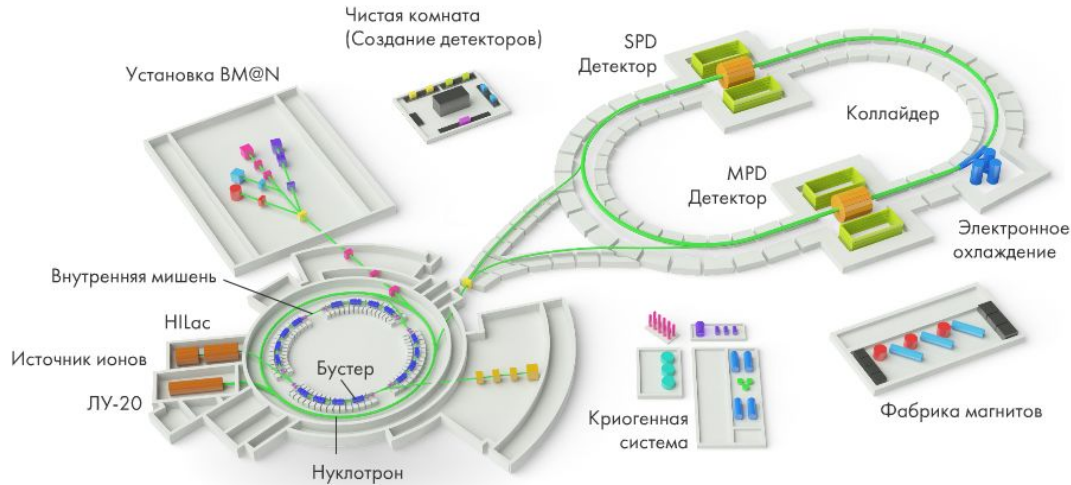


Рисунок 1: Схема комплекса NICA

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.

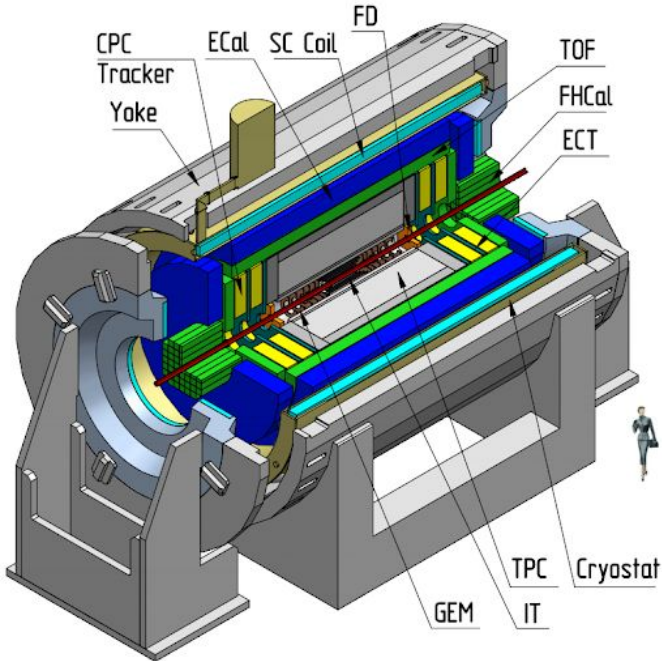


Рисунок 2: Схема установки MPD

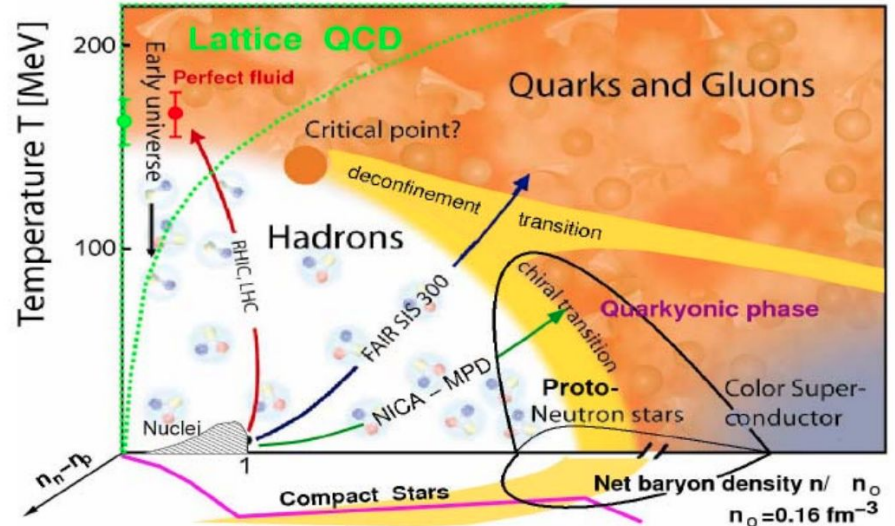


Рисунок 3: Фазовая диаграмма КХД

Электромагнитный калориметр ECal

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

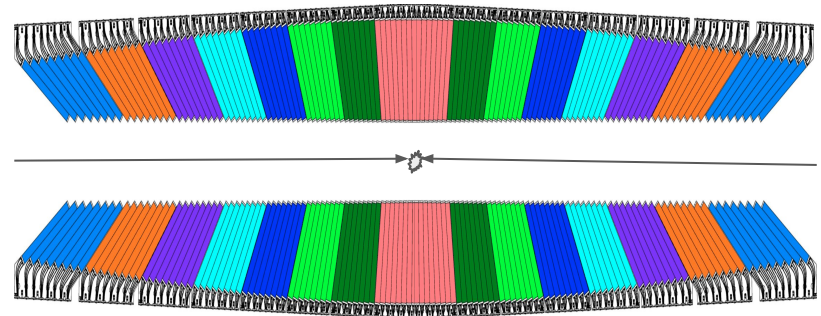
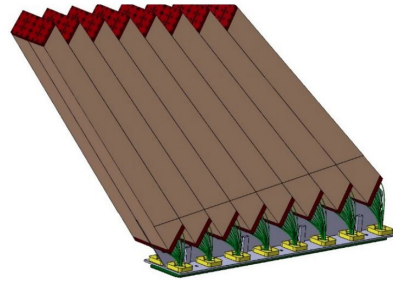
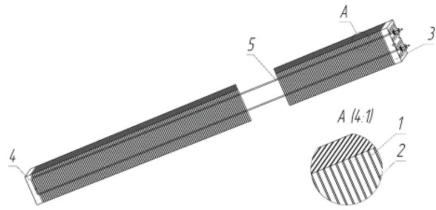


Рисунок 4: Принципиальная схема башни калориметра ECal, где
1 - сцинтилляционная пластина,
2 - свинцовая пластина,
3 и 4 - сдавливающие пластины,
5 - натягивающая струна.

Рисунок 5: Один модуль калориметра

$$L = 40 \text{ см}$$

$$-2.5 < \eta < 2.5$$

$$S = 40 \times 40 \text{ мм}^2$$

Рисунок 6: Калориметр в разрезе

38400 башен

Разбиение на классы центральности

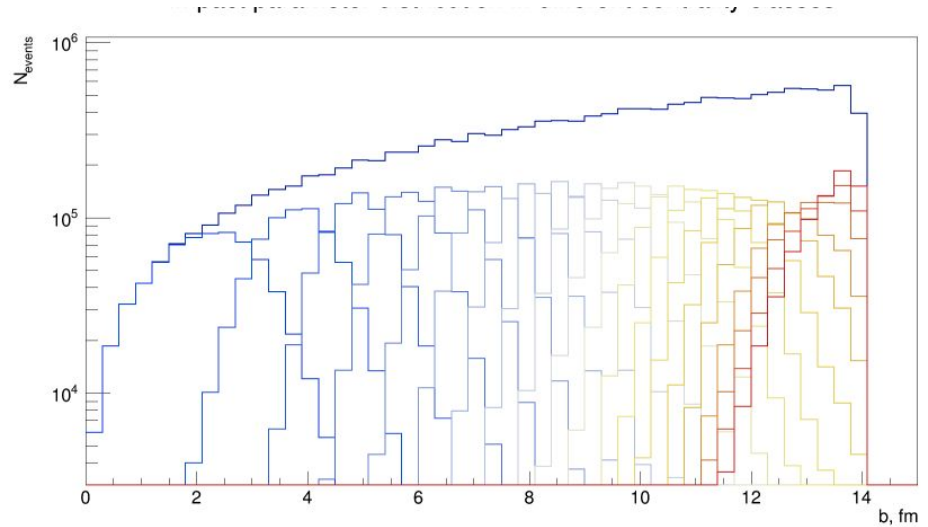
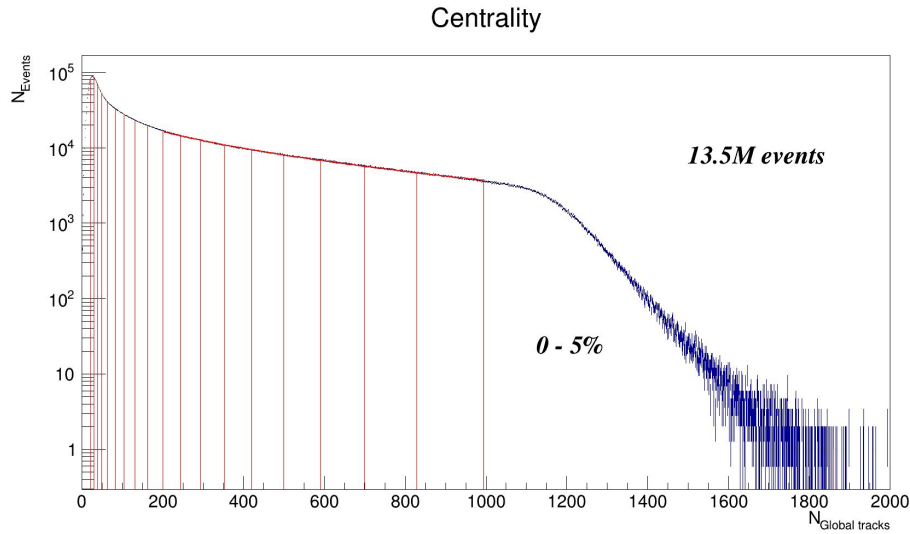


Рисунок 7: Зависимость числа событий от числа заряженных частиц. Разбиение на классы центральности.

Рисунок 8: Распределение по прицельному параметру.

$$Bi_{83}^{209} + Bi_{83}^{209} \sqrt{s} = 9.2 \text{ ГэВ}$$

$$b = 0 - 14 \text{ фм} \quad 15 \cdot 10^6 \text{ СОБЫТИЙ}$$

Поиск заряженных кластеров

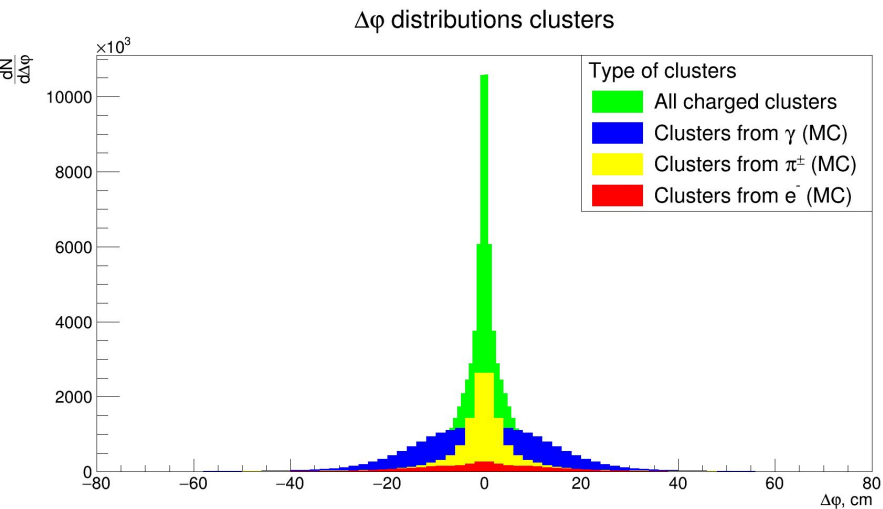


Рисунок 9: Распределения кластеров по величине разности ϕ -координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для центральностей 0-5% и энергий 0.3 - 0.4 ГэВ

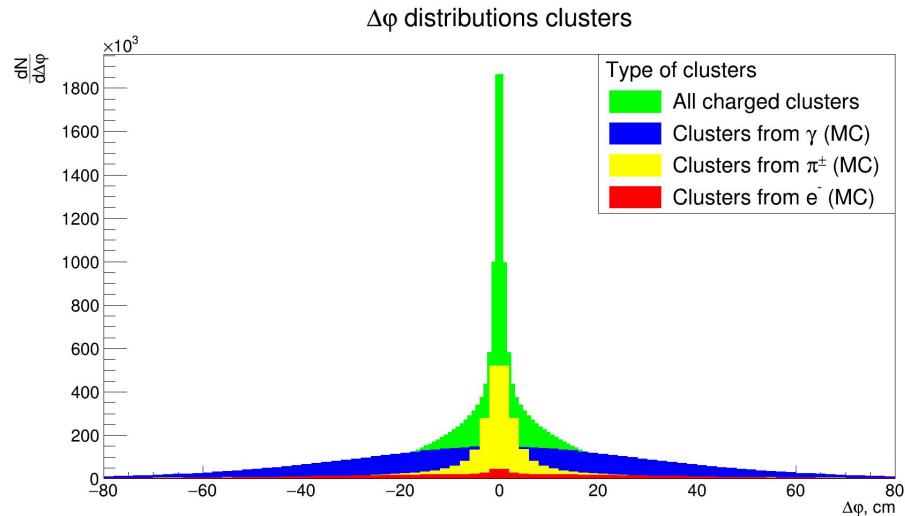


Рисунок 10: Распределения кластеров по величине разности ϕ -координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для центральностей 0-5% и энергий 1.4 - 1.6 ГэВ

Поиск заряженных кластеров

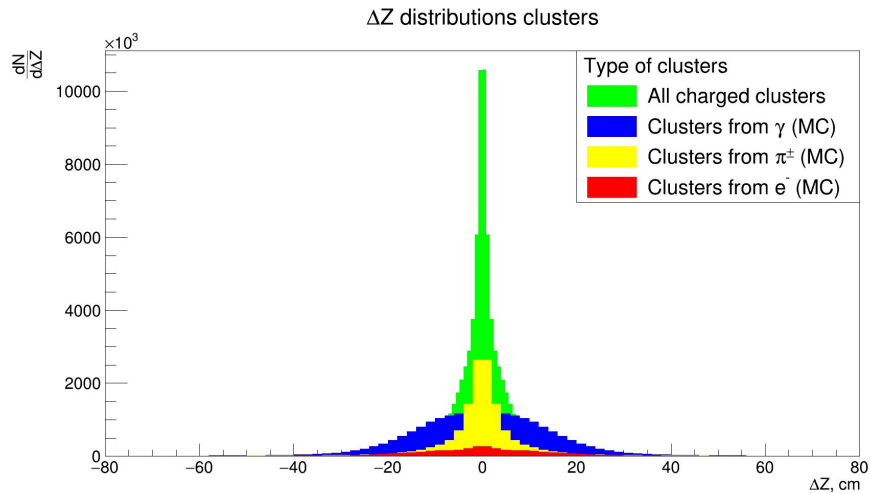


Рисунок 11: Распределения кластеров по величине разности Z-координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для центральностей 0-5% и энергий 0.3 - 0.4 ГэВ

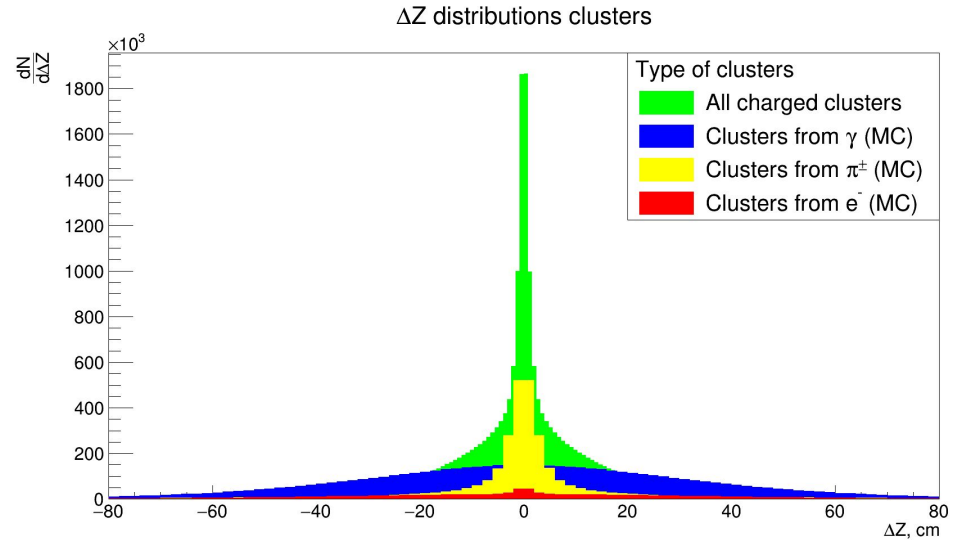
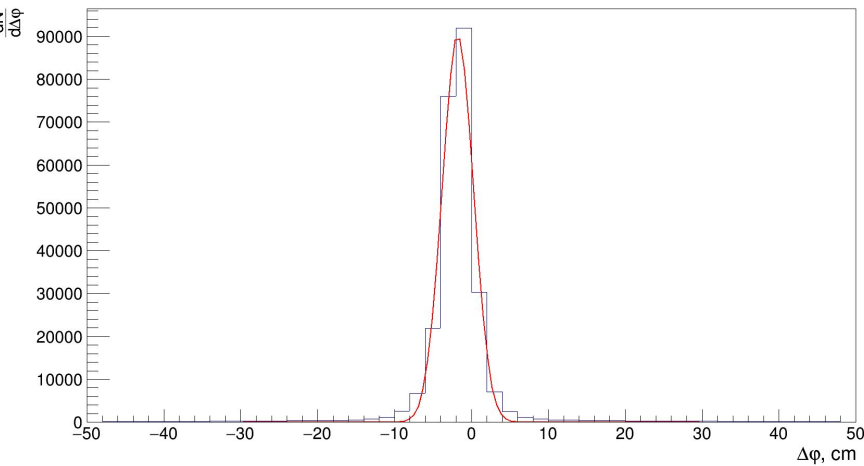


Рисунок 12: Распределения кластеров по величине разности Z-координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для центральностей 0-5% и энергий 1.4 - 1.6 ГэВ

Поиск заряженных кластеров

$\Delta\phi$ distribution for direct e^- and $0.4 < E < 0.5$



ΔZ distribution for direct e^- and $0.4 < E < 0.5$

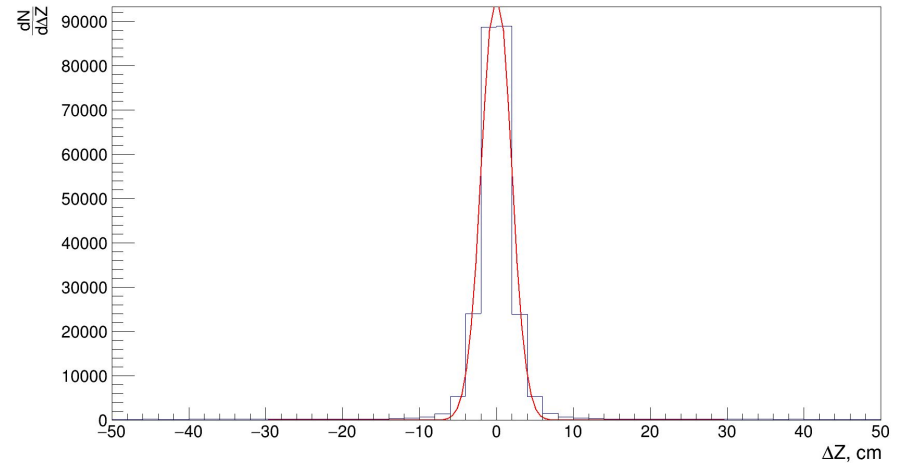


Рисунок 13: Распределения кластеров по величине разности ϕ -координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для всех диапазонов центральностей и энергий 0.4 - 0.5 ГэВ

Рисунок 14: Распределения кластеров по величине разности Z -координаты между центром кластера и ближайшим к нему экстраполированным треком для всех диапазонов центральностей и энергий 0.4 - 0.5 ГэВ

Поиск заряженных кластеров

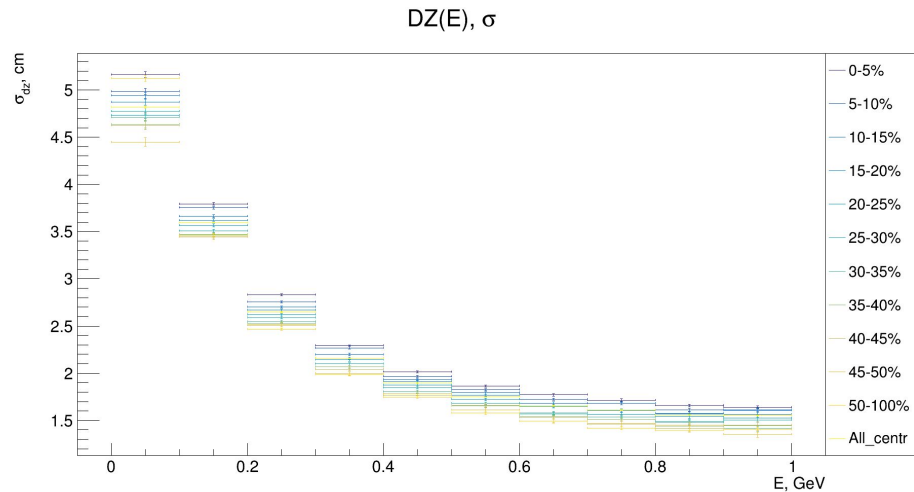


Рисунок 15: Зависимость среднеквадратичного отклонения расстояния по оси Z между заряженным кластером и ближайшим к нему треком от энергии кластера.

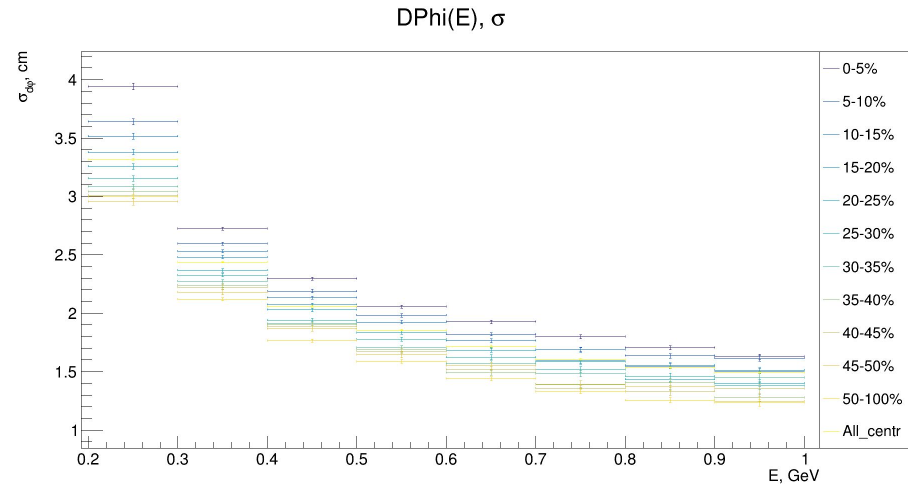


Рисунок 16: Зависимость среднеквадратичного отклонения расстояния по оси ϕ между заряженным кластером и ближайшим к нему треком от энергии кластера.

Поиск заряженных кластеров

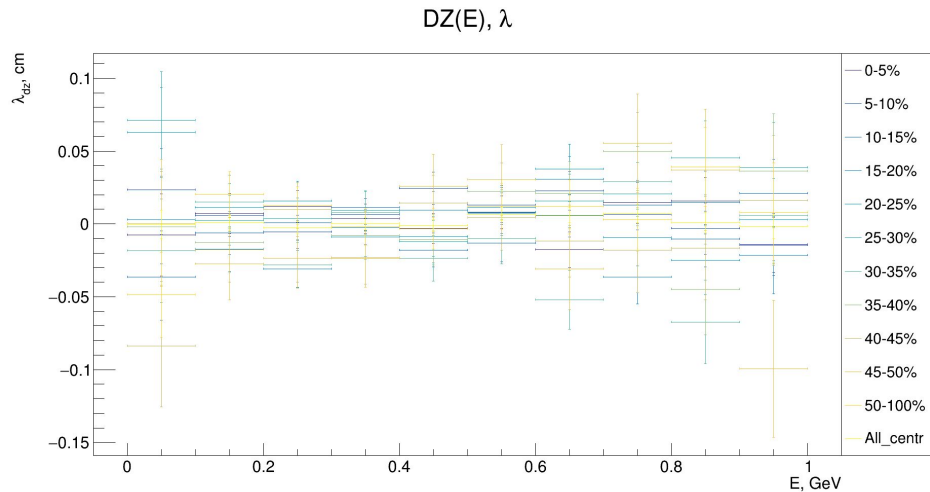


Рисунок 17: Зависимость среднего расстояния по оси Z между заряженным кластером и ближайшим к нему треком от энергии кластера.

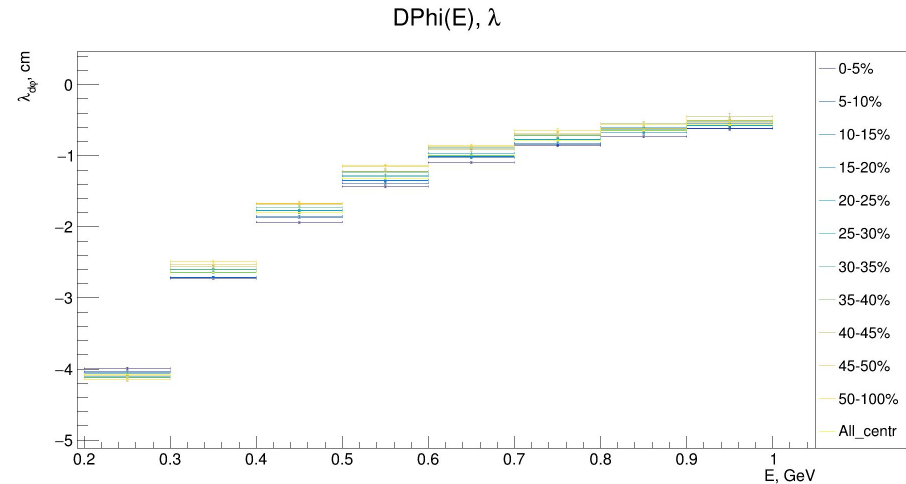
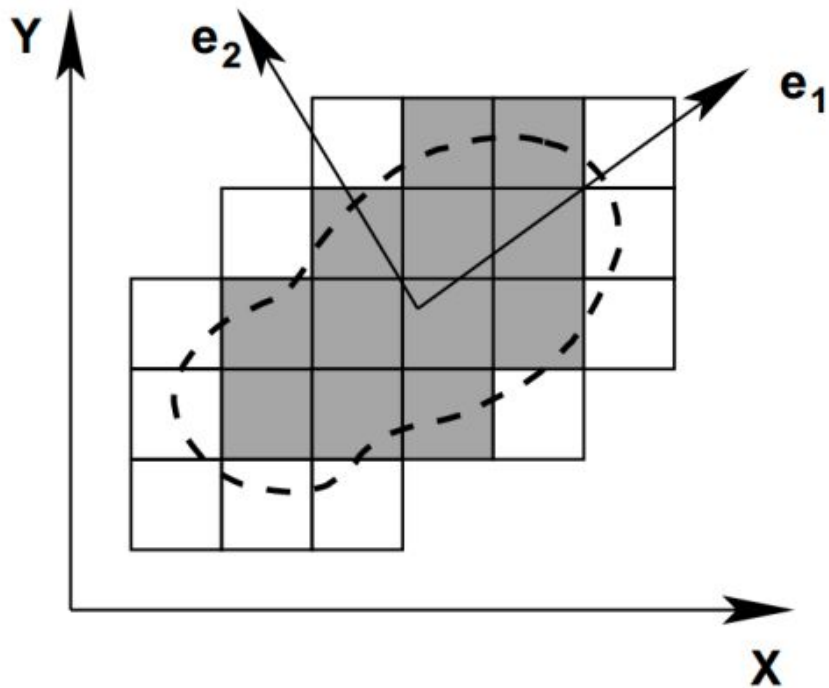


Рисунок 18: Зависимость среднего расстояния по оси ϕ между заряженным кластером и ближайшим к нему треком от энергии кластера.

Дисперсия кластеров

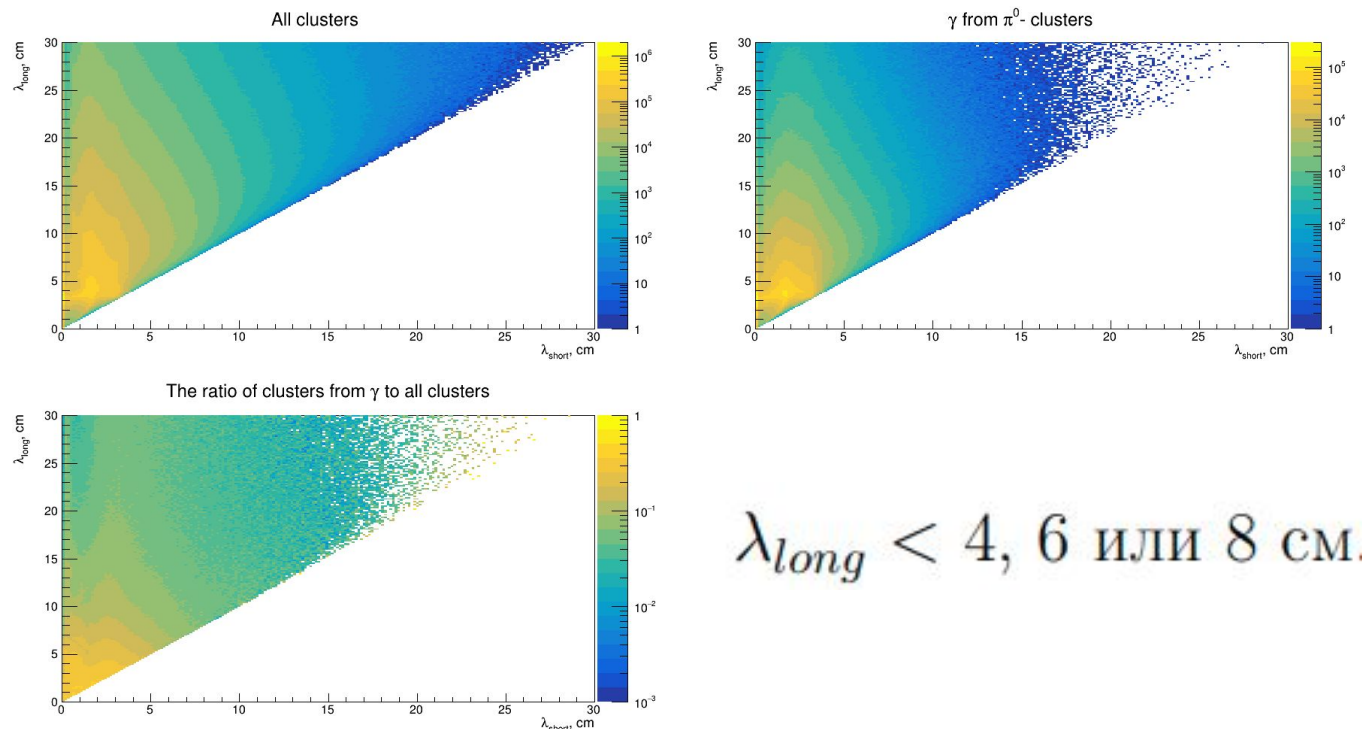


$$S = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{xz} \\ s_{zx} & s_{zz} \end{pmatrix},$$

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

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

Дисперсия кластеров



$$\lambda_{long} < 4, 6 \text{ или } 8 \text{ см.}$$

Рисунок 19: распределения по дисперсиям кластера для всех кластеров и кластеров от фотонов, а также их отношение.

Дисперсия кластеров

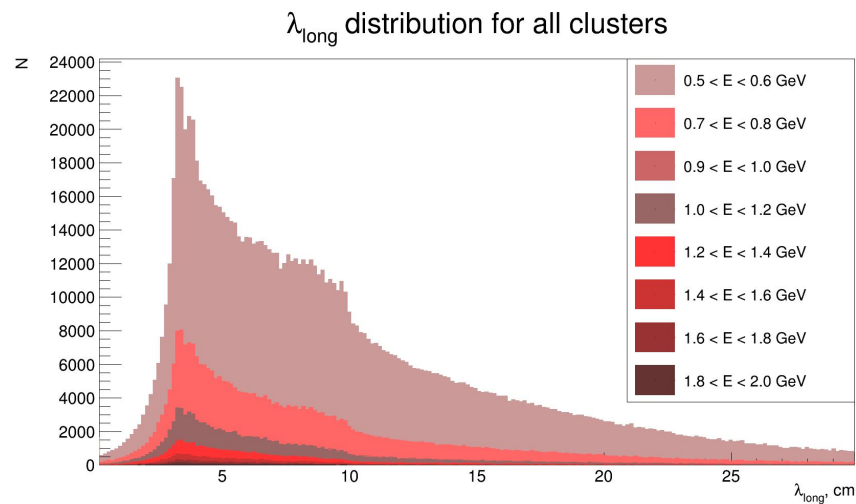
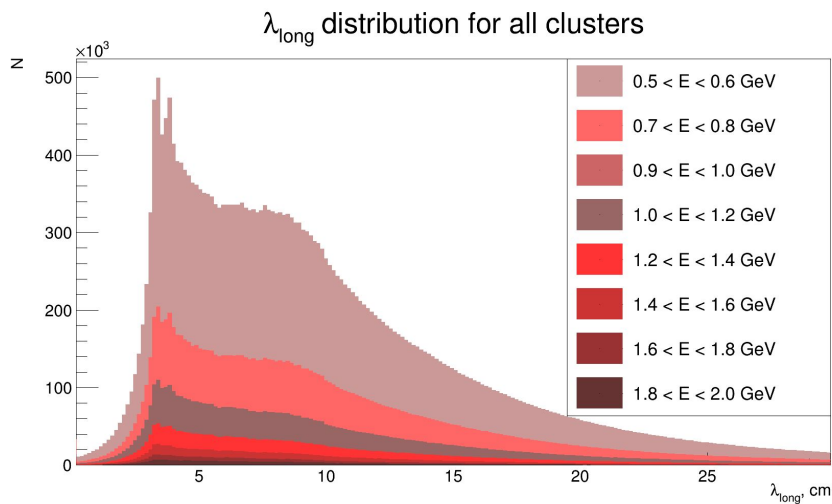
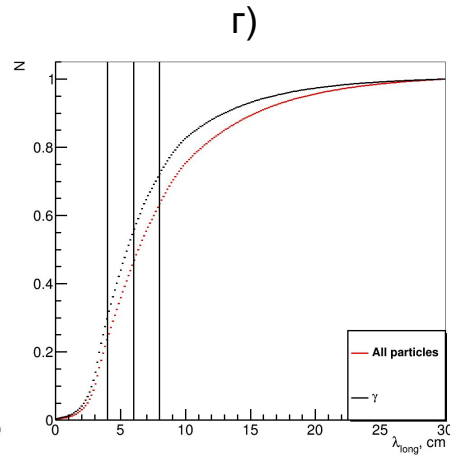
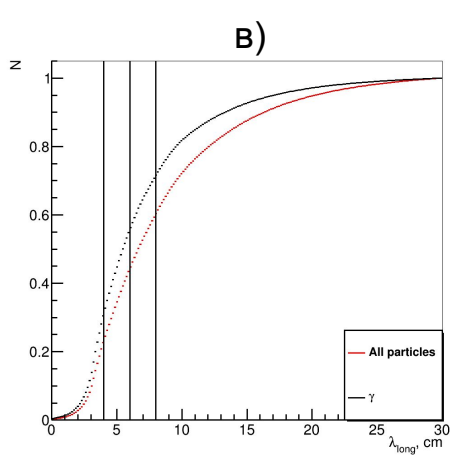
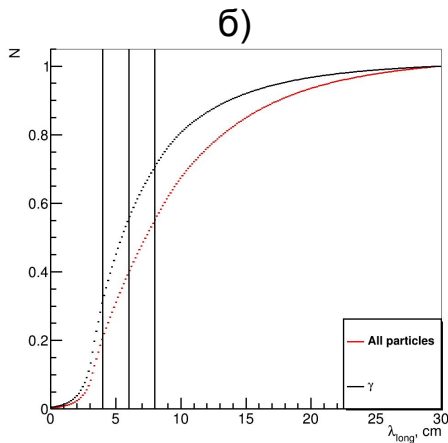
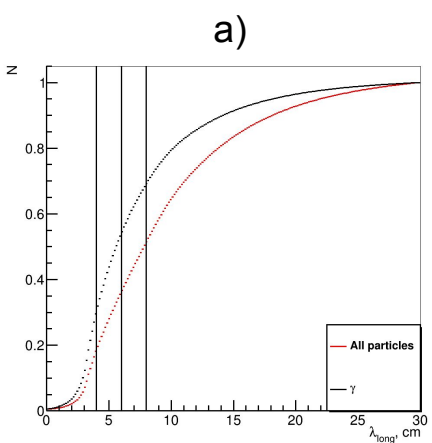
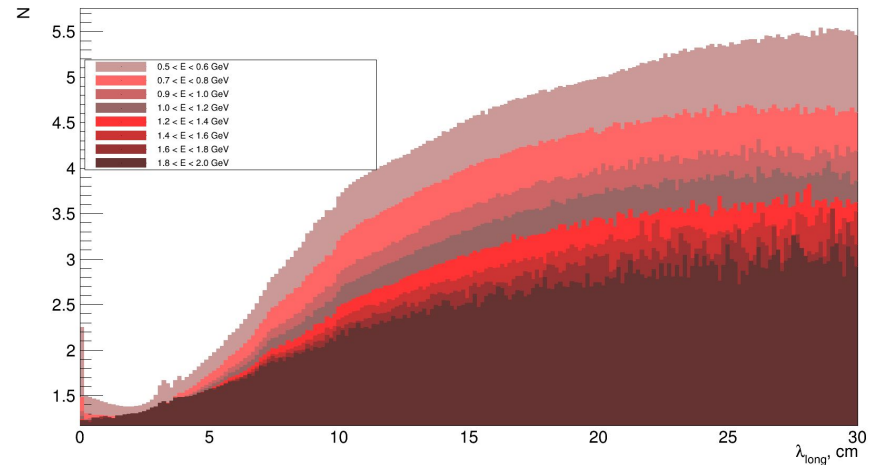


Рисунок 20: Распределения кластеров по величине большой дисперсии для центральных 0-5% и различных диапазонов энергий.

Дисперсия кластеров

Рисунок 21: Отношения распределений по большой дисперсии от всех частиц к распределениям от γ -квантов для различных диапазонов энергий.

Рисунок 22: Кумулятивные распределения кластеров по величине большой дисперсии для всех диапазонов центральностей и энергий 0.5 - 0.6 ГэВ (а), 0.9 - 1.0 ГэВ (б), 1.4 - 1.6 ГэВ (в), 1.8 - 2.0 ГэВ (г)



Учет временного разрешения калориметра

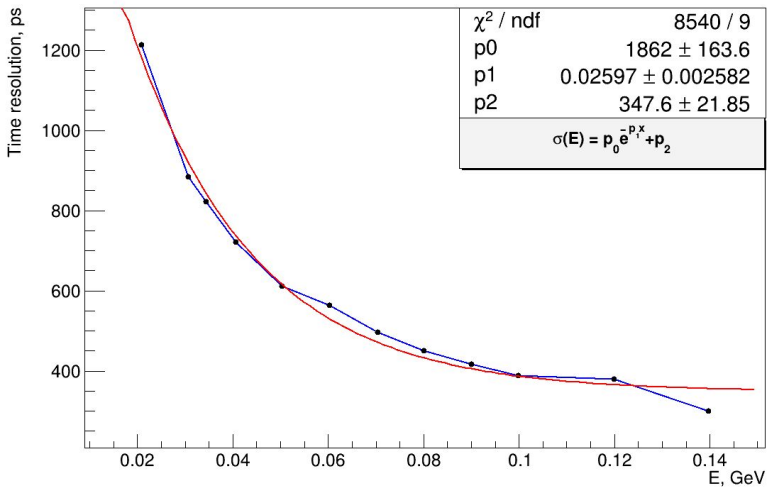
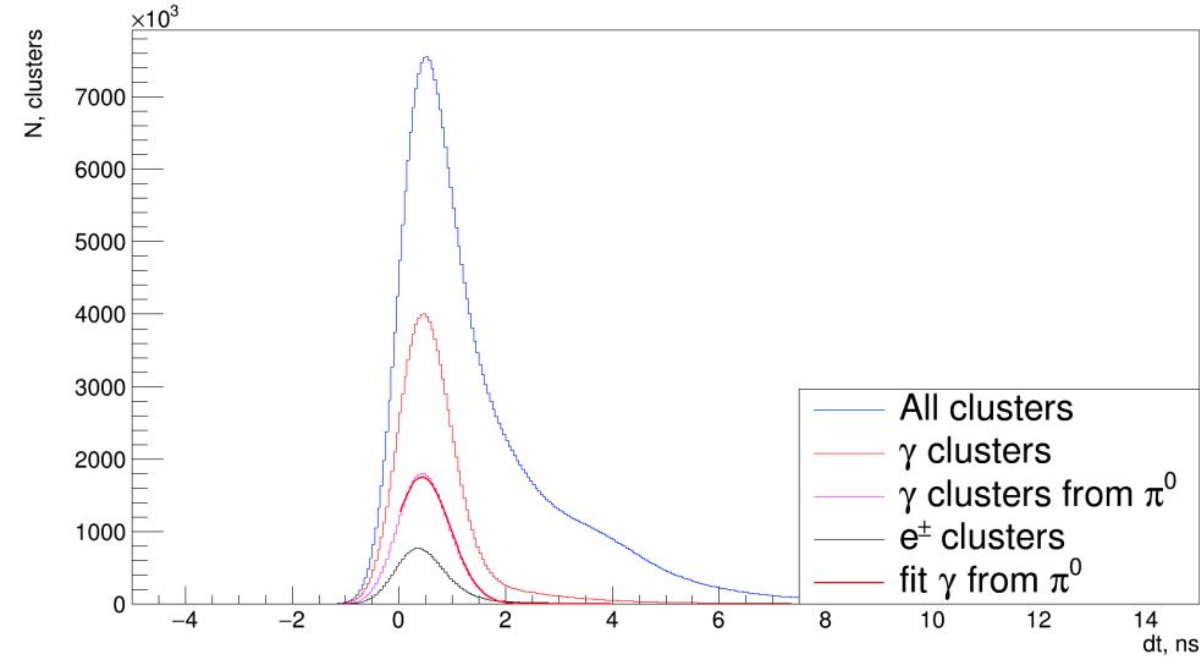


Рисунок 23: Зависимость временного разрешения от энергии кластера

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



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

t_{clu} - экспериментально измеренное время появления кластера

Δr - расстояние от кластера до первичной вершины

Рисунок 24: Распределение по времени пролета частиц до калориметра.

Критерий на время пролета

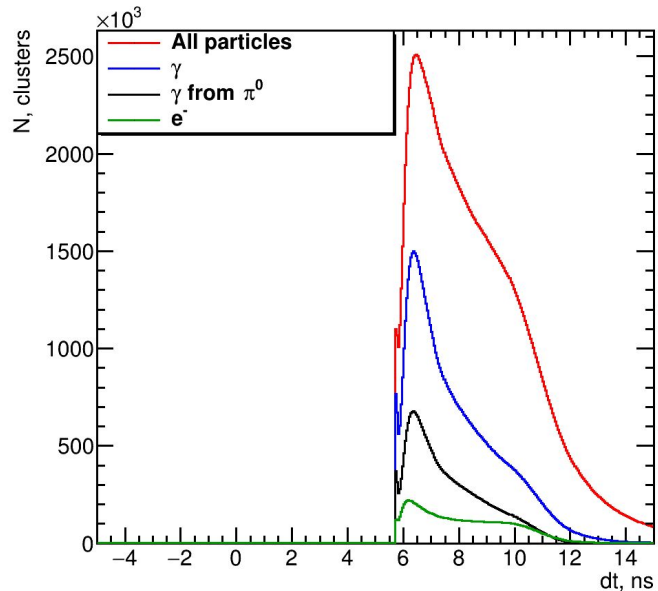


Рисунок 25: Распределения кластеров по времени прилета в калориметр для всех диапазонов центральностей и энергий 0.5 - 0.6 ГэВ

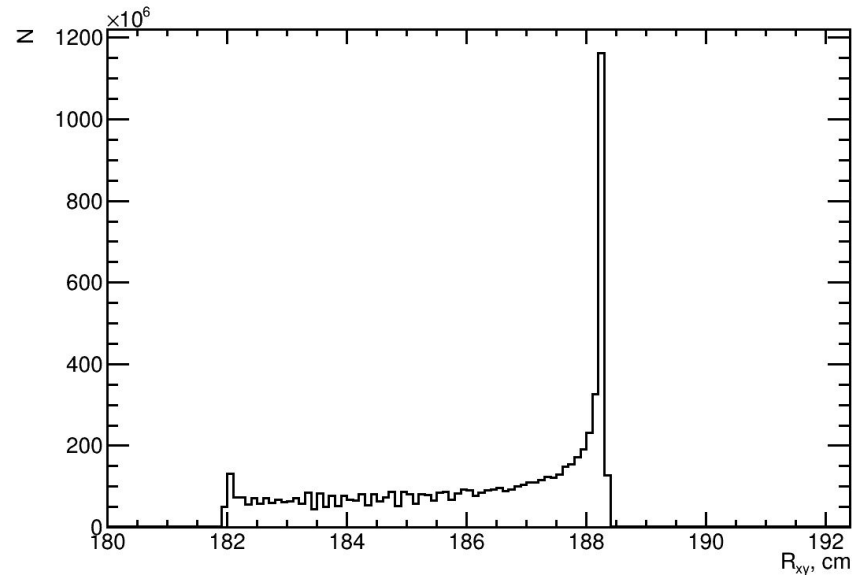


Рисунок 26: Распределение по глубине образования кластера в калориметре.

Критерий на время пролета

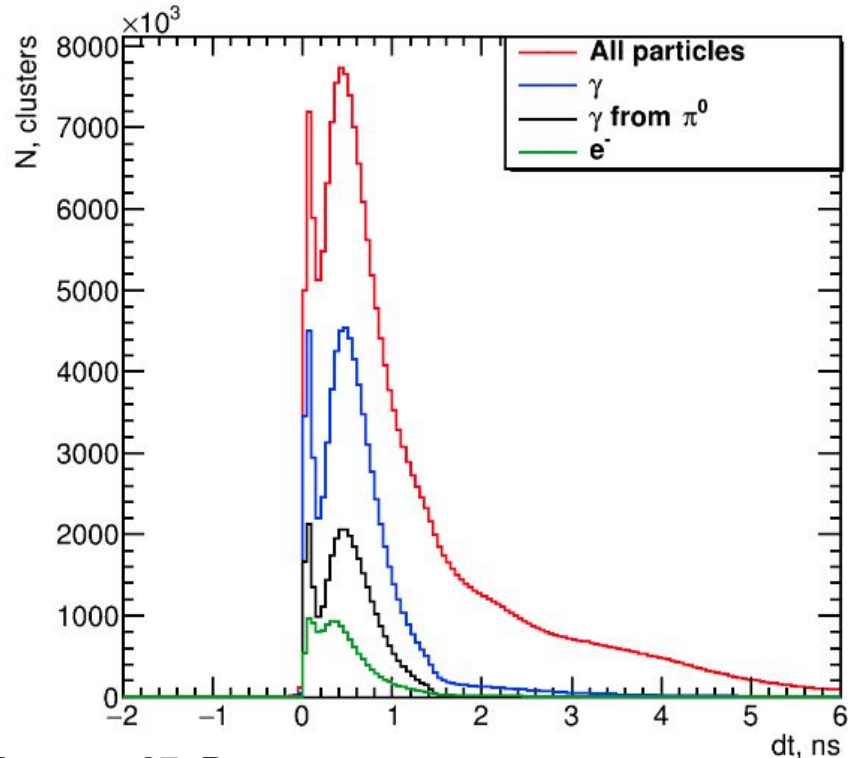


Рисунок 27: Распределения кластеров по неразмытому времени пролета частицы для всех диапазонов центральностей и энергий 0.5 - 0.6 ГэВ

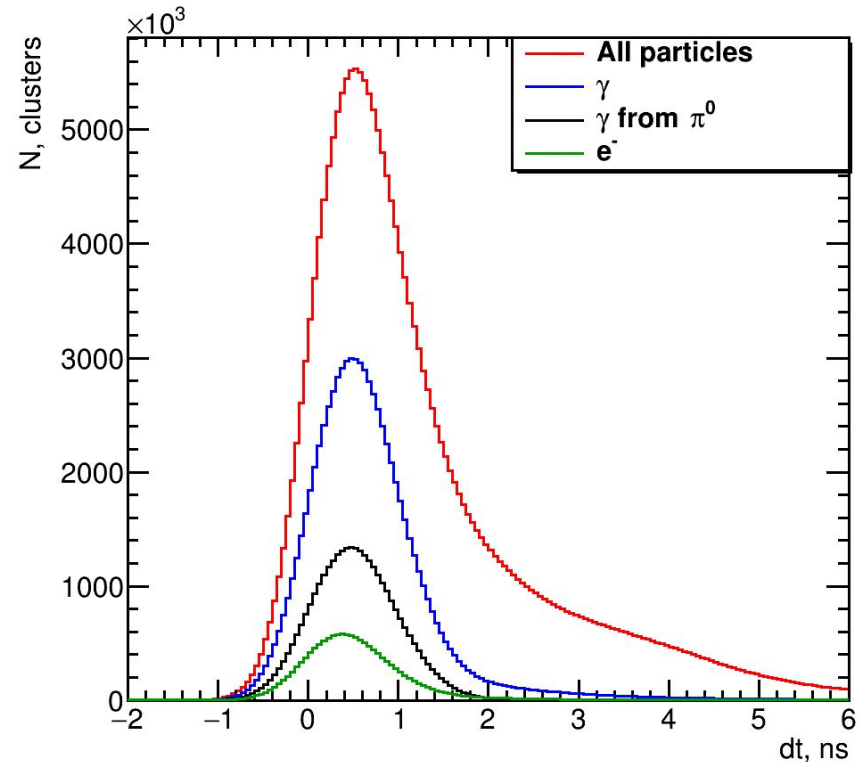


Рисунок 28: Распределения кластеров по времени пролета частицы для всех диапазонов центральностей и энергий 0.5 - 0.6 ГэВ

Критерий на время пролета

$dT(E), \sigma$

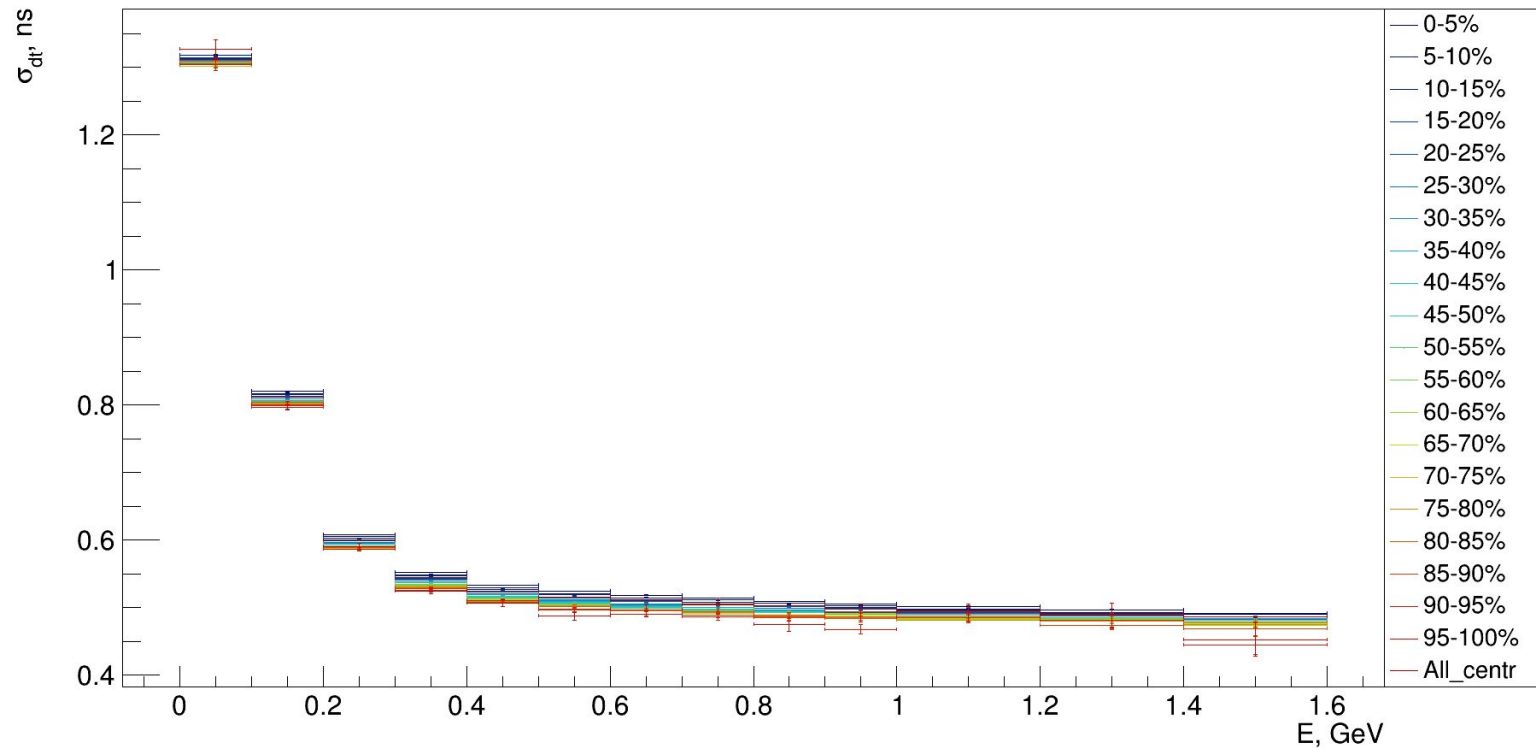


Рисунок 29: Зависимость среднеквадратичного отклонения dt от энергии кластера

Критерий на время пролета

$dT(E), \lambda$

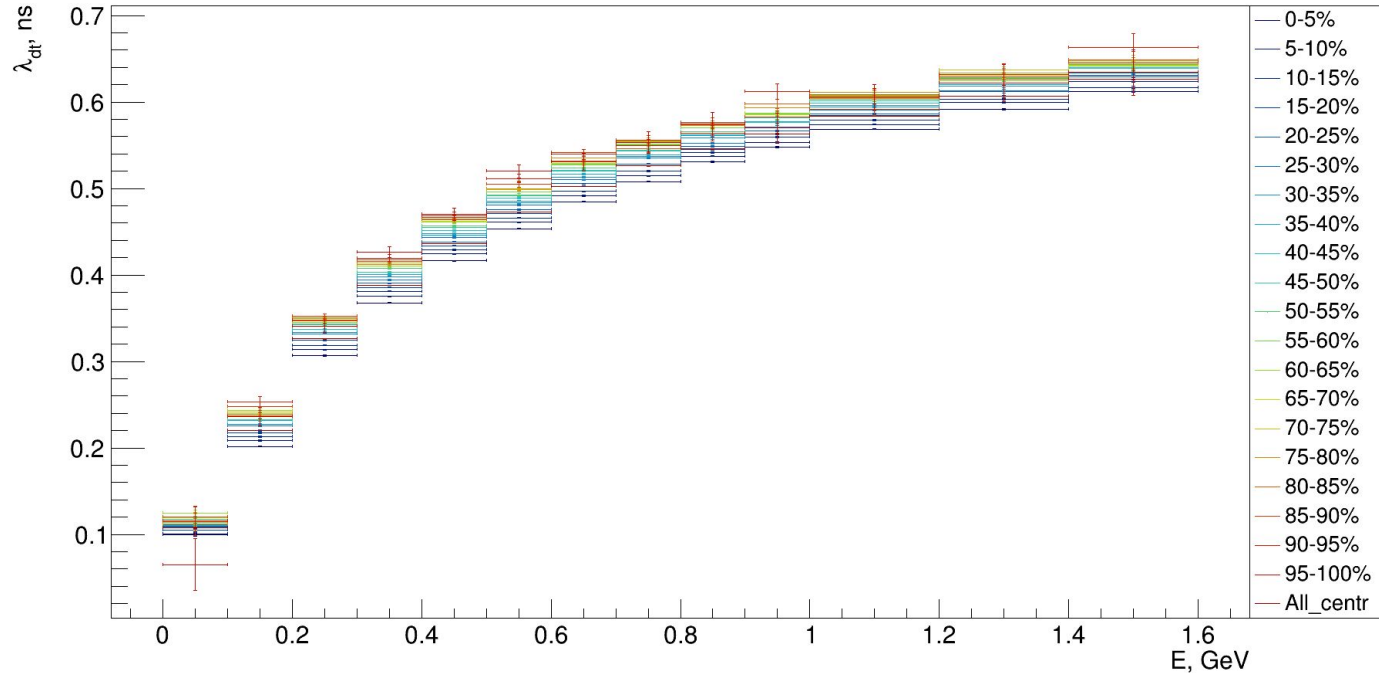
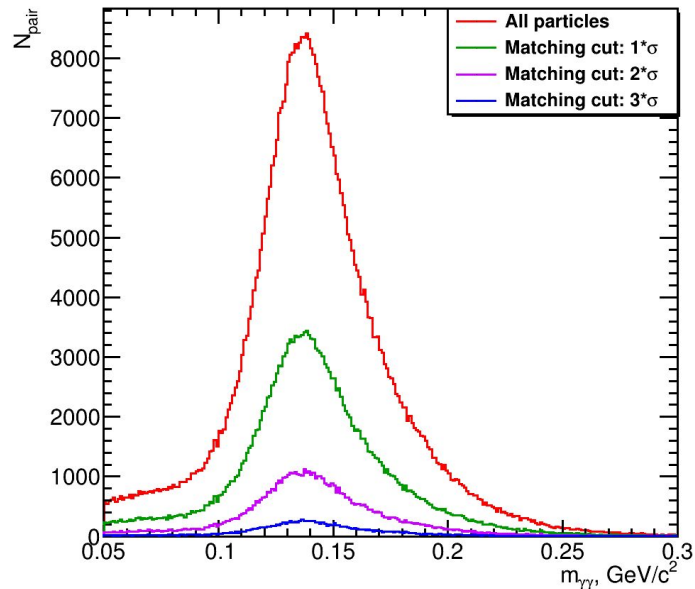


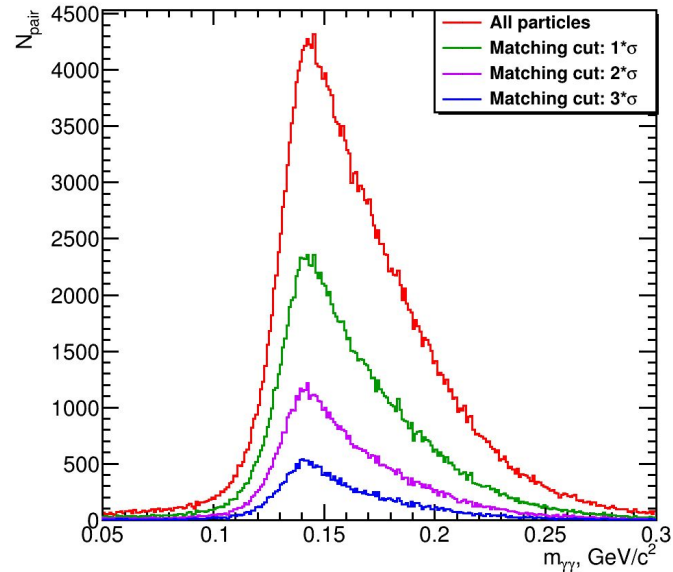
Рисунок 30: Зависимость среднего dt от энергии кластера

$$|dt - \lambda_{dt}(E)| > N \cdot \sigma_{dt}(E)$$

Инвариантные массы



а)



б)

Рисунок 31: Распределения по инвариантным массам пар кластеров для $p_T = 0$ при наложении критерия на вето заряженных треков для всех диапазонов центральных и для диапазонов поперечного импульса в 0.1-0.3 ГэВ/с (а), 0.3-0.5 ГэВ/с (б)

Инвариантные массы

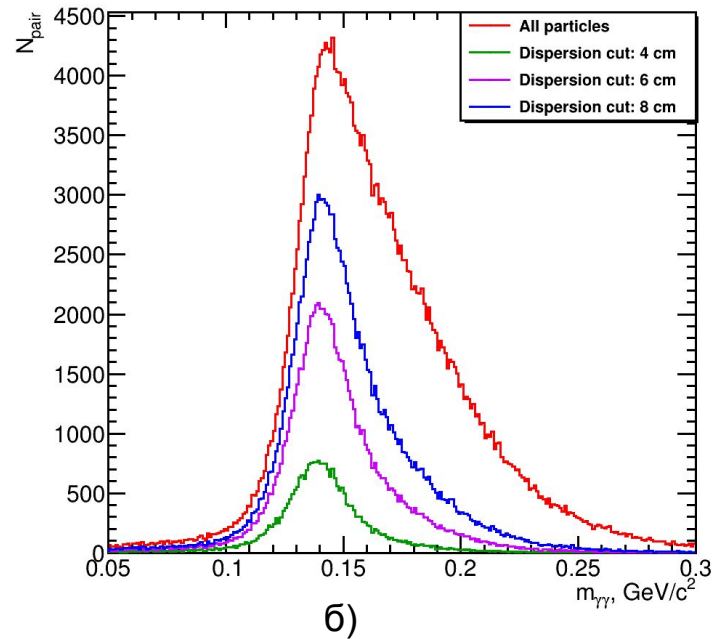
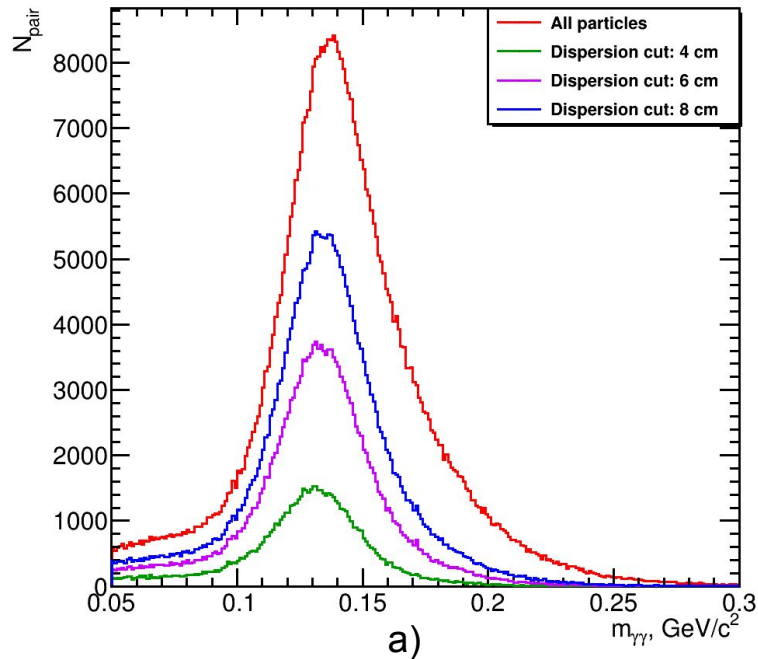


Рисунок 32: Распределения по инвариантным массам пар кластеров для π^0 при наложении критерия на большую дисперсию кластеров для всех диапазонов центральных и для диапазонов поперечного импульса в 0.1-0.3 ГэВ/с (а), 0.3-0.5 ГэВ/с (б)

Инвариантные массы

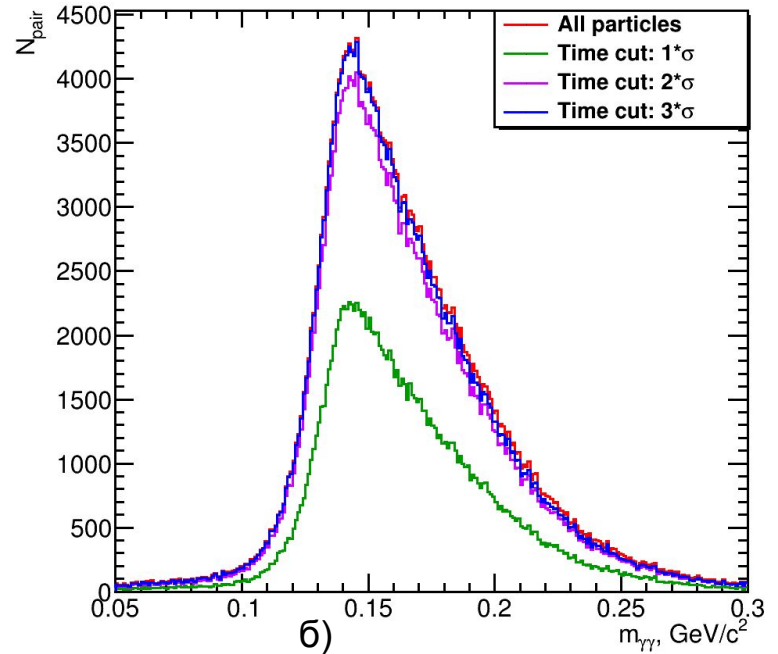
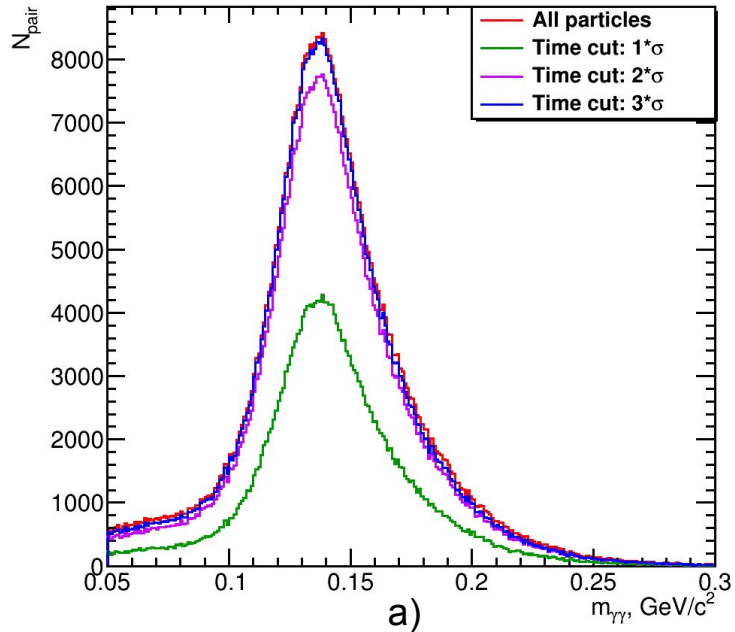
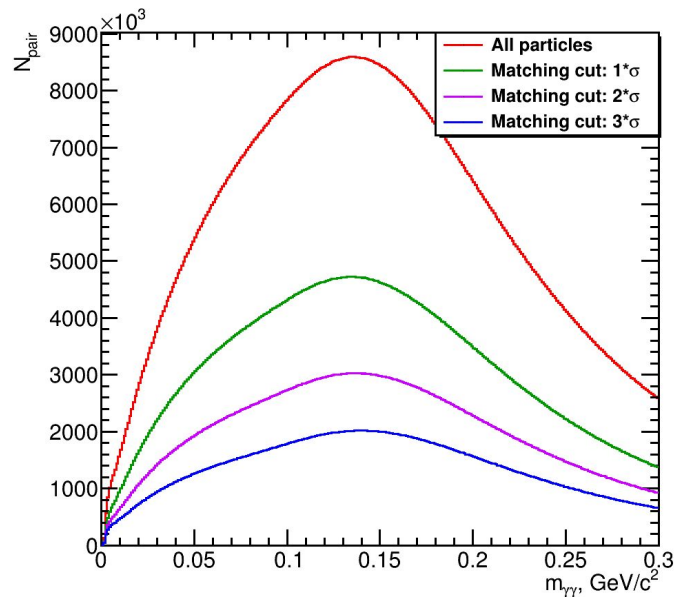
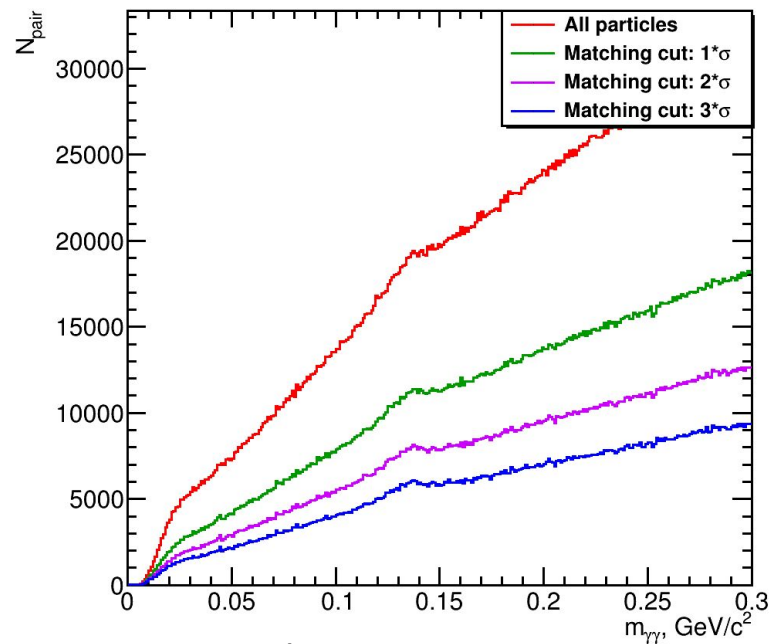


Рисунок 33: Распределения по инвариантным массам пар кластеров для π^0 при наложении критерия на время пролета частицы для всех диапазонов центральных и для диапазонов поперечного импульса в 0.1-0.3 ГэВ/c (а), 0.3-0.5 ГэВ/c (б)

Инвариантные массы



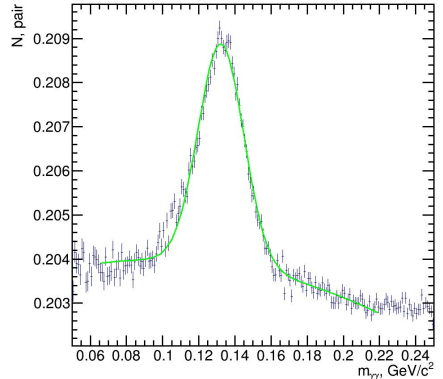
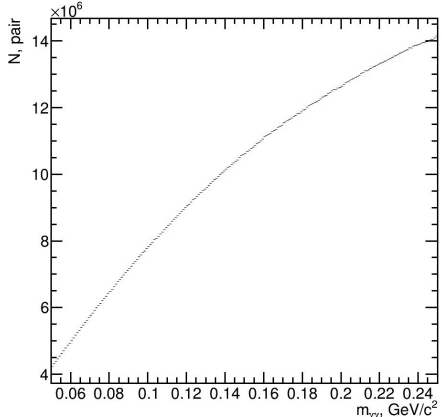
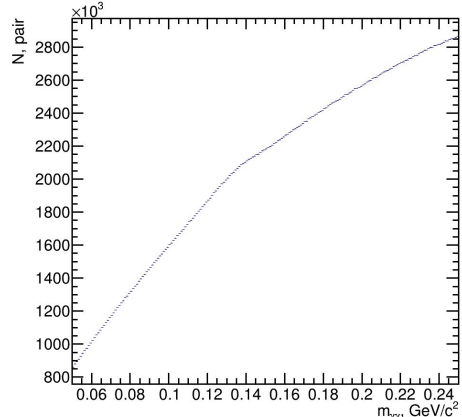
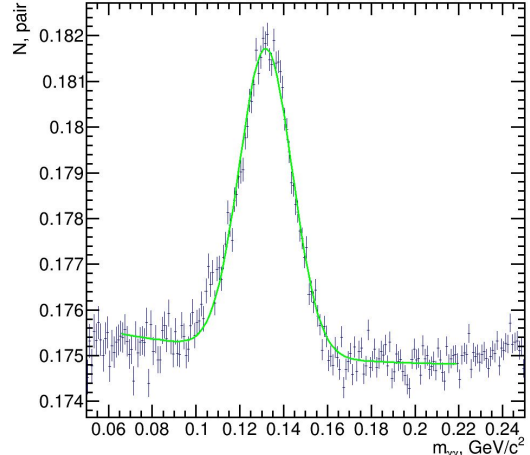
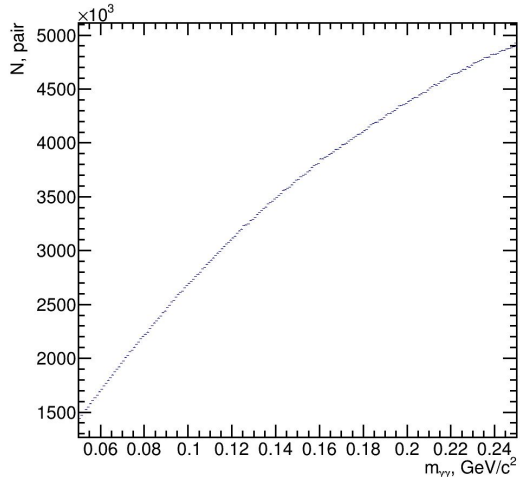
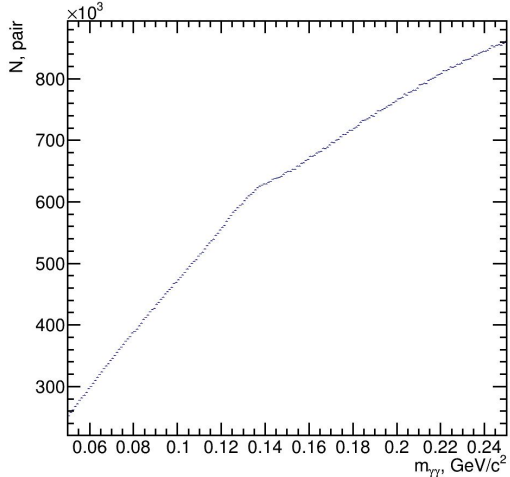
а)



б)

Рисунок 34: Распределения по инвариантным массам пар кластеров для всех частиц при наложении критерия на время пролета частицы для всех диапазонов центральных и для диапазонов поперечного импульса в 0.1-0.3 ГэВ/с, 0.3-0.5 ГэВ/с,

Метод смешанных событий



Метод смешанных событий

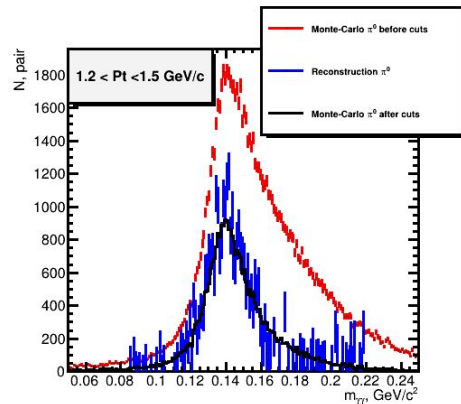
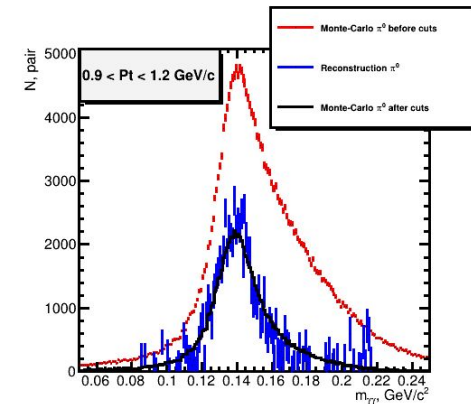
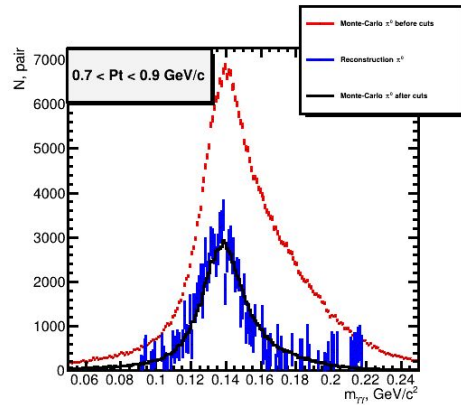
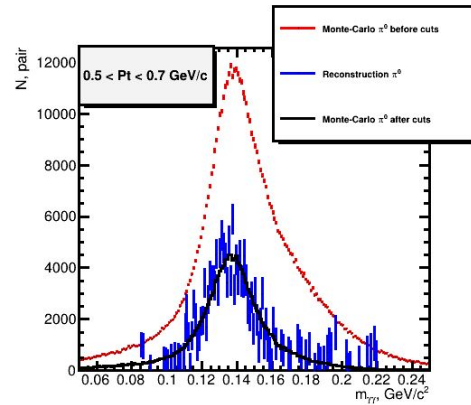


Рисунок 35: Результаты метода смешанных событий для диапазона центральных 10-15% и различных диапазонов поперечного импульса.

Эффективности

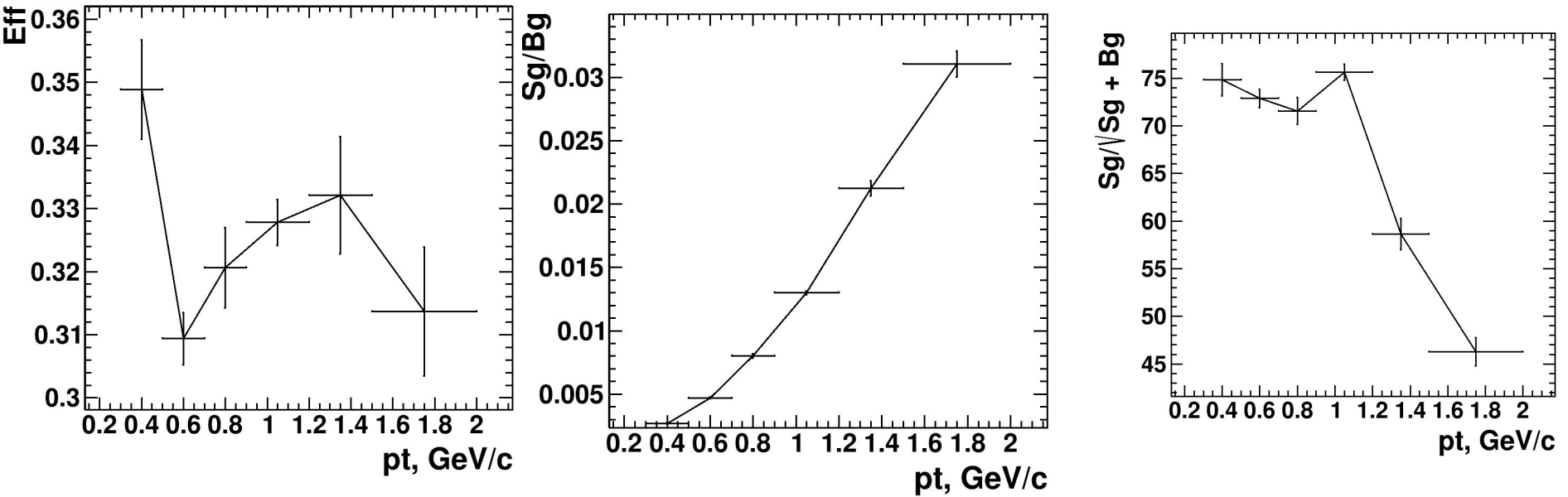


Рисунок 36: эффективности, чистоты и значимости критерия на кластеры для различных диапазонов поперечного импульса

Заключение

Выполнено:

- Разработаны критерии для отбора нейтральных кластеров
- По полученным критериям построены распределения инвариантных масс пар кластеров
- Вычислены эффективности регистрации нейтральных мезонов для каждого по отдельности или для комбинаций критериев при различных центральностях и поперечных импульсах

Спасибо за внимание