

Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра физики элементарных частиц

Метод корреляционной фемтоскопии в моделировании столкновений ядер на примере SMASH

Выполнил: ст. гр. 409 Т. М. Балинов

Руководитель: к.ф-м.н. А. А. Апарин

Консультант: В.Б.Лыонг

Москва
2025

Введение. Корреляционная функция.

Корреляционная функция (КФ) - отношение измеренных двухчастичного инклюзивного и одночастичного инклюзивного спектров.

$$C = \frac{A}{B} = \frac{A_{wei}}{A}$$

$$A_{wei} = femtoweight \cdot A$$

$$femtoweight = 1 + \cos \frac{(\Delta P \cdot \Delta r)}{hc}$$

, где ΔP - разница 4-импульсов, а Δr - разница 4-векторов

Введение. 1-мерная КФ.

В случае 1-мерной КФ используется инвариантный импульс пары:

$$q_{inv} = \sqrt{(P_a - P_b)^2 - (E_a - E_b)^2}$$

Тогда КФ имеет следующий вид:

$$C(q_{inv}) = \frac{A(q_{inv})}{B(q_{inv})} = \frac{A_{wei}(q_{inv})}{A(q_{inv})}$$

А аппроксимирующая её кривая:

$$C(q_{inv}) = 1 + \lambda \exp\left(-\frac{R_{inv}^2 q_{inv}^2}{hc}\right)$$

Введение. 3-мерная КФ.

В случае 3-мерной КФ используется:

$$q = p_a - p_b$$

$$P = p_a + p_b$$

И система координат LCMS в которой любой 4-вектор V из СЦМ представим в виде:

$$V_{out} = (P_x V_x + P_y V_y) / P_T$$

$$V_{side} = (P_x V_y - P_y V_x) / P_T$$

$$V_{long} = (P_0 V_z - P_z V_0) / M_T$$

$$\text{где } M_T^2 = P_0^2 - P_z^2, \text{ а } P_T^2 = P_x^2 + P_y^2$$

Введение. 3-мерная КФ.

Тогда 3-мерная КФ имеет вид:

$$C = \frac{A(q_{out}, q_{side}, q_{long})}{B(q_{out}, q_{side}, q_{long})} = \frac{A_{wei}(q_{out}, q_{side}, q_{long})}{A(q_{out}, q_{side}, q_{long})}$$

А аппроксимирующая её кривая:

$$C(q) = 1 + \lambda \exp \left(- \sum_{o,s,l} \frac{R_{ij} q_i q_j}{hc} \right)$$

В самом простом случае (без учета недиагональных элементов)

$$C(q_{out}, q_{side}, q_{long}) = 1 + \lambda \exp \left(- \frac{R_{out}^2 q_{out}^2 - R_{side}^2 q_{side}^2 - R_{long}^2 q_{long}^2}{hc} \right)$$

Настройка модели и отбор частиц.

Для генерации была использованна транспортная модель "SMASH" со следующими настройками:

- Столкновение: $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$
- При энергии центра масс: $\sqrt{s_{NN}} = 3 \text{ GeV}$

А для построения КФ смешивались частицы, удовлетворяющие следующим требованиям:

- Пионы (+) и (-).
- Произошло кинетическое вымораживание.
- $P_{total} \in [0.15, 1.5] \text{ GeV}/c$
- $P_T \in [0.15, 1.5] \text{ GeV}/c$
- $\eta \in [-1.5, 1.5]$

Также мы не учитываем события с упругим взаимодействием.

Гистограммы событий.Прицельный параметр

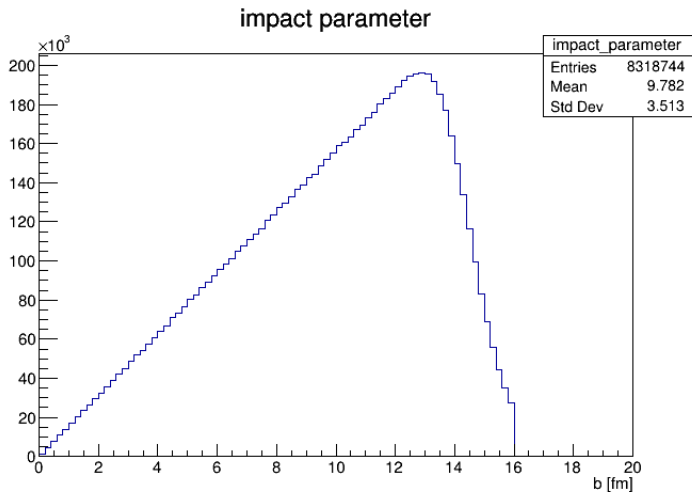
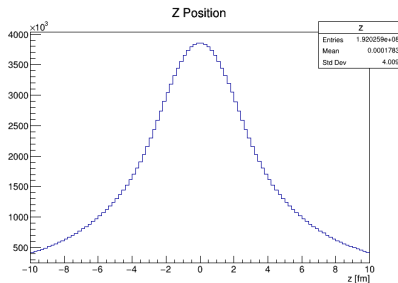
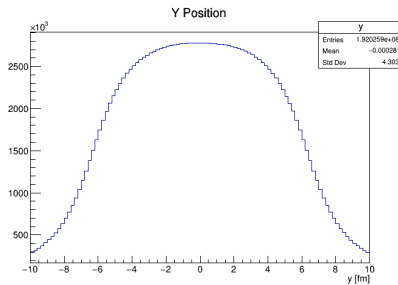
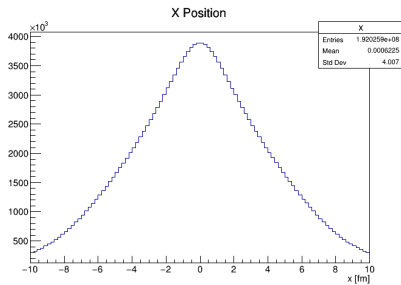


Рисунок 1: Распределение событий по прицельному параметру

Гистограммы частиц. 1.Координаты



Гистограммы частиц. 2.Время кинетического вымораживания

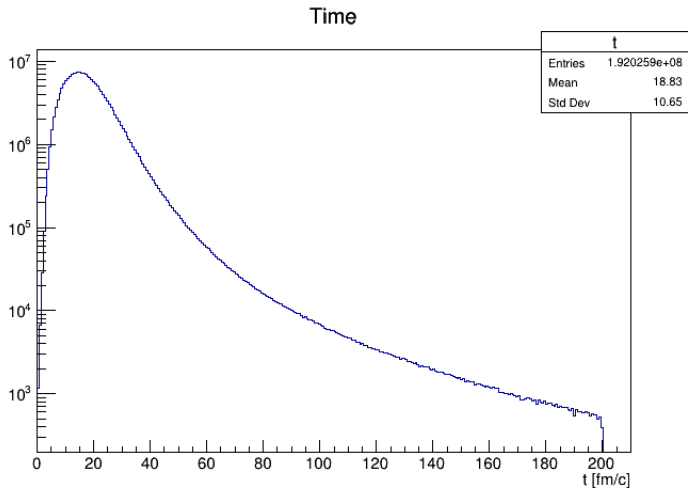
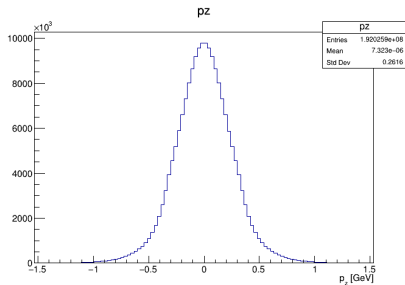
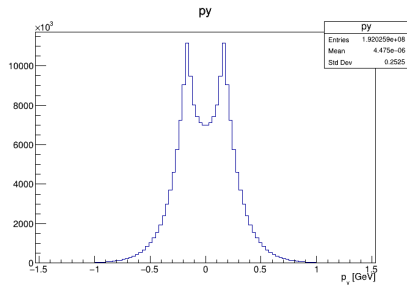
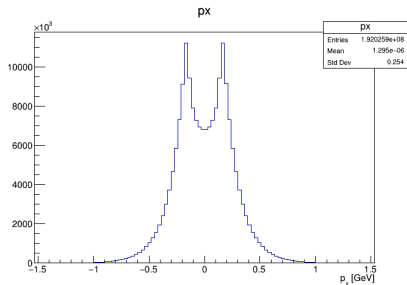


Рисунок 4: Распределение по времени наступления кинетического вымораживания

Гистограммы частиц. 3. Импульсы



Гистограммы частиц. 4. Полный и поперечный импульсы

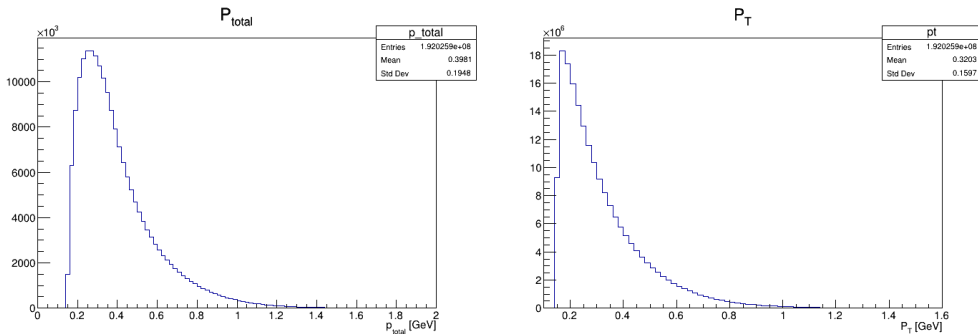


Рисунок 7: Распределение по полному и поперечному импульсу для пионов

Гистограммы частиц. 5. Быстрота и псевдобыстрота

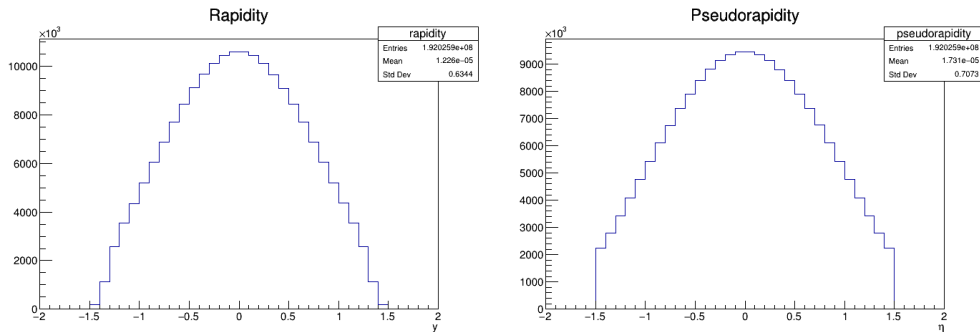
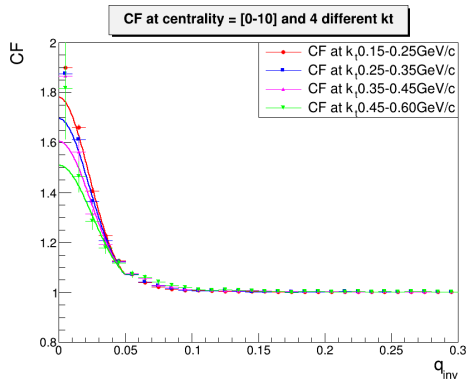
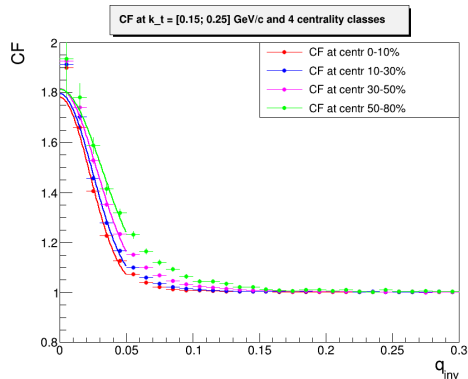


Рисунок 8: Распределение по быстроте и псевдобыстроте для пионов

Сравнение 1-мерных КФ.



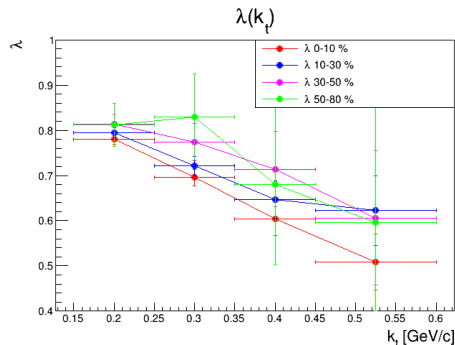
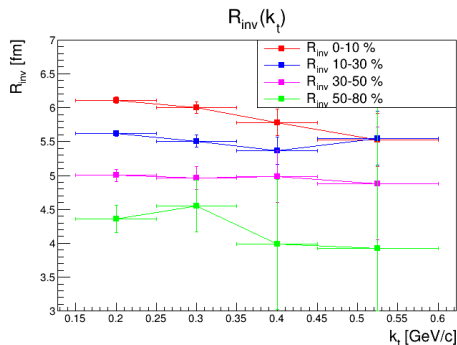
(a) 4 класса k_T : [0.15-0.25], [0.25-0.35], [0.35-0.45], [0.45-0.60] GeV/c



(b) 4 класса центральности: [0-10], [10-30], [30-50], [50-80] %

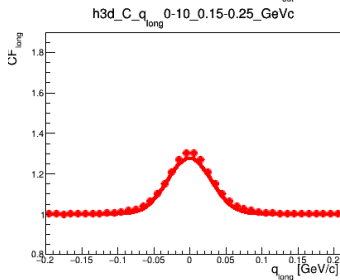
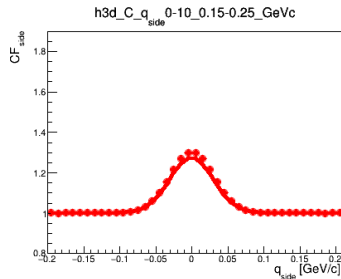
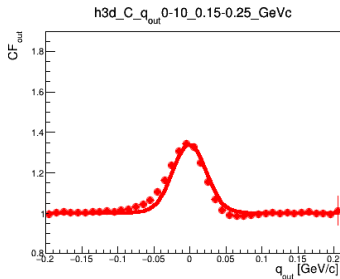
Рисунок 9: Сравнение одномерных корреляционных функций для разных диапазонов k_T и центральности.

Сравнение вычисленных параметров при разных центральностях

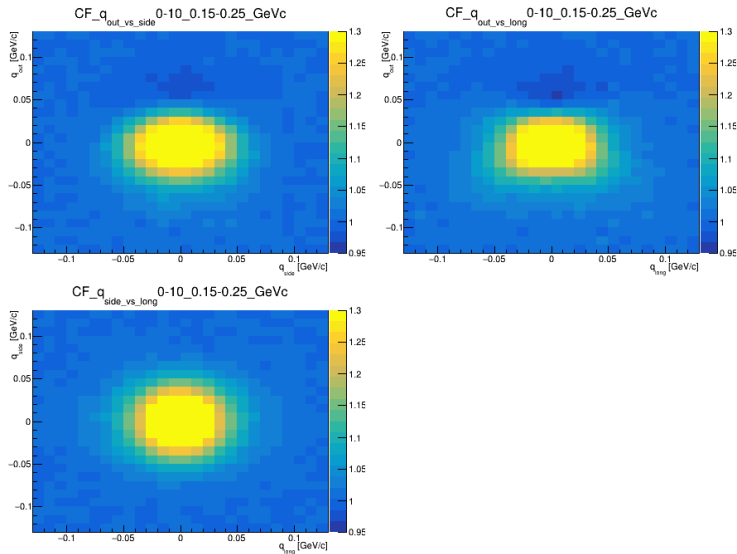


R_{inv} и λ уменьшается с k_t и от центральных к периферическим столкновениям

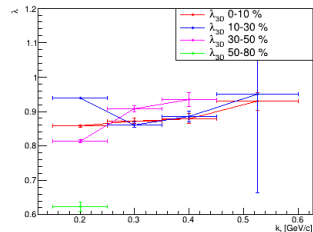
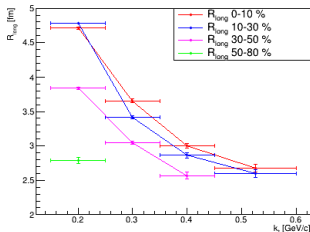
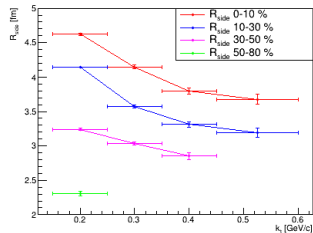
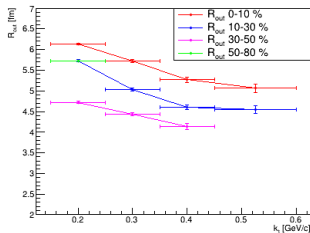
1-мерная проекция 3-мерной КФ



2-мерная проекция 3-мерной КФ



Сравнение вычисленных параметров из 3-мерной КФ при разных центральных-ностях

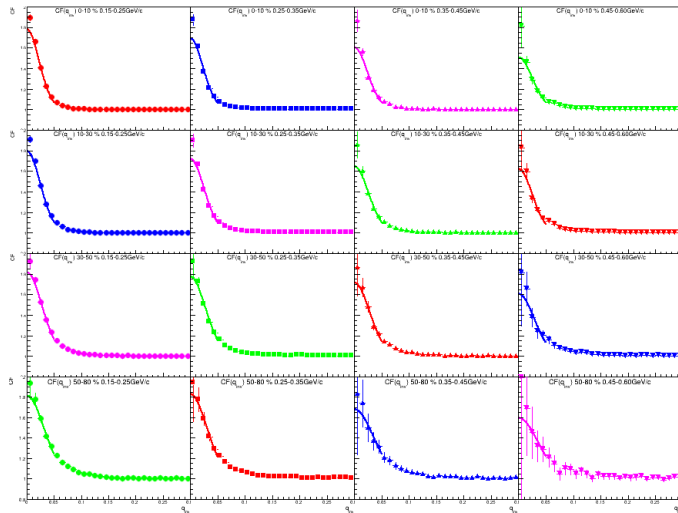


- Был сгенерирован набор частиц в транспортной модели “SMASH”.
- Были построены и изучены гистограммы для базового анализа столкновения.
- На базе сгенерированных модельных данных был освоен метод фемтоскопических корреляций.
- Были построены корреляционные функции для одномерного и трехмерного анализа.
- Были получены зависимости радиусов и силы корреляции от поперечного импульса и центральности.

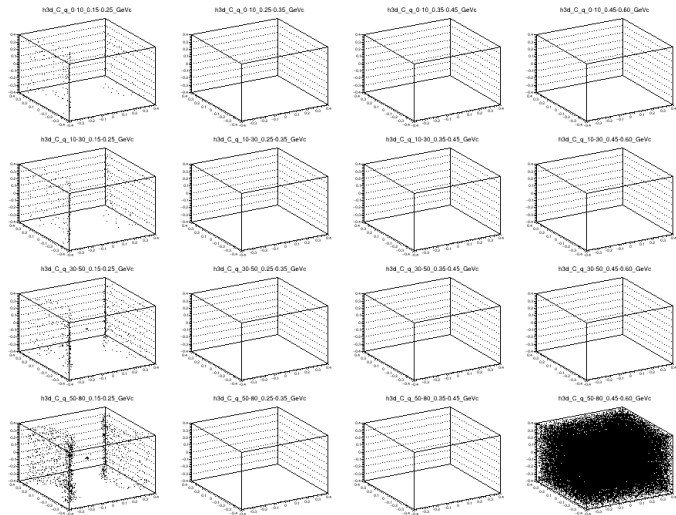
- Набрать более полную статистику для высокой центральности и для разных значений $\sqrt{S_{NN}}$.
- Изучить асимметрию. В частности для направления out.
- Проверить соответствие модельных и экспериментальных данных.

Спасибо за внимание!

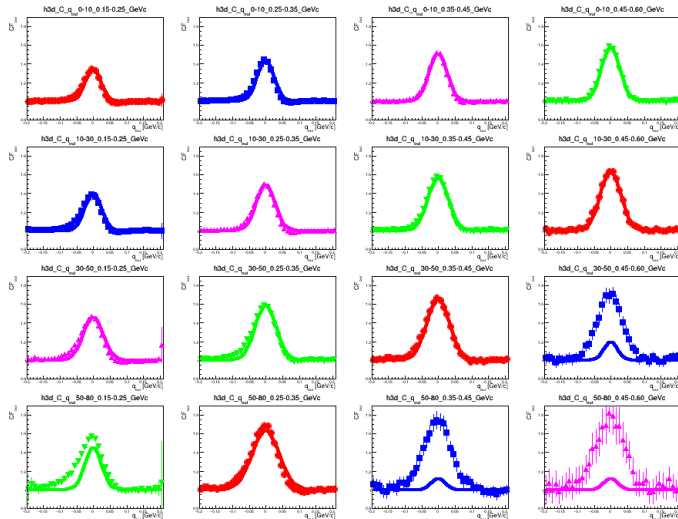
Дополнительные слайды. КФ для всех центральностей и k_t классов



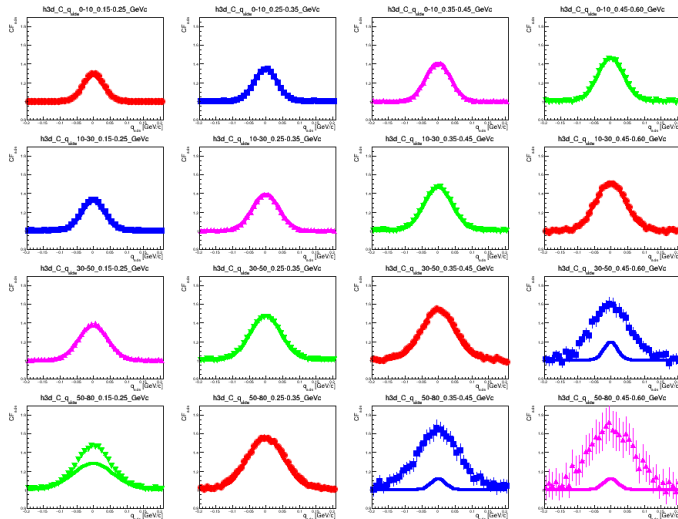
Дополнительные слайды. 3-мерные КФ для всех центральностей и k_t классов



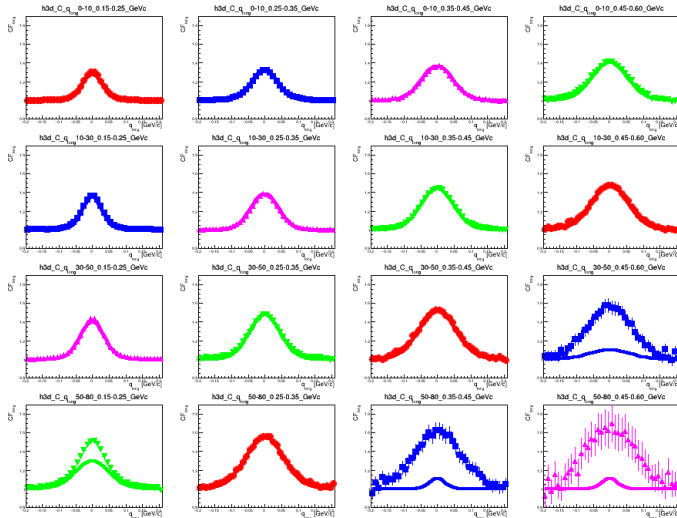
Дополнительные слайды. 1-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, на ось out



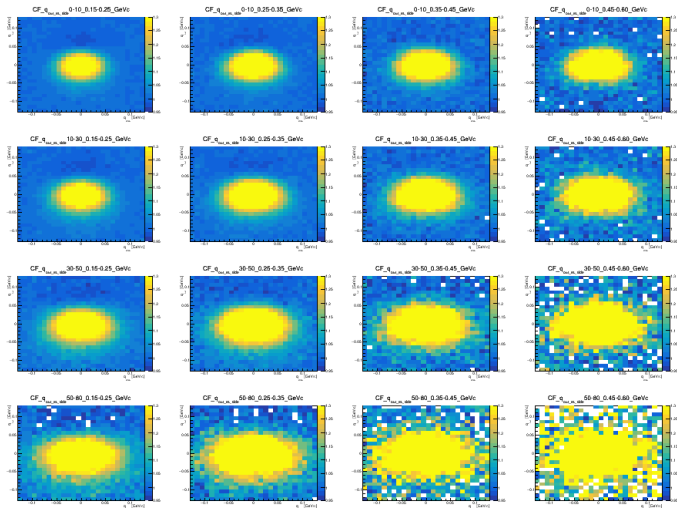
Дополнительные слайды. 1-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, на ось side



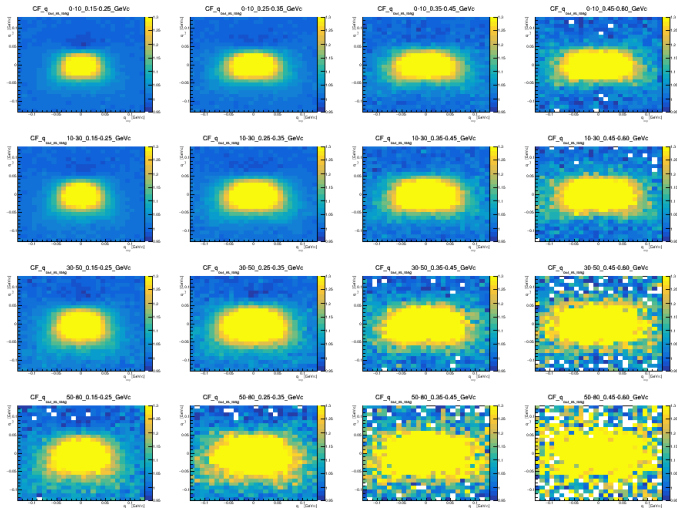
Дополнительные слайды. 1-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, на ось long



Дополнительные слайды. 2-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, в осях out-side



Дополнительные слайды. 2-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, в осях out-long



Дополнительные слайды. 2-мерные проекции 3-мерных КФ для всех центральностей и k_t классов, в осях side-long

