

Поиск далекодействующих радиально-несимметричных корреляций между струями и заряженными частицами

Мандрик П.С.



10 июля 2015 г.



Содержание

Эксперимент ATLAS

Отбор событий

- Триггер
- Сопутствующие вершины
- Треки, Струи

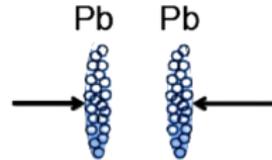
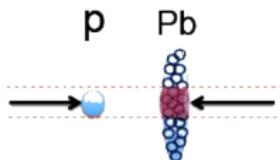
Распределение в системе координат $\Delta\eta$, $\Delta\phi$

- Исключение структуры UE + Pile-Up
- Поправка восстановленных структур UE+Pile-Up
- Исключение структуры ASR
- Исключение центрального пика

Распределение в системе координат η_{TJ} , ϕ_{TJ}

CMS “Near Side Ridge effect”

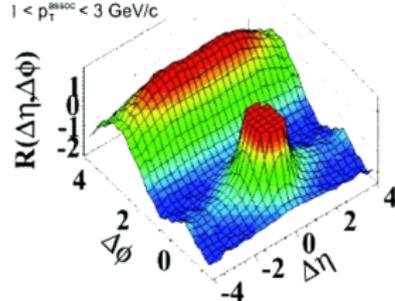
Двухчастичное распределение: $F_1(N)F_2(\phi, \eta, \Delta\phi, \Delta\eta) \frac{d^2N}{d\Delta\phi d\Delta\eta}$



CMS pp $\sqrt{s} = 7$ TeV, $N_{\text{ch}}^{\text{offline}} \geq 110$

$1 < p_T^{\text{sig}} < 3$ GeV/c

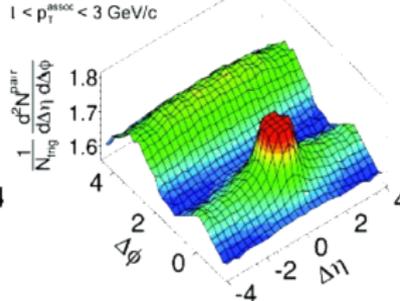
$1 < p_T^{\text{assoc}} < 3$ GeV/c



(a) CMS pPb $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, $N_{\text{ch}}^{\text{offline}} \geq 110$

$1 < p_T^{\text{sig}} < 3$ GeV/c

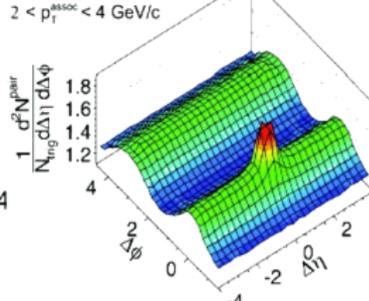
$1 < p_T^{\text{assoc}} < 3$ GeV/c



(b) CMS PbPb $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, 35-40%

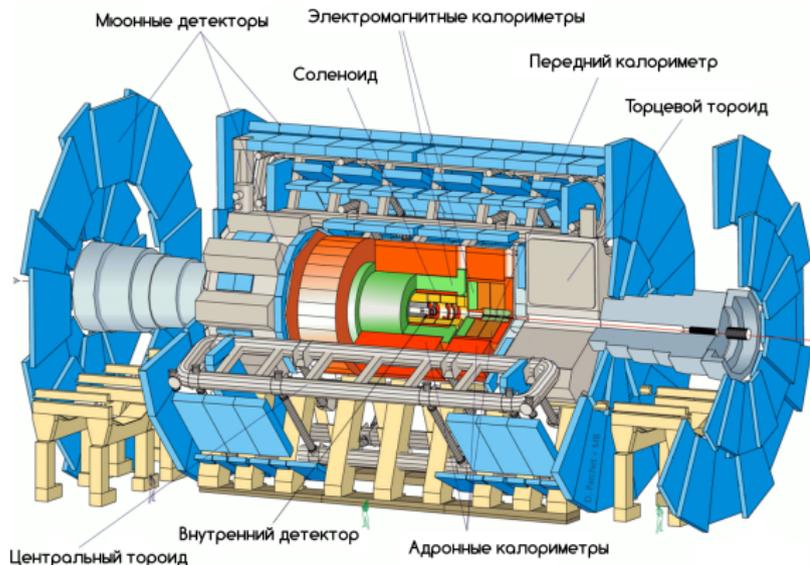
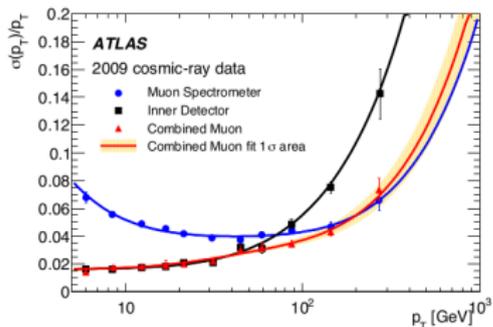
$4 < p_T^{\text{sig}} < 6$ GeV/c

$2 < p_T^{\text{assoc}} < 4$ GeV/c

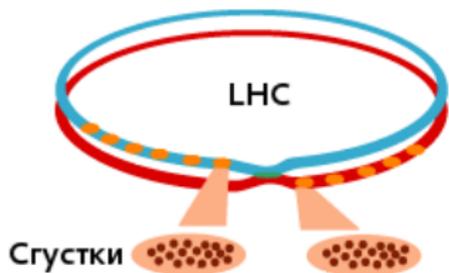


Эксперимент ATLAS

- Внутренний трековый детектор: измерение импульсов заряженных частиц, координат первичных и вторичных вершин, $|\eta| < 2.5$, $p_T > 0.5$ ГэВ
- Система калориметров: измерение электронов/фотонов, струй
- Мюонный спектрометр: идентификация и измерение импульсов мюонов, $|\eta| < 2.7$

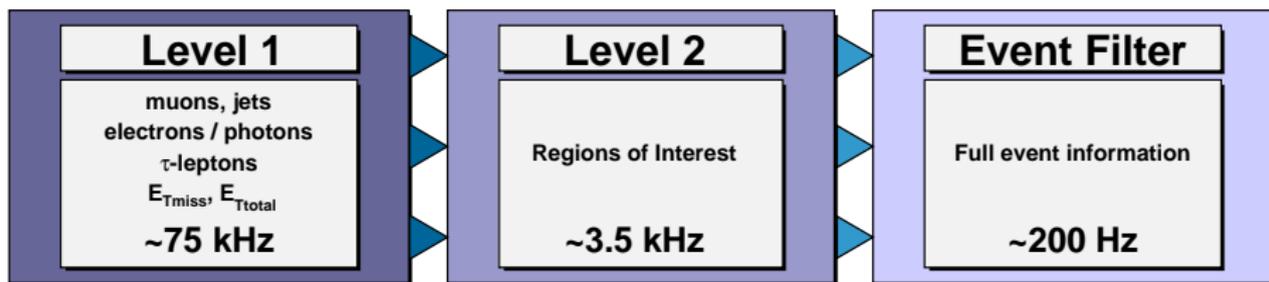


Триггер в эксперименте ATLAS



- 2808 сгустков протонов одновременно находятся в ускорителе
- $\sim 100,000$ миллионов протонов в сгустке
- пересечение каждые 25 нс
- пиковая частота событий 40 МГц, средняя 31.6 МГц

События проходят через трёхуровневую систему триггеров:



Масштабирующий фактор (prescale):

$$EF_j15_a4tchad \approx 10 * 10^6$$

$$EF_j25_a4tchad \approx 2 * 10^6$$

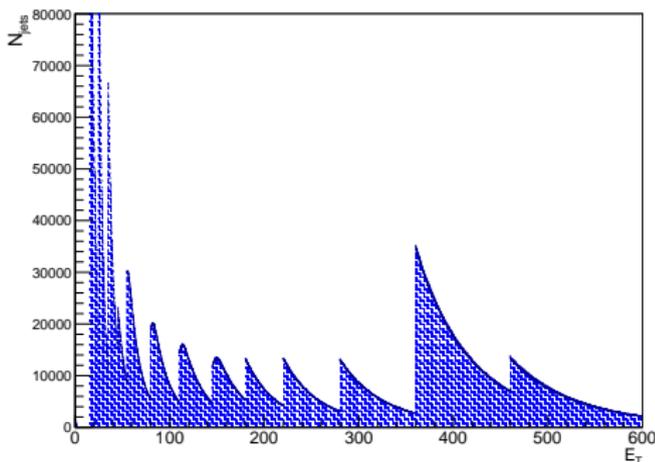
$$EF_j45_a4tchad \approx 15 * 10^4$$

$$EF_j55_a4tchad \approx 46 * 10^3$$

...

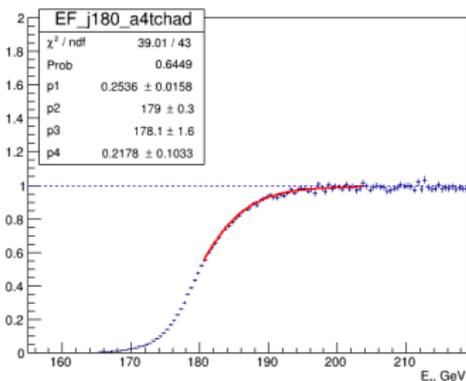
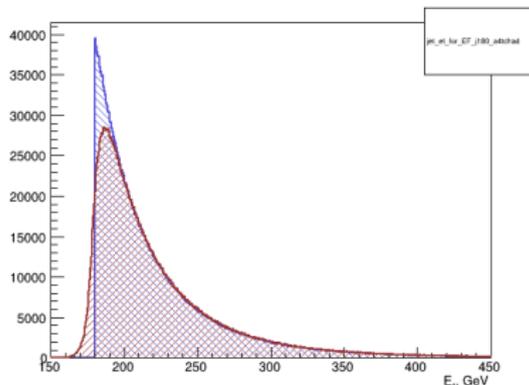
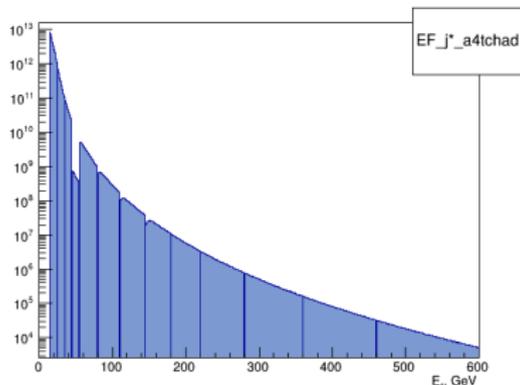
$$EF_j280_a4tchad \approx 17.3$$

$$EF_j360_a4tchad \approx 1$$



Таким образом, прошедшие триггер события:

- являются событиями специфическими, выделяющимися среди всех прочих произошедших
- искажаются масштабирующим факторами



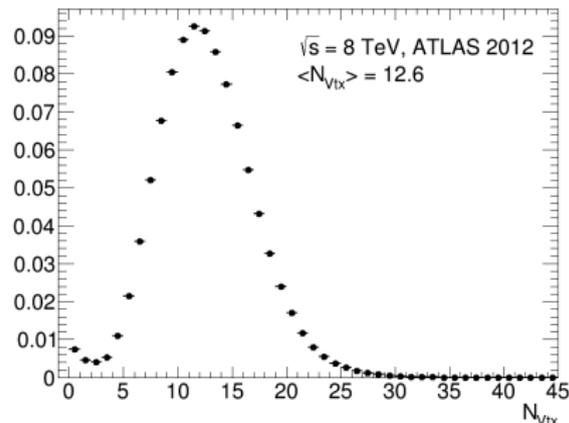
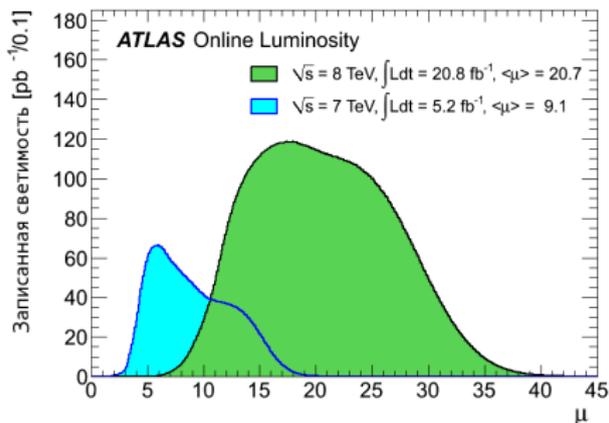
Фит функцией: $f(x) = \frac{1 + \frac{p4}{p3 - x}}{1 + e^{p1 * (p2 - x)}}$

Потеря 18% струй для триггера

EF_j180_a4tchad из-за смещения точки выхода на эффективность 99%

Сопутствующие вершины

Вершины, сопутствующие триггируемой вершине и отвечающие взаимодействиям протонов из сгустков.



- треки, струи возможно привязать к вершинам
- объекты, относящиеся к триггируемой вершине, из дальнейшего анализа исключаются

Отбор треков / струй

Треки:

- $p_t > 0.5$ ГэВ
- $|\eta| < 2.5$ - трек проходит через внутренний детектор.
- число хитов в SCT системе внутреннего детектора ≥ 6 и число хитов в пиксельном детекторе в центральной части (B-Layer) с учётом мёртвых областей ≥ 1
- для треков с $p_t > 10$ ГэВ проверка на $probability > 1\%$

Калориметрические струи:

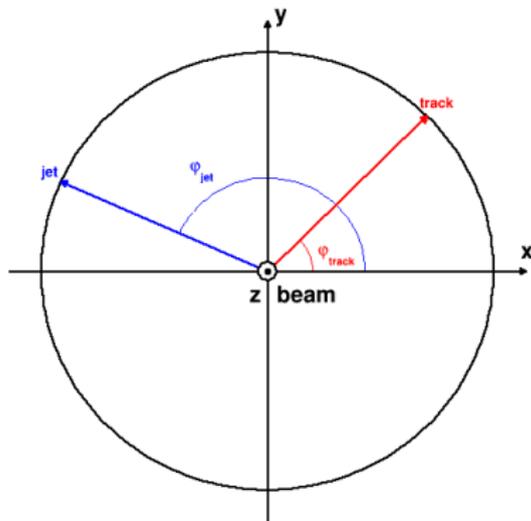
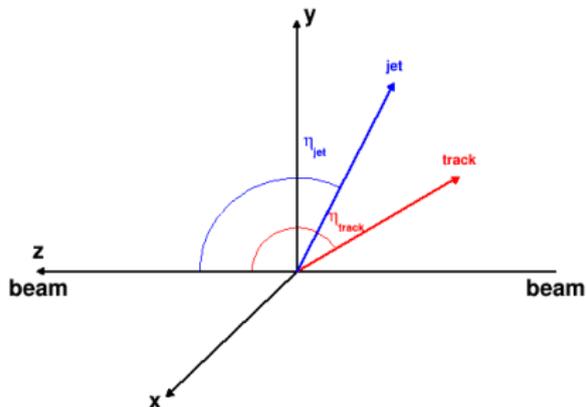
- восстанавливаются по выделенной в кластерах калориметра энергии
- минимальный порог по $E_T > 15$ ГэВ
- являются триггируемым объектом

Трековые струи:

- восстанавливаются из треков
- привязываются к вершинам при построении
- порог по энергии может быть снижен
- восстанавливаются из треков
- алгоритм anti-kt, $R = 0.4$
- $p_t > 4000$ МэВ
- число треков $N_{trk} \geq 2$

Для анализа корреляций между струями и заряженными частицами используются два набора переменных. Первый набор определён в системе координат детектора ATLAS:

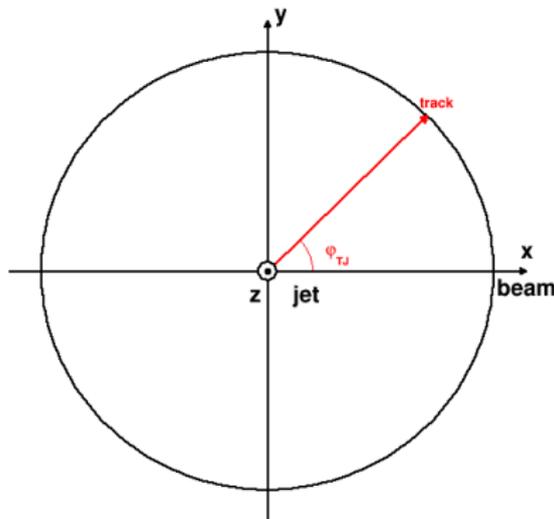
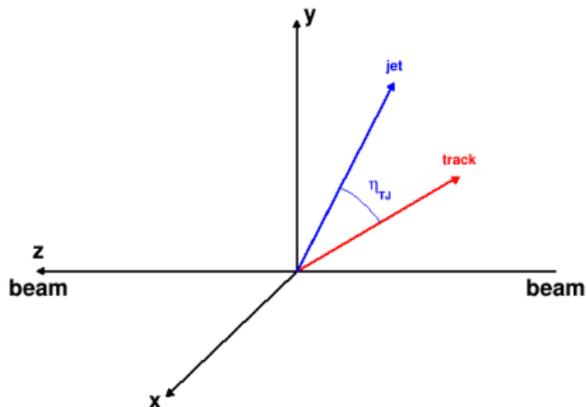
- $$\Delta\phi = \phi_{track} - \phi_{jet}, \quad \Delta\eta = \begin{cases} \eta_{track} - \eta_{jet}, & \text{при } \eta_{jet} > 0 \\ \eta_{jet} - \eta_{track}, & \text{при } \eta_{jet} < 0 \end{cases}$$



Второй набор переменных:

- ϕ_{TJ} , η_{TJ} - псевдобыстры и азимутального угла треков в системе координат, связанной со струей

ϕ_{TJ} отсчитывается от проекции вектора $(0,0,1)$ для струй с $\eta > 0$ и $(0,0,-1)$ для струй с $\eta < 0$ в плоскости, ортогональной оси струи.



Корреляционная функция - нормированное распределение плотности заряженных частиц в пространстве выбранных переменных:

$$\frac{1}{N_{event}} \frac{d^2 N}{d\Delta\eta d\Delta\phi}$$

$$\frac{1}{N_{event}} \frac{d^2 N}{d\phi_{TJ} d\eta_{TJ}}$$

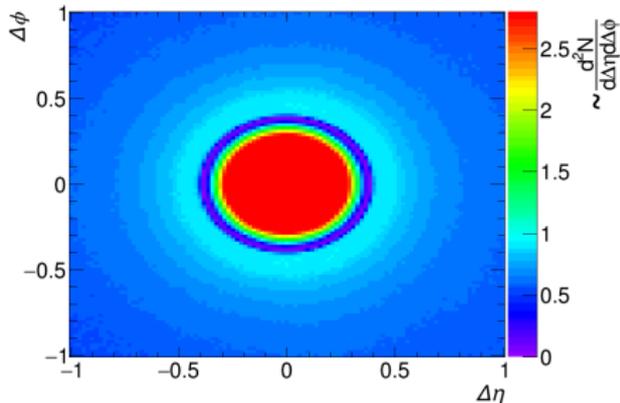
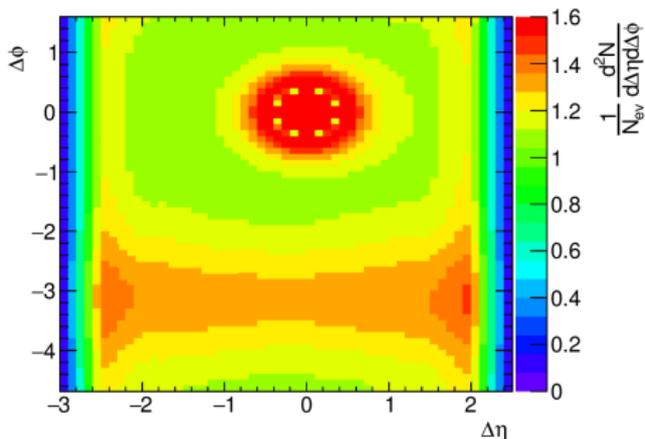
- может быть определена отдельно по интервалам:

- $|\eta|$: 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5
- E_T : 4, 10, 20, 30, 60, 90, 120 ГэВ

Следующие далее распределения используют интервал:

$$|\eta| < 0.5, 4 \text{ ГэВ} < E_T < 10 \text{ ГэВ}$$

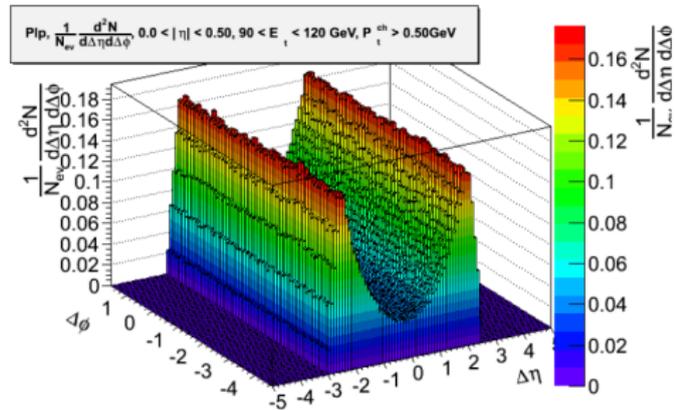
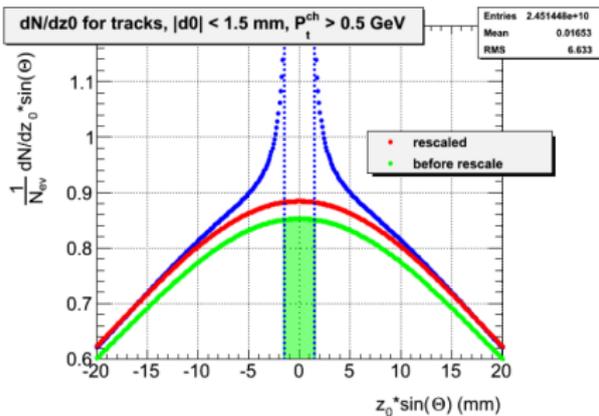
Распределение в системе координат $\Delta\eta, \Delta\phi$



- Центральный пик в окрестности $\Delta\eta = 0, \Delta\phi = 0$.
- Структура ASR (Away Side Ridge) при $\Delta\phi = \pi$.
- Фоновая структура UE (Underlying event)
- Вклад от сопутствующих вершин (Pile-Up)

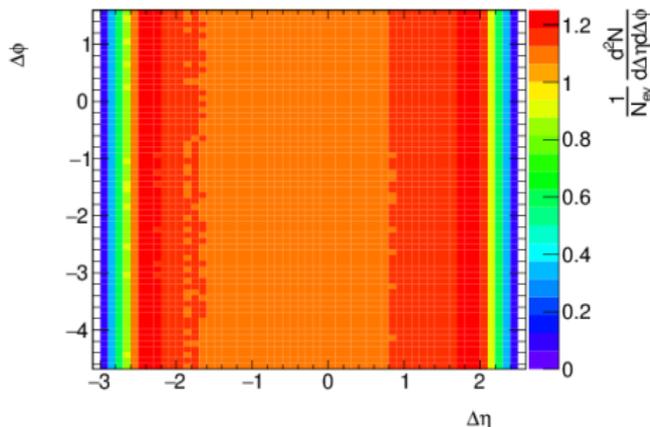
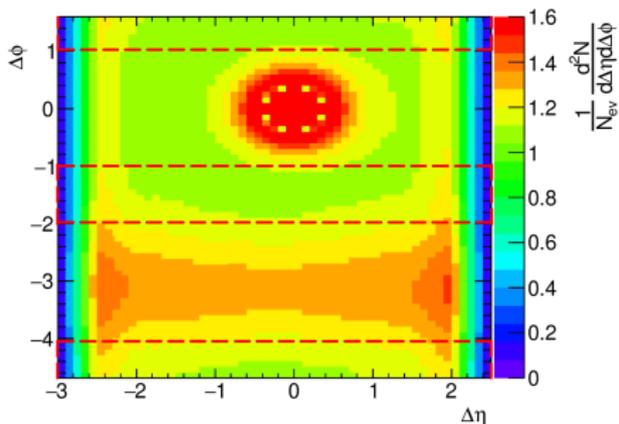
Вклад структуры Pile-Up

- используется мнимая вершина, с координатой триггеруемой вершины из предшествующего события
- треки из триггеруемой вершины исключаются (требуется перенормировка), остальные ассоциируются с мнимой вершиной
- вклад треков из сопутствующих вершин можно разбить по ячейкам гистограммы в связанной со струей системе координат $(\Delta\eta, \Delta\phi)$.



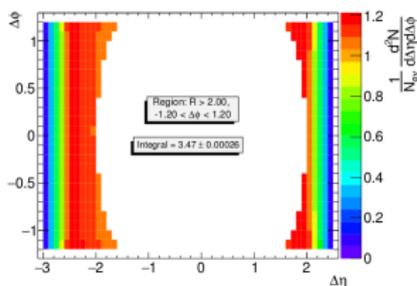
Исключение структуры UE + Pile-Up

- UE и Pile-Up радиально-симметричны относительно оси z
- экстраполяция UE из области, наименее искажённой другими структурами ($0 \pm \pi/3$ и $-\pi \pm \pi/3$)
- экстраполяция путём поворота треков

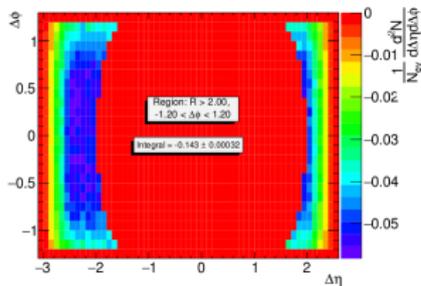


Поправка восстановленных структур UE+Pile-Up

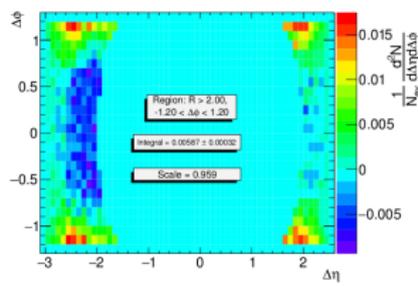
Перенормировка на области $R > 2.0$, $-1.2 < \Delta\phi < 1.2$, наименее искажённой другими структурами:



$$Int_a = 3.47$$



$$Int_b = -0.143$$

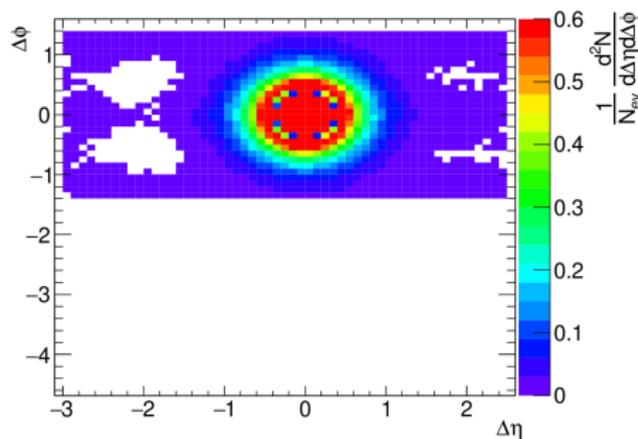
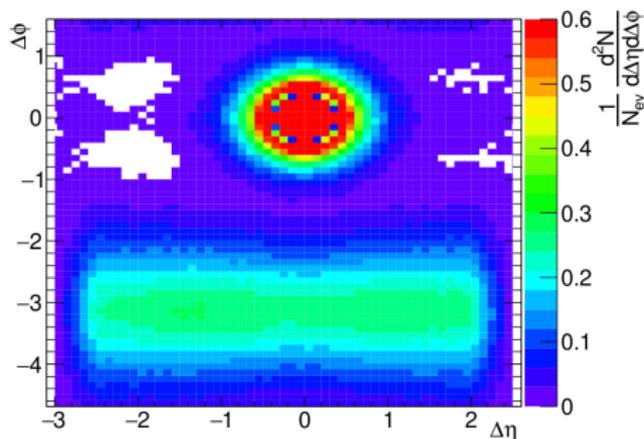


$$Int_{final} = 0.0058$$

$$S = 1 + \frac{Int_b}{Int_a} = 0.958 \quad (1)$$

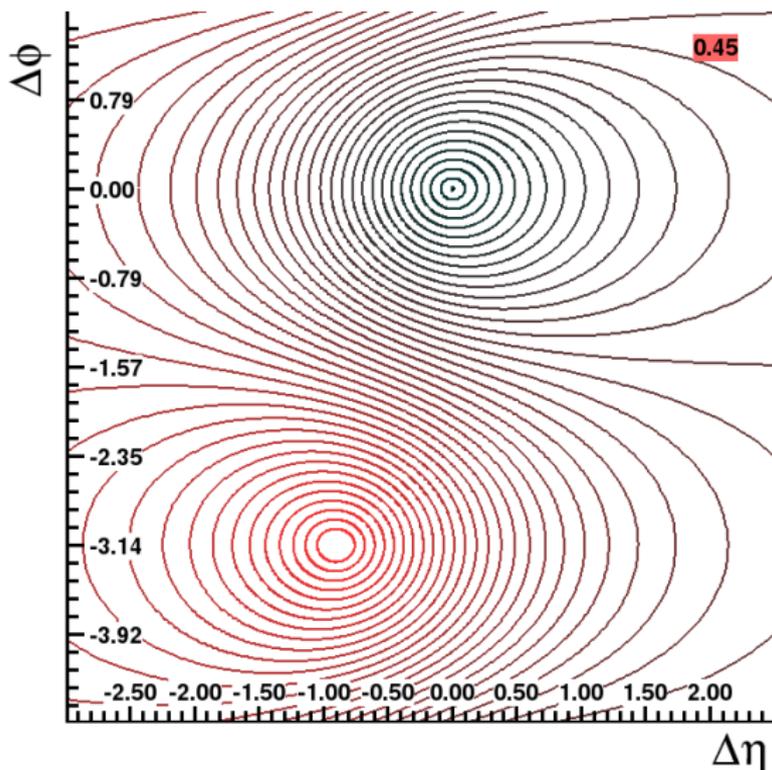
Исключение структуры ASR

Исключение ASR путём обрезания $|\Delta\phi| < 1.3$:

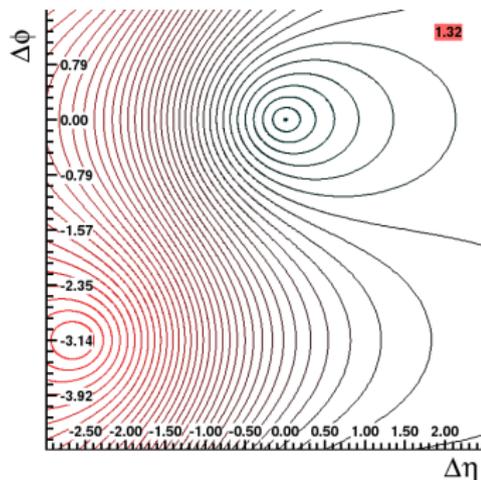


Исключение центрального пика

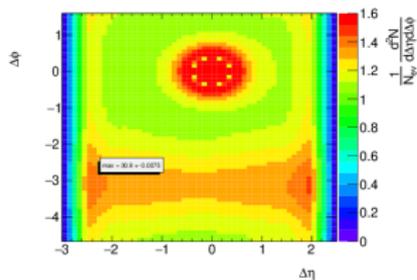
Для исключения доминирующей радиально-симметричной части центрального пика используется метод вращения событий.



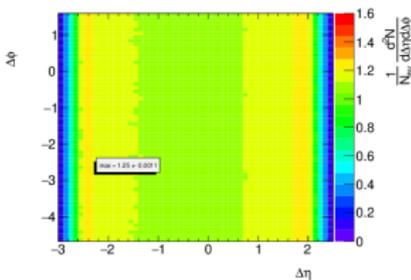
Линии, описываемые треками при повороте.
Неподвижные точки
($\Delta\eta, \Delta\phi$):
($-2|\eta_{jet}|, -\pi$) и (0, 0).



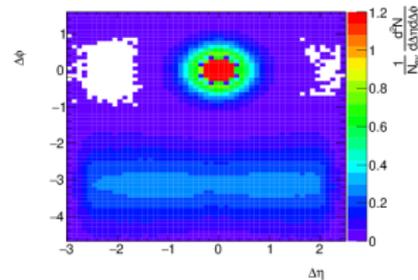
Исходное распределение
(1)



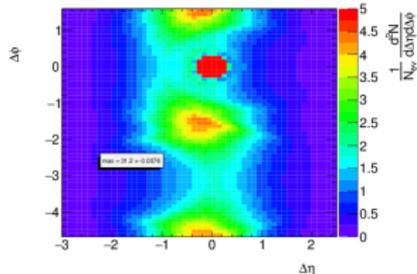
Структура UP+Pile-Up
(2)



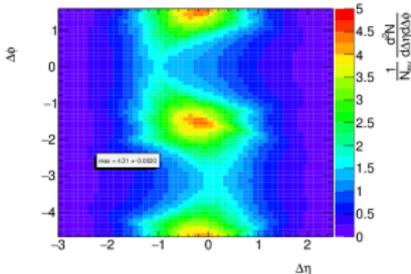
(1) - (2)



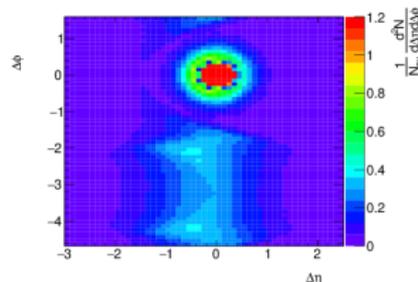
⇓ поворот



⇓ поворот



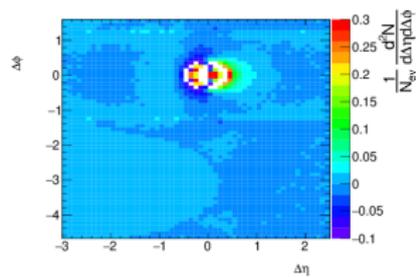
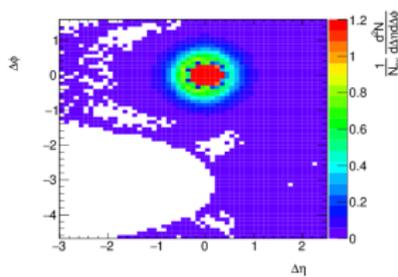
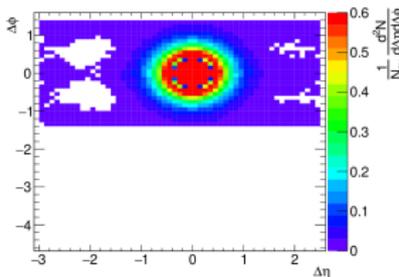
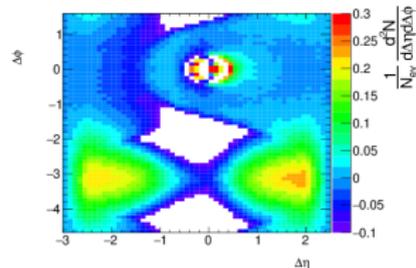
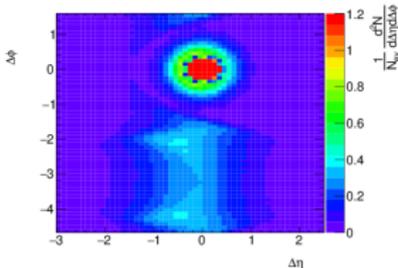
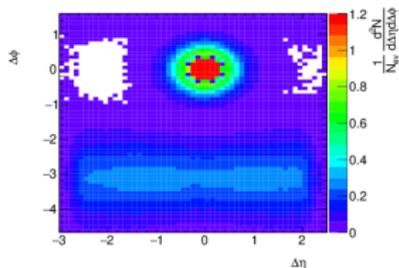
⇕ вычитание



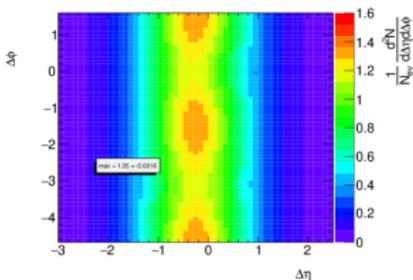
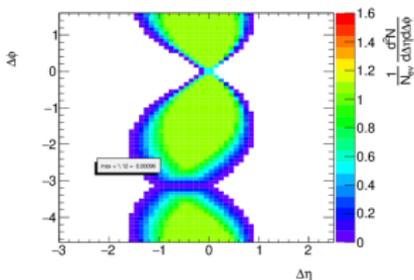
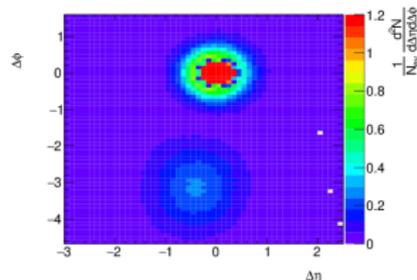
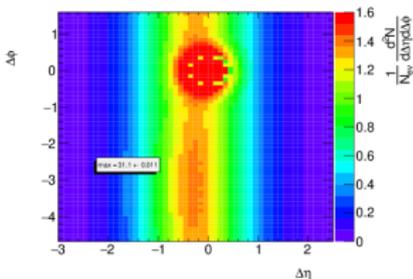
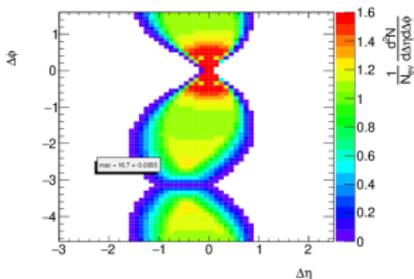
исходное распределение,
очищенное от структур
UE+Pile-UP (3)

(4)

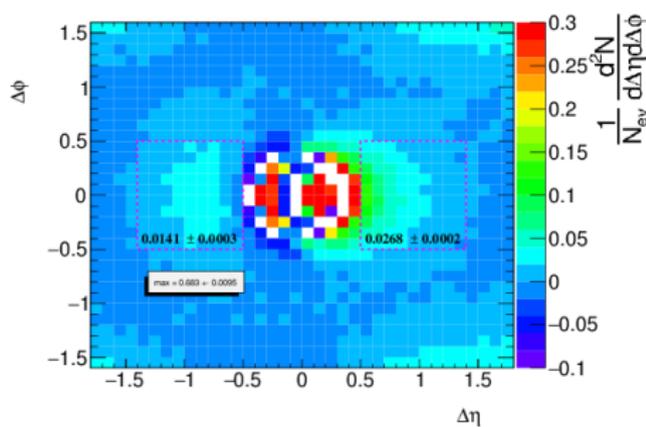
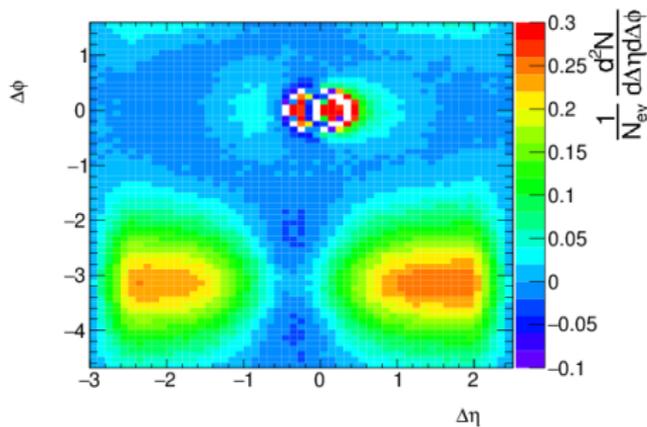
(3) - (4)



Восстановление радиально-симметричной части центрального пика по его части:



Распределение в системе координат $\Delta\eta, \Delta\phi$

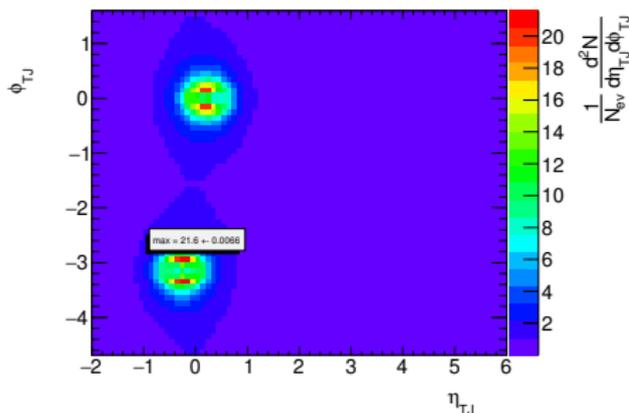


- выделена радиально-несимметричная структура в области центрального пика
- количественная характеристика:

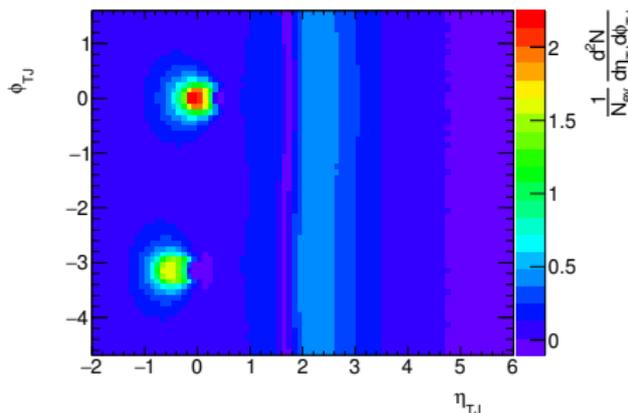
$$Int_l = 0.0141, Int_r = 0.0268$$

Распределение в системе координат η_{TJ} , ϕ_{TJ}

Исходное распределение:



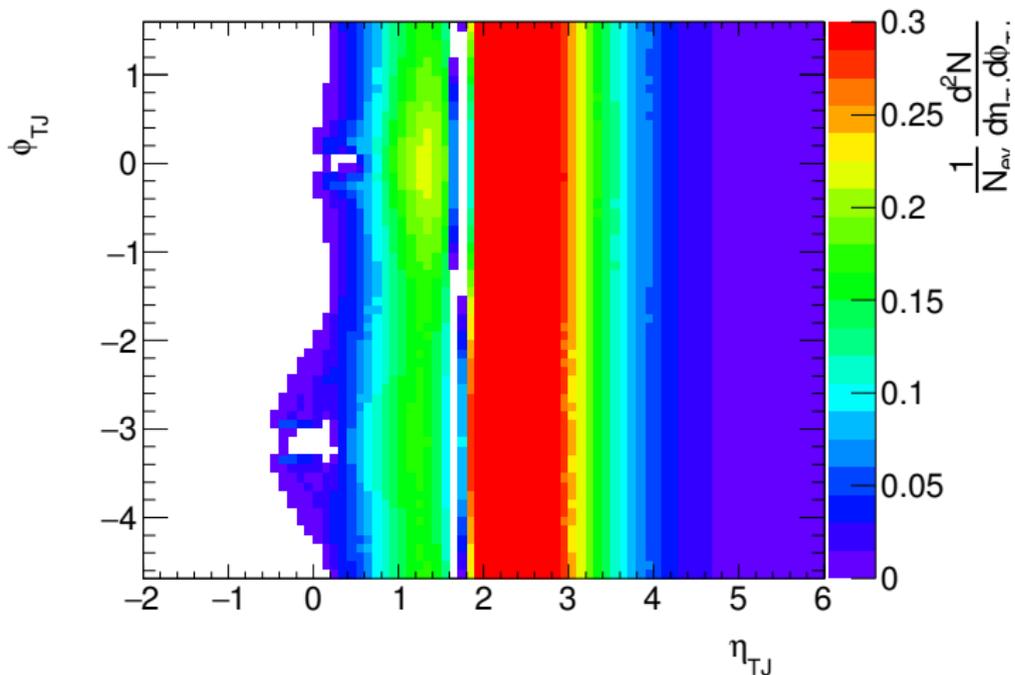
После исключения UE+Pile-Up:



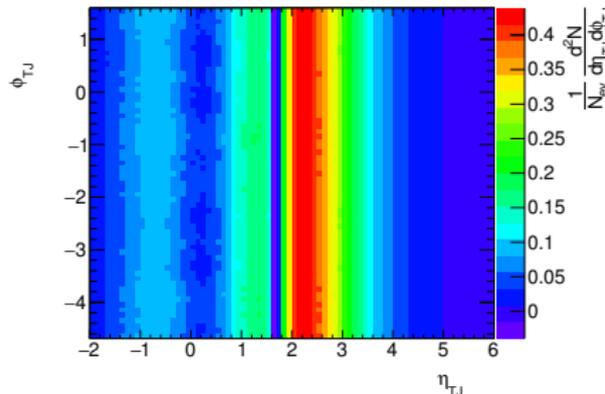
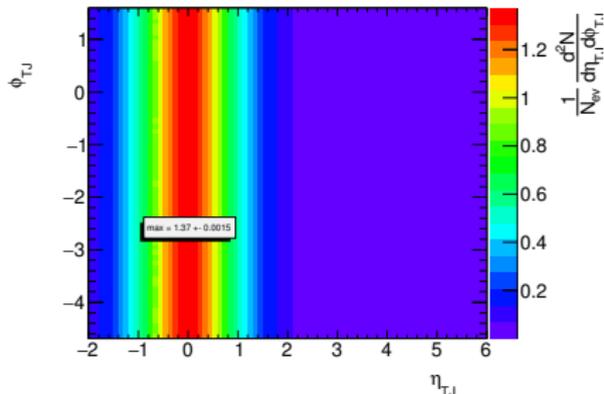
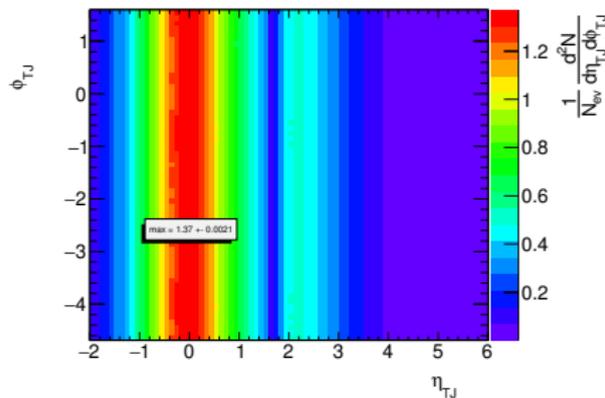
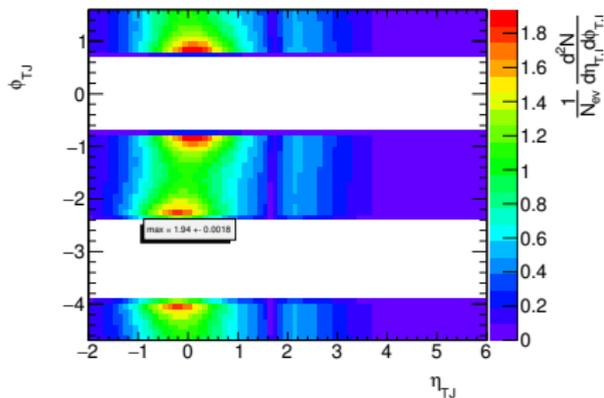
В новом наборе переменных:

- UE (+Pile-Up) стянут до двух раздвоенных доминирующих пиков
- ASR сконцентрирован в области двух пиков, меньших на порядок в сравнении с UE
- Центральный пик развёрнут по переменной ϕ_{TJ}

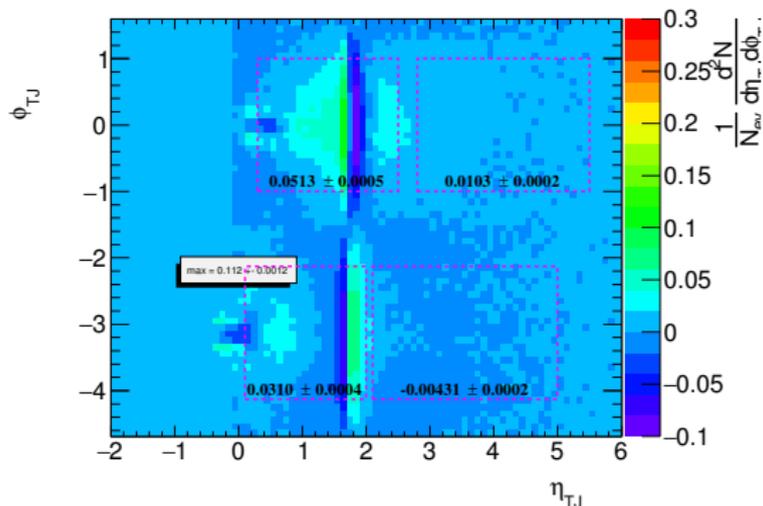
После исключения UE+Pile-Up+ASR:



Восстановление радиально-симметричной части центрального пика по его части и вращение событий:

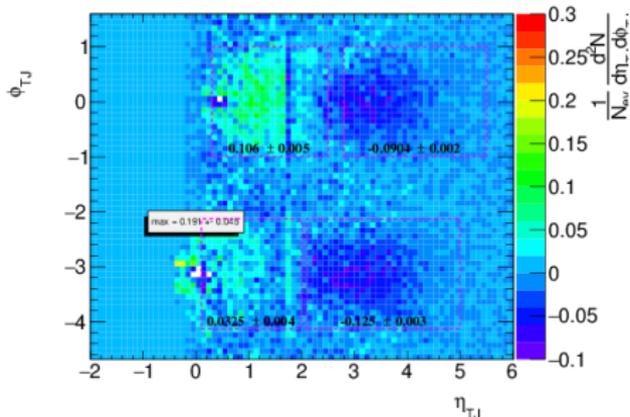
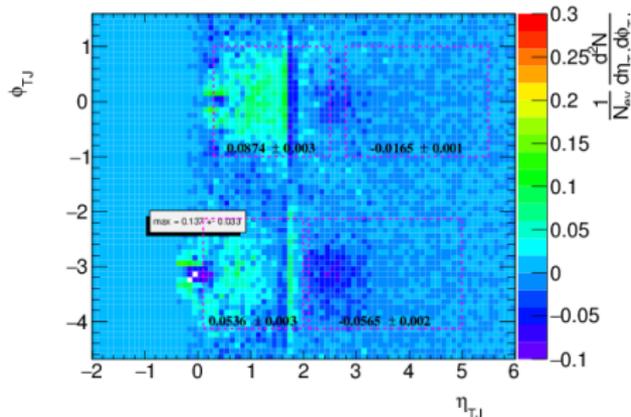
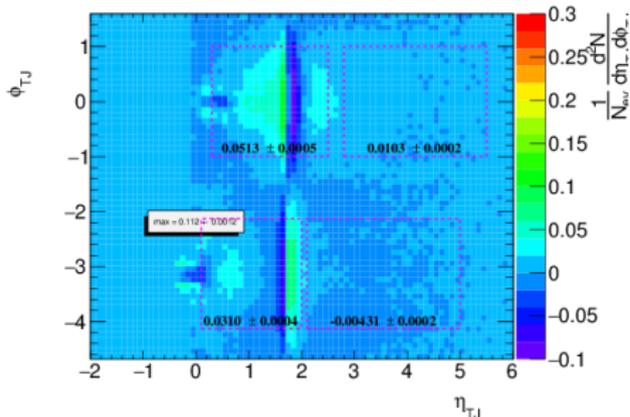


Распределение в системе координат η_{TJ} , ϕ_{TJ}



- выделена радиально-несимметричная структура в области центрального пика
- количественная характеристика:

$$Int_t = 0.0513, Int_b = 0.0310$$



Итоговое распределение плотности заряженных частиц для струй с $|\eta| < 0.5$ и различных интервалов:

$$4 < E_T < 10 \text{ ГэВ}$$

$$20 < E_T < 30 \text{ ГэВ}$$

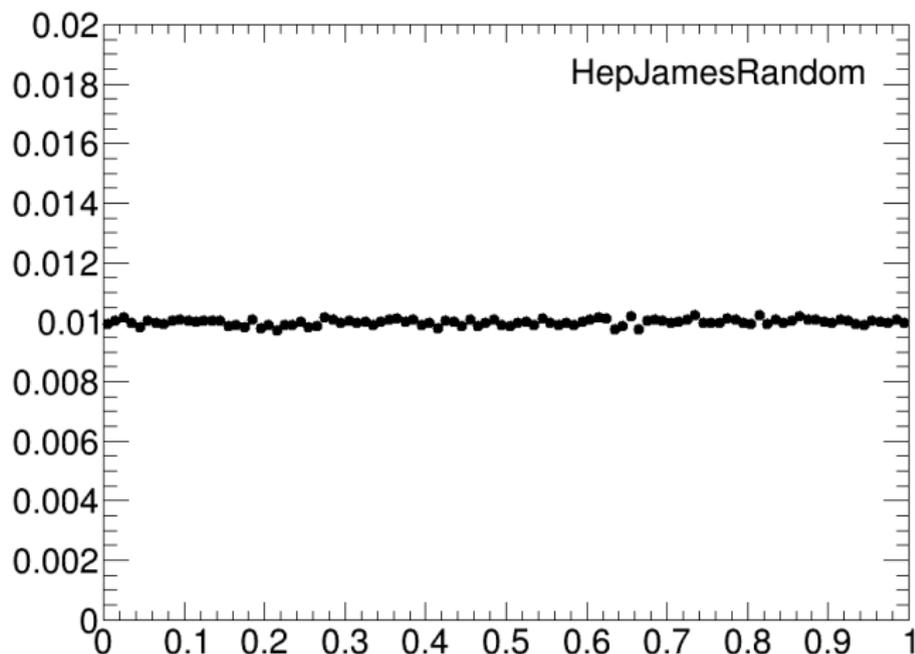
$$30 < E_T < 60 \text{ ГэВ}$$

Заключение

- проведён поиск радиально-несимметричных дальнедействующих корреляций между струями и заряженными частицами
- для трековых струй с $|\eta| < 0.5$ и в различных интервалах E_T (до 120 ГэВ) обнаружен избыток заряженных частиц в виде двух широких пиков в плоскости реакции при $\phi_{TJ} = 0$ и $\phi_{TJ} = -\pi$ при небольших положительных значениях η_{TJ} (1.4)
- величина интеграла от плотности заряженных частиц в выделенных областях варьируется в пределах 0.1 – 0.3 частицы на событие/струю
- для трековых струй с $E_T > 30$ ГэВ в области сравнительно больших η_{TJ} 3-4 в плоскости реакции $\phi_{TJ} = 0$ ($-\pi$) наблюдается некоторый статистически значимый недостаток заряженных частиц
- все результаты являются предварительными и ещё не проходили процедуру утверждения внутри сотрудничества АТЛАС

Генератор случайных чисел

HepJamesRandom (CLHEP) RANMAR (Marsaglia-Zaman) $\approx 10^{43}$



Распределение трековых струй / треков по трековым струям

