



## Краткий обзор генератора событий



Сандул В.С.

29.07.2019

СПбГУ, Лаборатория физики  
сверхвысоких энергий

# О чём сегодня поговорим?

1. Краткий обзор физической модели SMASH
2. Возможности и настройки генератора событий SMASH
3. Личный опыт использования
4. Попытки получения физ. результатов (гистограммы по  $p_T$ ,  $\eta$ ,  $\phi$ ; n-n корреляции)

# Материалы по теме

- [arXiv:nucl-th/9803035](https://arxiv.org/abs/nucl-th/9803035) – физическое описание транспортной модели
- [arXiv:1606.06642v2 \[nucl-th\]](https://arxiv.org/abs/1606.06642v2) – описание модели SMASH конкретно
- <https://smash-transport.github.io/> - главная страница проекта
- <http://theory.gsi.de/~smash/doc/1.6/index.html> - документация по SMASH с описанием классов, настроек и т.д.

# Физическая модель SMASH

**SMASH** - **S**imulating **M**any **A**ccelerated **S**trongly-Interacting **H**adrons

*Физическая основа SMASH – так называемая транспортная модель*

Динамика частиц описывается релятивистским уравнением Больцмана с возможностью бинарных столкновений:

$$p^\mu \partial_\mu f_i(x, p) + m_i F^\alpha \partial_\alpha^p f_i(x, p) = C_{\text{coll}}^i$$

- Здесь  $x$  и  $p$  – пространственные координаты и импульс;  $f_i$  – функции распределения частицы  $i$  в обобщённом пространстве;  $m_i$  – её масса;  $F^\alpha$  – сила, действующая на частицу:  $F^\alpha = -\partial^\alpha U(x)$ ,  $U(x)$  – потенциал среднего поля;  $C_{\text{coll}}$  – “collision terms” – описывают столкновения частиц.

- $$U = \underbrace{a(\rho/\rho_0) + b(\rho/\rho_0)^\tau}_{\text{Skyrme potential}} \pm \underbrace{2S_{\text{pot}} \frac{\rho I_3}{\rho_0}}_{\text{Symmetry potential}} \quad \text{- используемый в SMASH потенциал как ф-я от барионной плотности;}$$

# Физическая модель SMASH

Если 2 частицы оказываются достаточно близко друг к другу ( $d_{\text{trans}} < d_{\text{int}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{tot}}}{\pi}}$ , где  $d_{\text{trans}}^2 = (r_a - r_b)^2 - \frac{((r_a - r_b) \cdot (p_a - p_b))^2}{(p_a - p_b)^2}$ , то они сталкиваются и взаимодействуют друг с другом. Каким образом?

## 1) Образование и распад резонансов

*H:  $\pi\pi \rightarrow \rho \rightarrow \pi\pi$ ,  $\pi\pi \rightarrow f_2 \rightarrow \rho\rho \rightarrow \pi\pi\pi$ , etc.*

*Даёт основной вклад при столкновениях с низкой энергией*

## 2) Упругое и неупругое $2 \rightarrow 2$ рассеяние

*H:  $NN \rightarrow NN$ ,  $NN \rightarrow N\Delta$ ,  $NN \rightarrow \Delta\Delta$ ,  $KN \rightarrow \Lambda\pi$ , etc.*

## 3) Образование и фрагментация струн

*Лундовская струнная модель; осуществляется с помощью PYTHIA 8*

*Этот вклад растёт с ростом энергии столкновения*

## \*4) Вклад в потенциал

*Только меняет уравнения движения;*

*Работает на любых расстояниях (не только при  $d_{\text{trans}} < d_{\text{int}}$ )*

# Физическая модель SMASH

**Весь процесс генерации столкновения выглядит примерно так:**

1) Генерируются ядра с заданной геометрией, импакт-параметром, числом протонов и нейтронов, энергией, потенциалом. Нуклоны в ядре распределены по ф-ле Вудса-Саксона:

$$\frac{dN}{d^3r} = \frac{\rho_0}{\exp\left(\frac{r-r_0}{d}\right)+1}$$

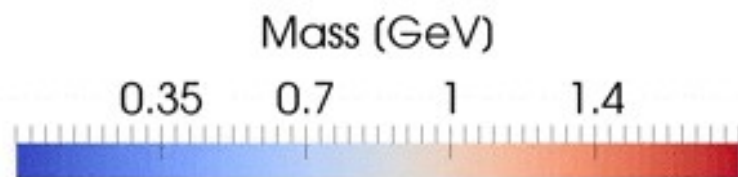
2) Затем численно решаем рел. Ур-е Больцмана для системы множества частиц.

3) Если частицы оказываются достаточно близко друг к другу, то они взаимодействуют одним из описанных выше способов

4) В итоге получаем координаты и импульсы частиц в отдельные моменты времени (можем наблюдать не только *final state*, но и эволюцию системы во времени)



Time: -2.4 fm



# Возможности и настройки SMASH

<http://theory.gsi.de/~smash/doc/1.6/index.html> - (почти) исчерпывающая инструкция по использованию SMASH

## 1) Основные настройки

- End\_Time – время (в фм), после которого эволюция системы (решение ур-я Больцмана) останавливается
- Modus – выбор “режима” рассмотрения системы. Хотим ли мы изучать частицы конечного состояния или нас интересует термодинамика системы?
- Delta\_Time - “временное разрешение” эволюции системы
- Gaussian\_Sigma – ширина  $\phi$ -и Гаусса, соответствующая вигнеровскую плотность частиц
- И другие...



# Возможности и настройки SMASH

<http://theory.gsi.de/~smash/doc/1.6/index.html> - (почти) исчерпывающая инструкция по использованию SMASH

## 2) Настройки **Collision term** (правая часть ур-я Больцмана)

- **Two\_to\_One** – разрешить или запретить формирование/распад резонансов
- **No\_Collisions** – наоборот, рассмотрение только резонансных вкладов
- **Force\_Decays\_At\_End** – завершить распад резонансов в конце или нет? (true or false)
- **Strings** – разрешить или запретить формирование/распад лундовских (PYTHIA 8) струн?
- И другие...

```
Strings: True
String_Parameters:
  String_Tension: 1.0
  Gluon_Beta: 0.5
  Gluon_Pmin: 0.001
  Quark_Alpha: 2.0
  Quark_Beta: 7.0
  Strange_Supp: 0.16
  Diquark_Supp: 0.036
  Sigma_Perp: 0.42
  StringZ_A_Leading: 0.2
  StringZ_B_Leading: 2.0
  StringZ_A: 2.0
  StringZ_B: 0.55
  String_Sigma_T: 0.5
  Prob_proton_to_d_uu: 0.33
  Separate_Fragment_Baryon: True
  Popcorn_Rate: 0.15
```

Струны можно довольно точно настраивать. По умолчанию стоят параметры PYTHIA8

# Возможности и настройки SMASH

<http://theory.gsi.de/~smash/doc/1.6/index.html> - (почти) исчерпывающая инструкция по использованию SMASH

## 3) Настройки ядер

- `Sqrtsnn` – энергия столкновения на нуклон в СЦМ. Альтернативы: `E_Kin` (для неподвижной мишени) и `P_Lab` (задаётся импульс)
- `Calculation_Frame` – выбор системы отсчёта ("center of velocity", "center of mass", "fixed target")
- `Fermi_Motion` – включает/выключает Ферми-движение в ядрах
- `Projectile` и `Target` – задают сталкивающиеся ядра (через число протонов и нейтронов)
- Тут же можно задать параметры распределения Вудса-Саксона, определение радиуса ядра, а также, если надо, “продеформировать” ядро

# Возможности и настройки SMASH

<http://theory.gsi.de/~smash/doc/1.6/index.html> - (почти) исчерпывающая инструкция по использованию SMASH

## 4) Задание импакт-параметра

- Value – задаёт конкретное фиксированное значение импакт-параметра
- Sample – возможность задать распределение по импакт-параметру в заданном диапазоне. Примеры:
  - “uniform” - равномерное распределение:  $dP(b)=db$
  - “quadratic” -  $dP(b)=b \cdot db$
  - “custom” - возможность задать собственное распределение (сплайн по реперным точкам)
- Initial\_Distance – начальное расстояние по оси Z между ядрами (в фм)

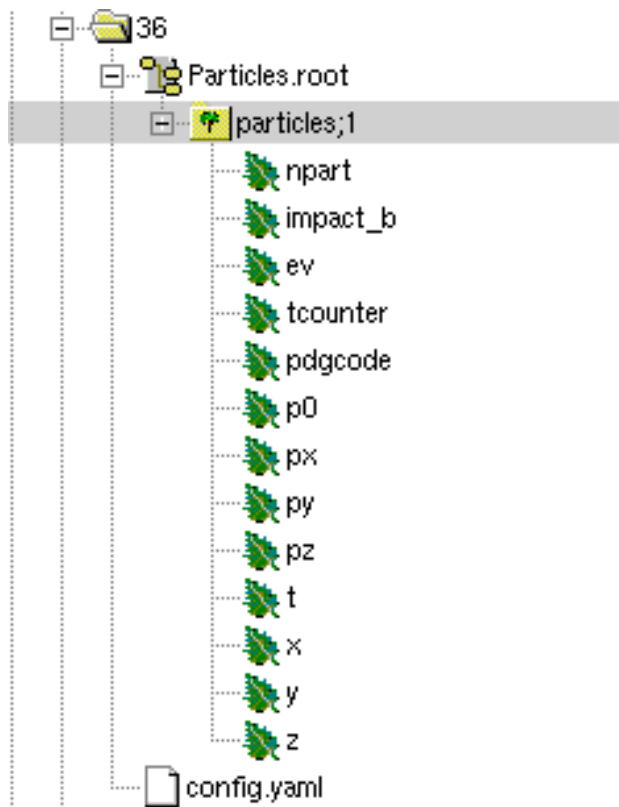
# “Проба пера”

```
1 Version: 1.5 # minimal SMASH version to use with this config file
2
3 Logging:
4   default: INFO
5
6 General:
7   Modus: Collider
8   Time_Step_Mode: Fixed
9   Delta Time: 0.1
10  End Time: 100.0
11  Randomseed: -1
12  Nevents: 5000
13
14
15 Output:
16   Output Interval: 100.0
17   Particles:
18     Format: ["Root"]
19     Only_Final: True
20     Extended: True
21     # Collisions:
22     # Format: ["Root"]
23     # Extended: True
24 Collision Term:
25   Strings: True
26   Force_Decays_At_End: True
27 Modi:
28   Collider:
29     Projectile:
30       Particles: {2212: 82, 2112: 125} #pb207 # {2212: 79, 2112: 118} #Gold197
31     Target:
32       Particles: {2212: 82, 2112: 125} #pb207 # {2212: 79, 2112: 118} #Gold197
33
34   Sqrtsnn: 3.23
35   Fermi Motion: "frozen"
36   Impact:
37     Sample: uniform
38     Range: [0.0, 0.2]
39
40
41
```

Задаём столкновение ядер свинца с  
Энергией в СЦМ 3.23 AGeV, с  
Равномерно распределённым в  
Интервале 0-0.2 фм импакт-  
Параметром, с учётом струн и без  
Учёта Ферми-движения

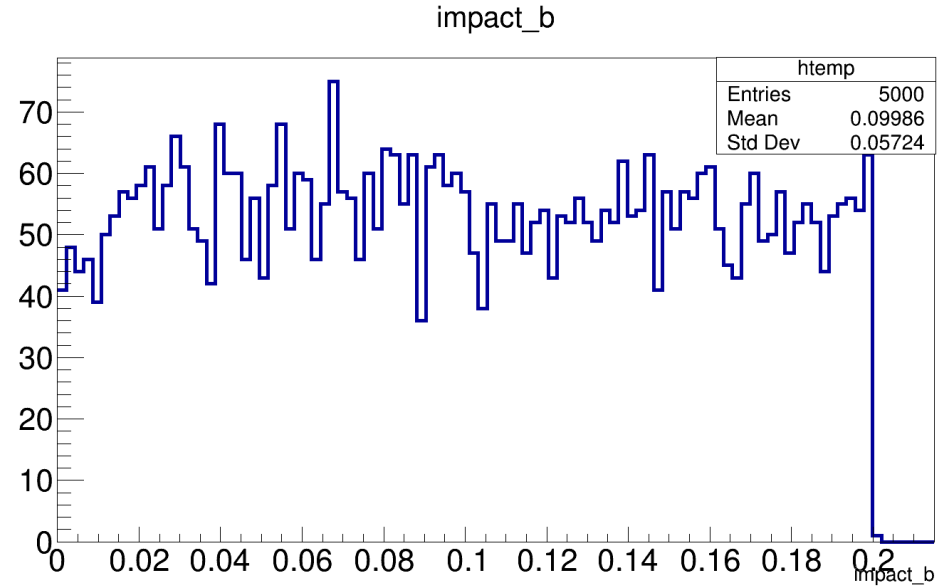
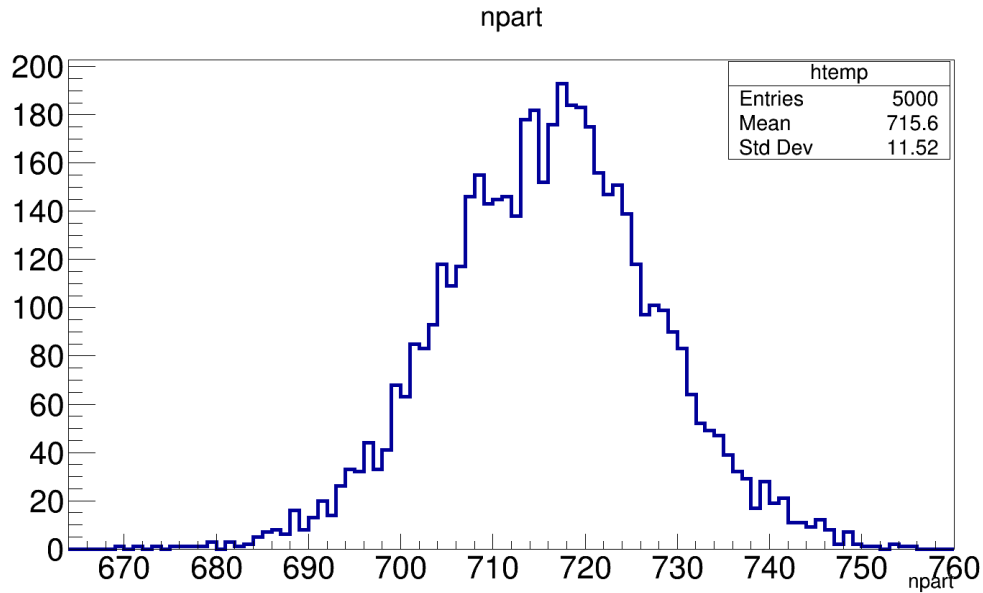
Данные сохраняем в  
формате .root

# Первичные данные .root

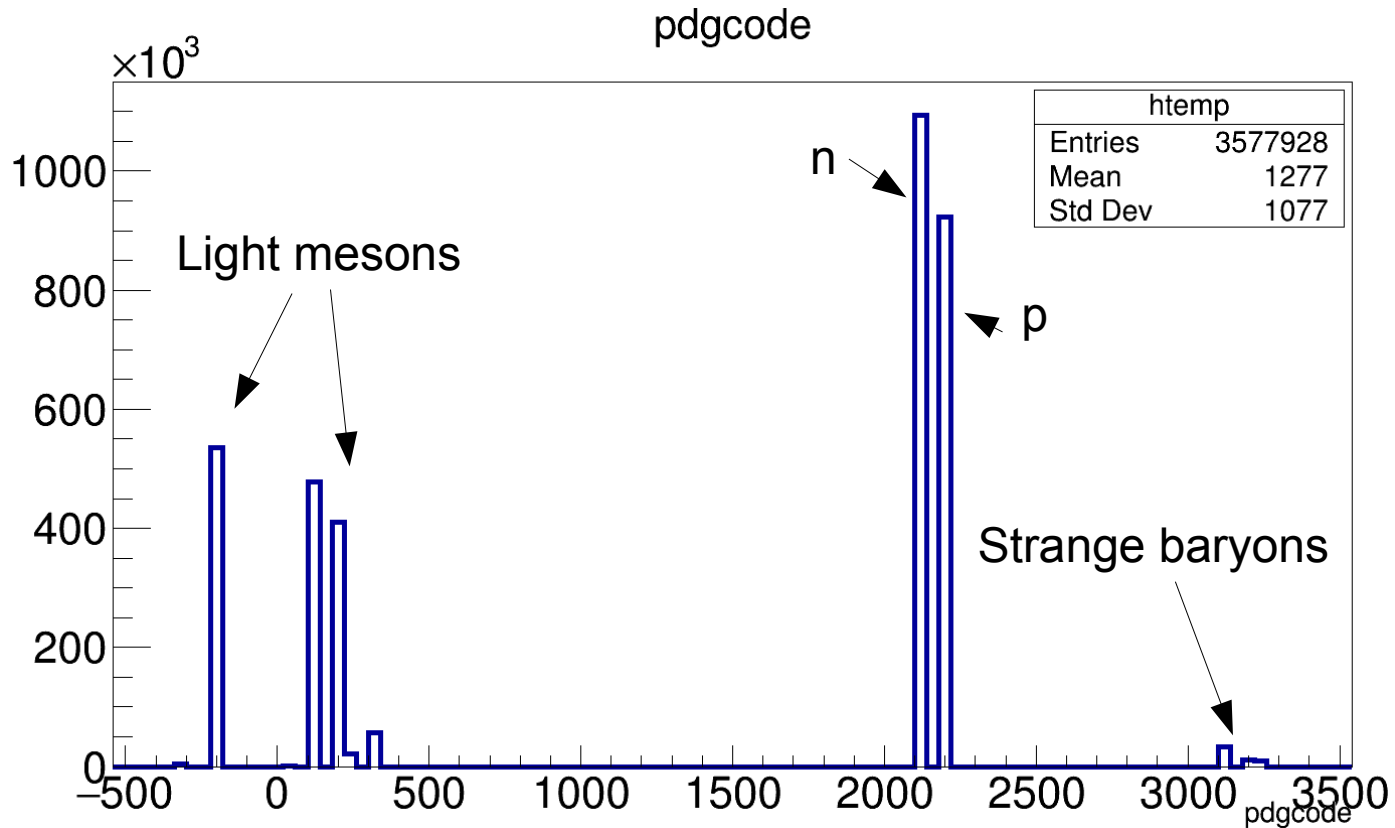


- npart – распределение солкновений по множественностям
- impact\_b – по импакт параметру
- p0, px, py, pz – распределения частиц по компонентам 4х-импульса
- t, x, y, z – распределения частиц по пространственному 4хветору
- pdgcode – распределение частиц по сортам (в данном случае конечных частиц)

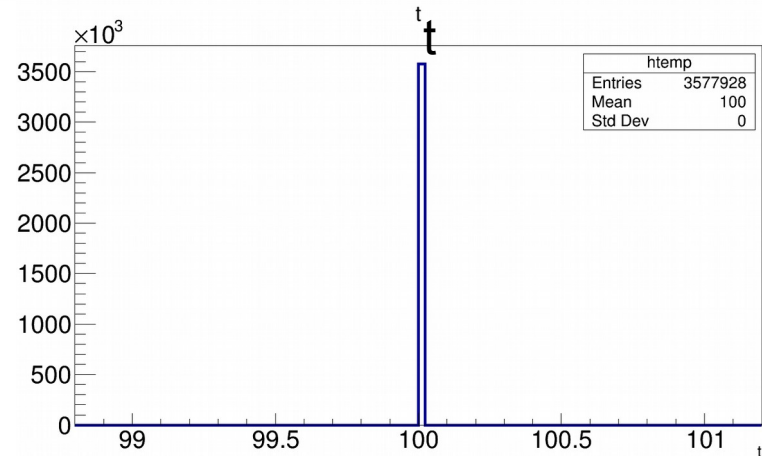
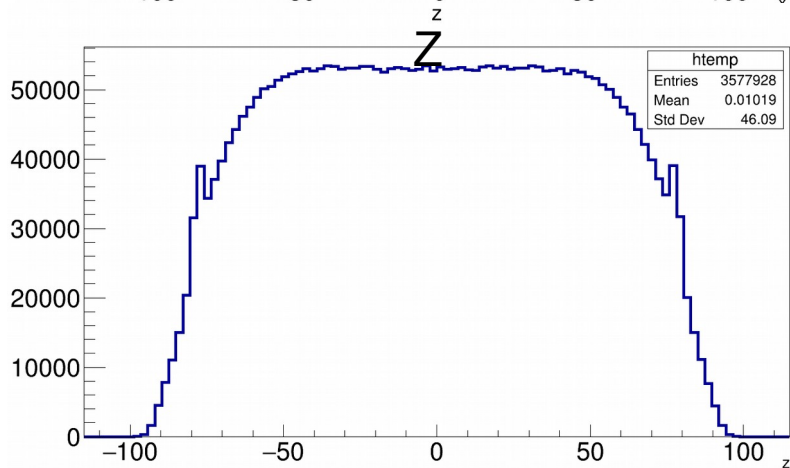
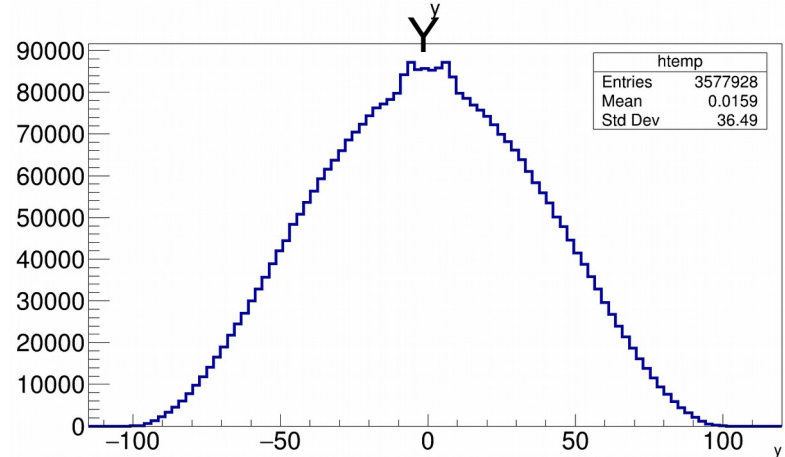
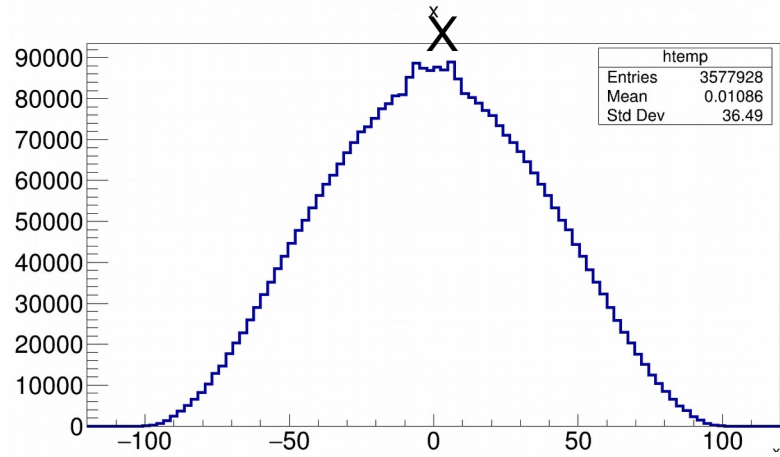
# Первичные данные .root



# Первичные данные .root

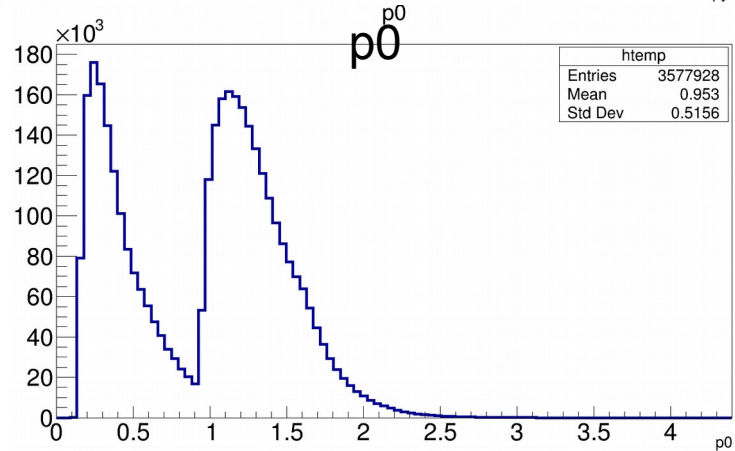
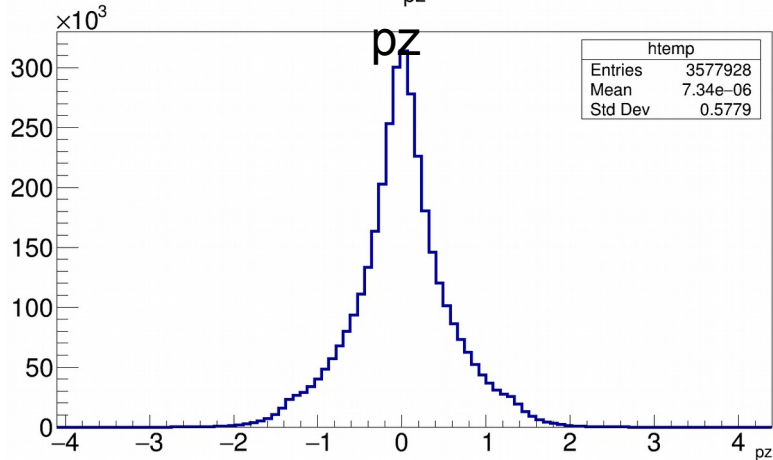
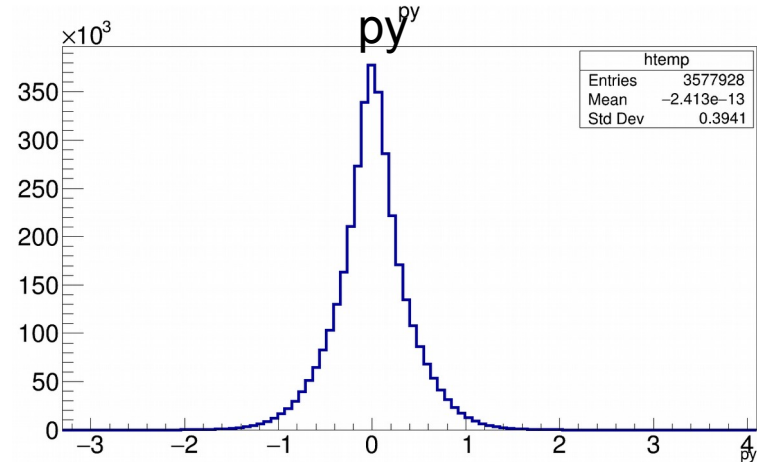
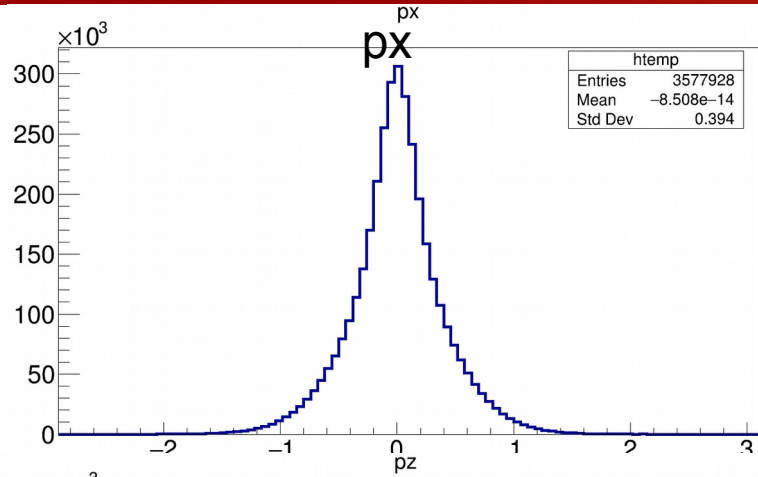


# Первичные данные .root



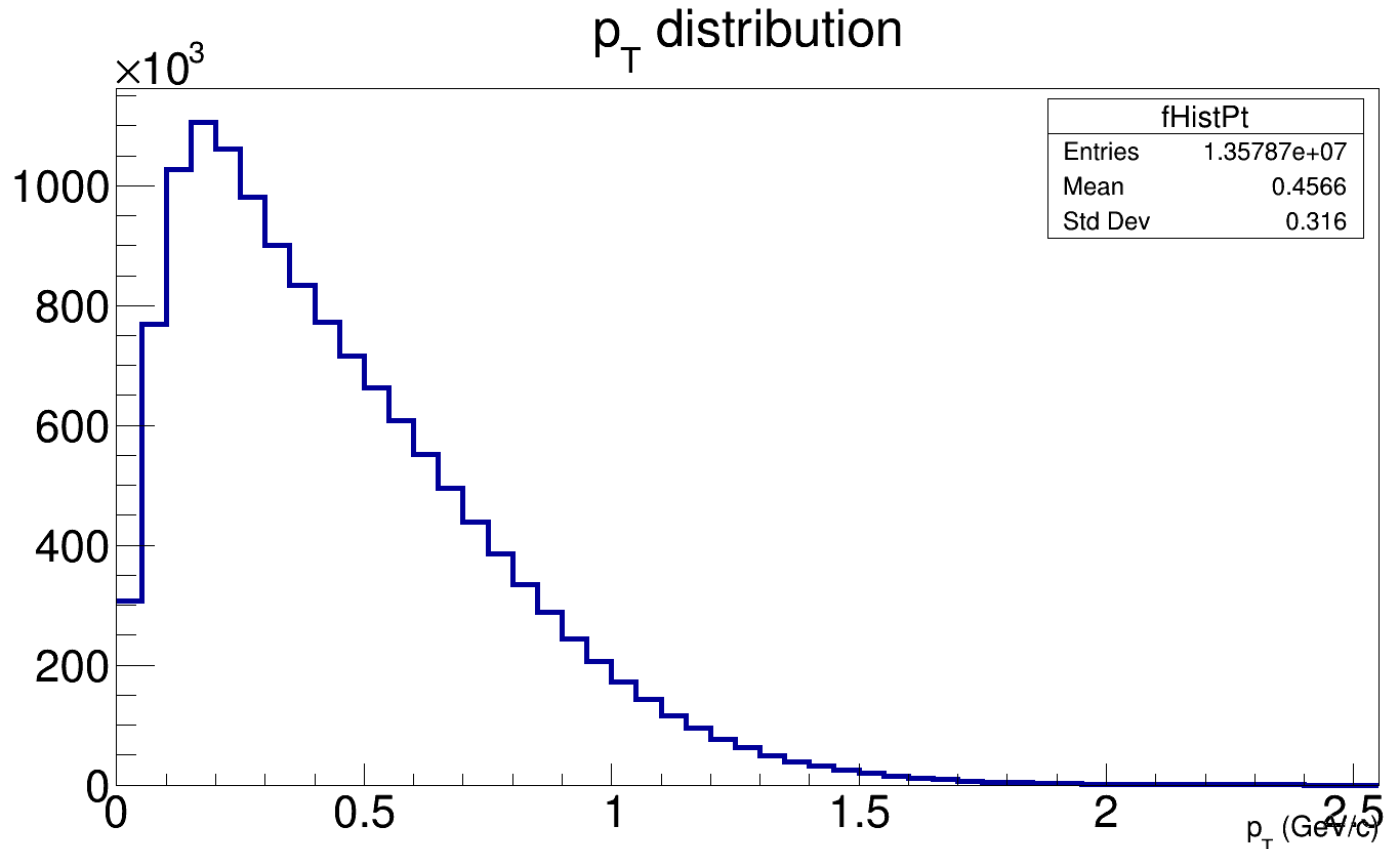


# Первичные данные .root



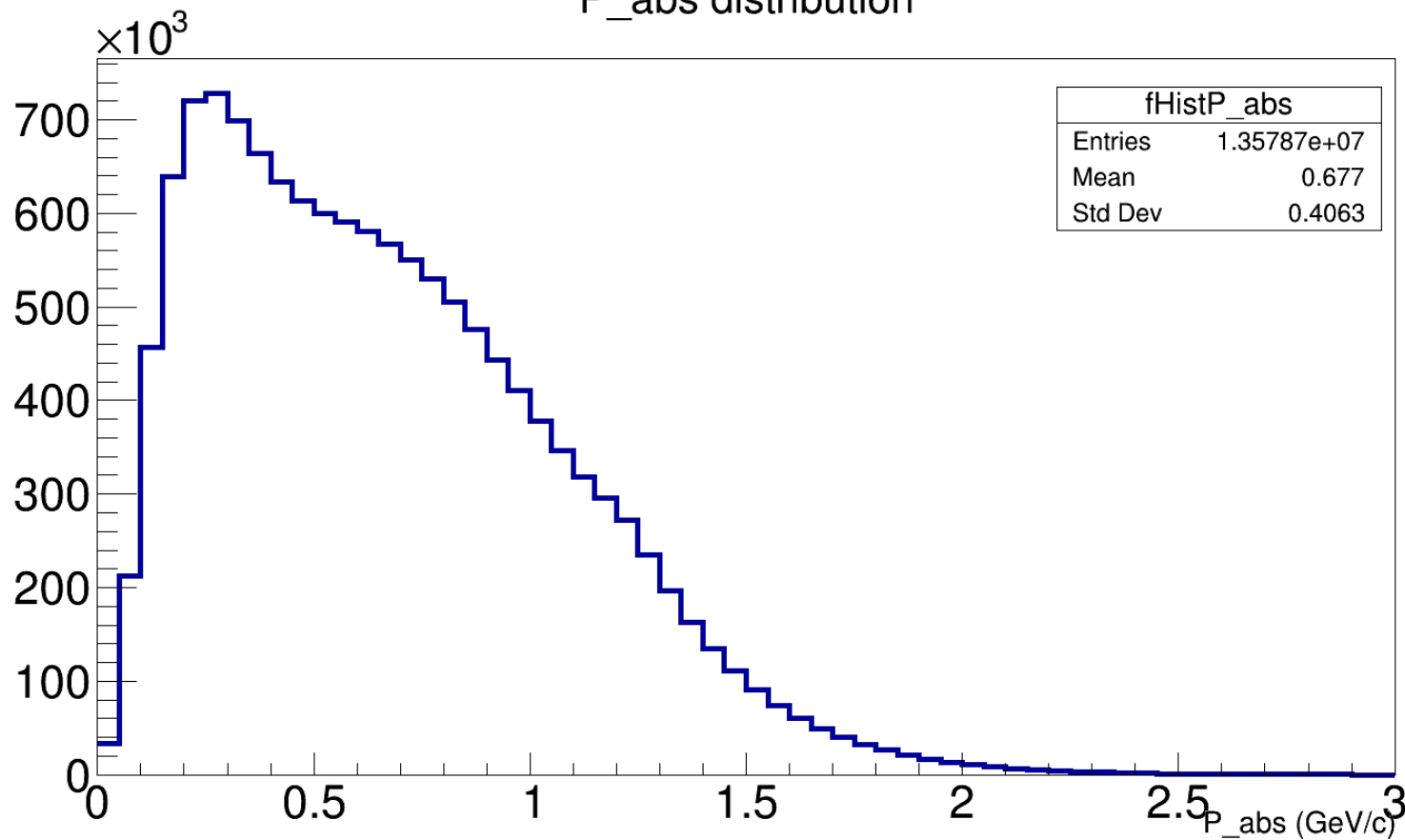
Попробуем с этими данными что-то сделать

# Спектр по $p_T$

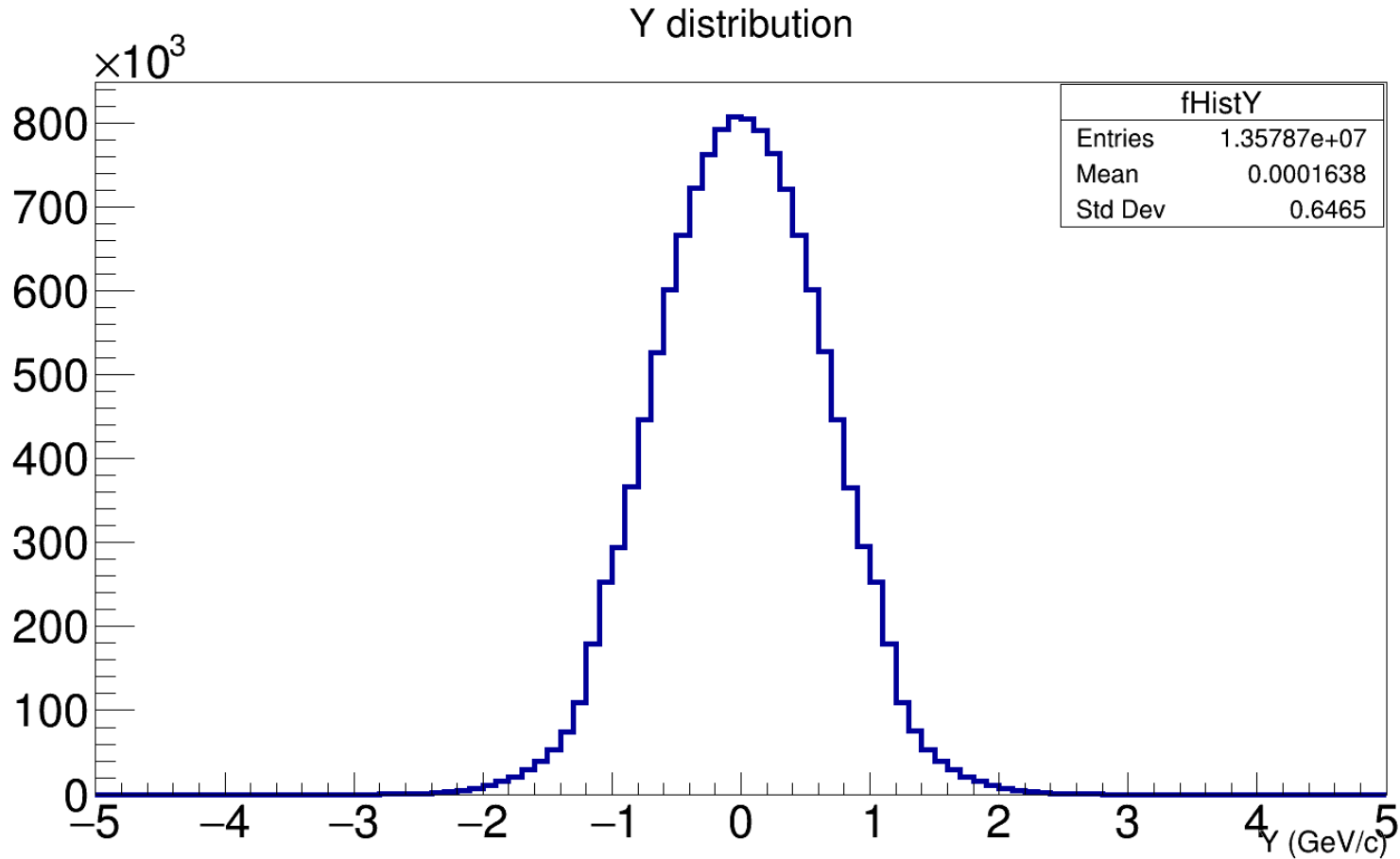


# Спектр по $|p|$

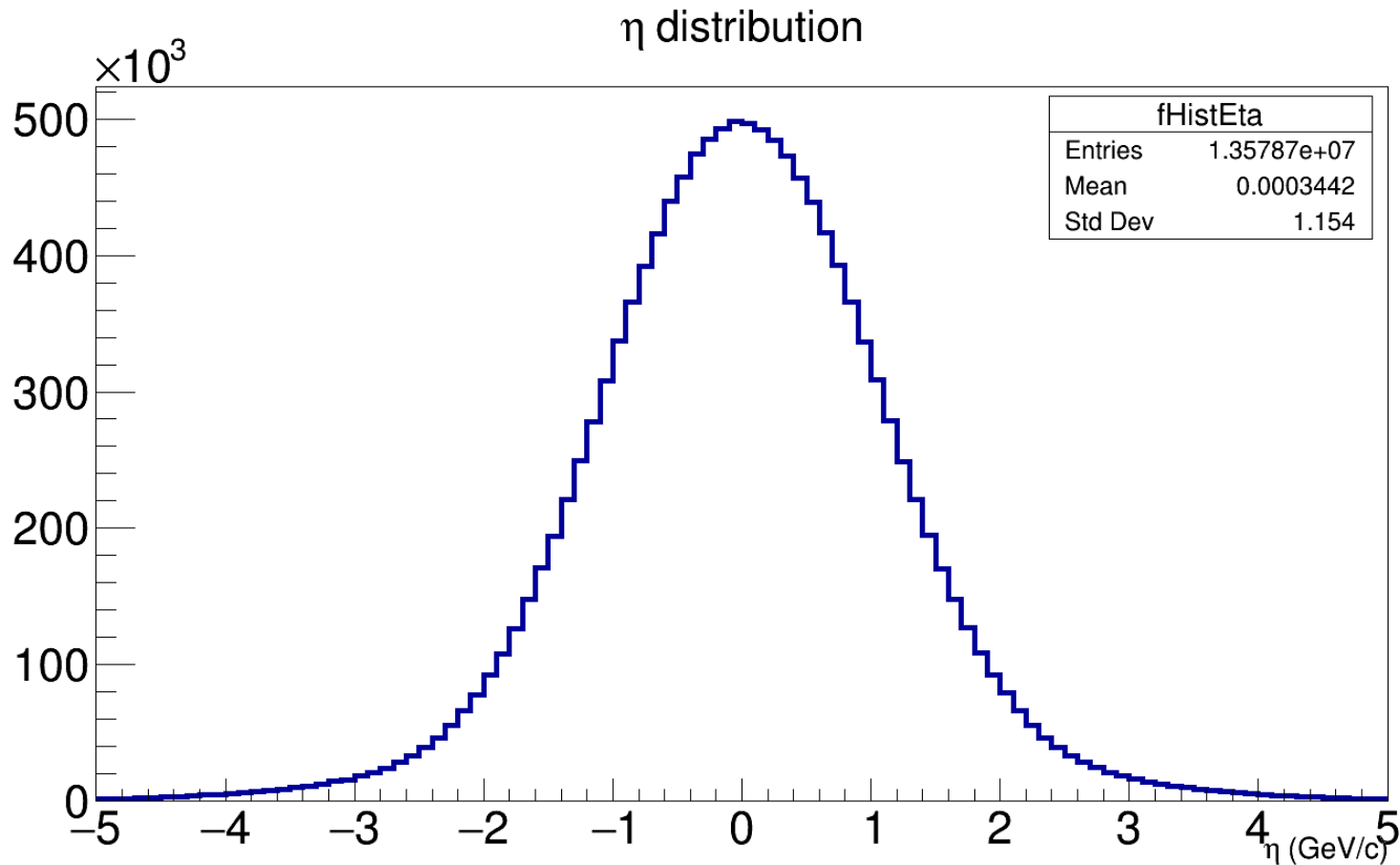
P\_abs distribution



# Спектр по быстроте

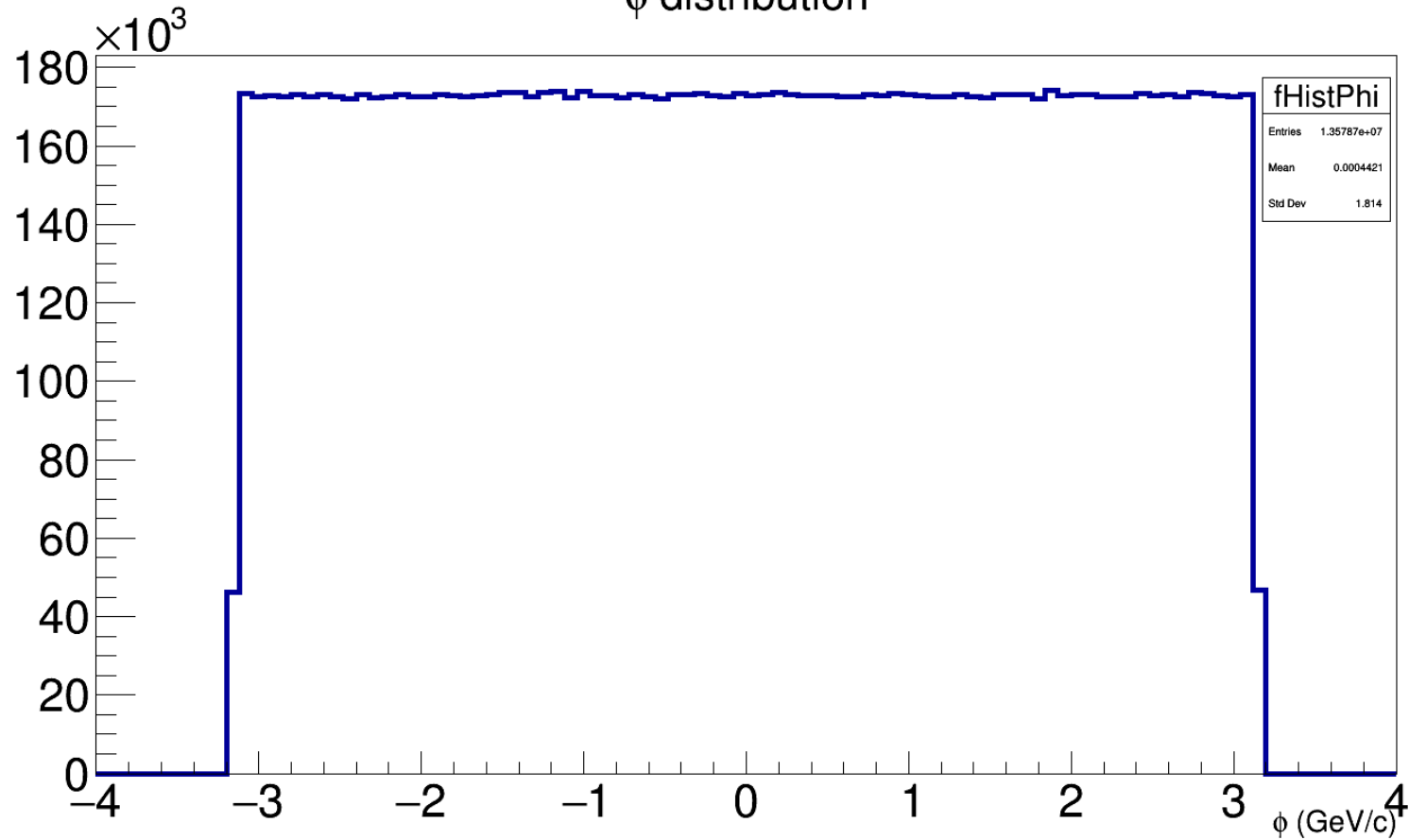


# Спектр по псевдобыстроте

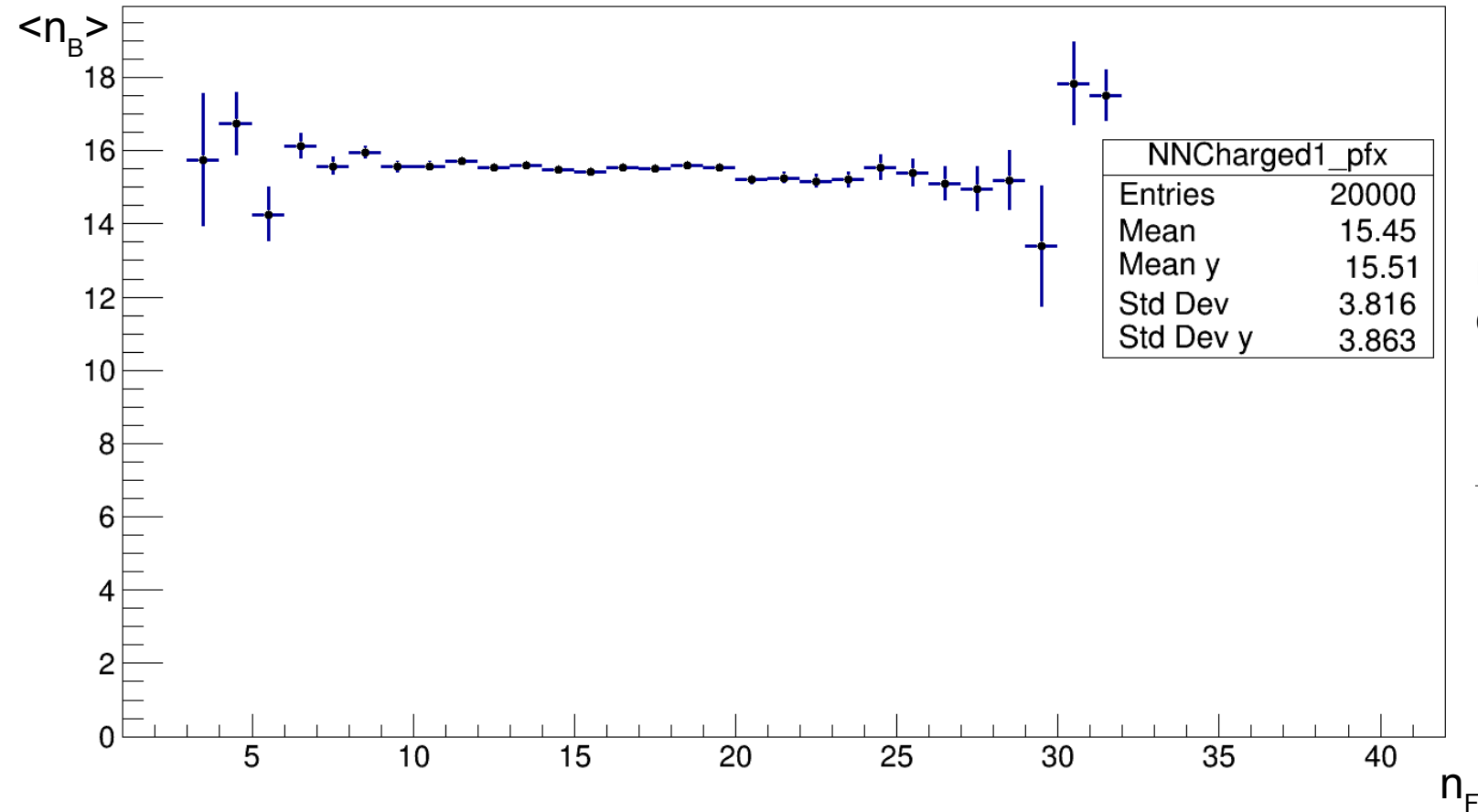


# Спектр по $\phi$

$\phi$  distribution

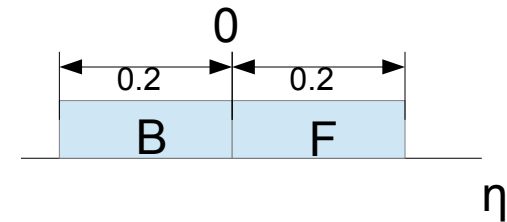


# nn-корреляции: корреляционная функция



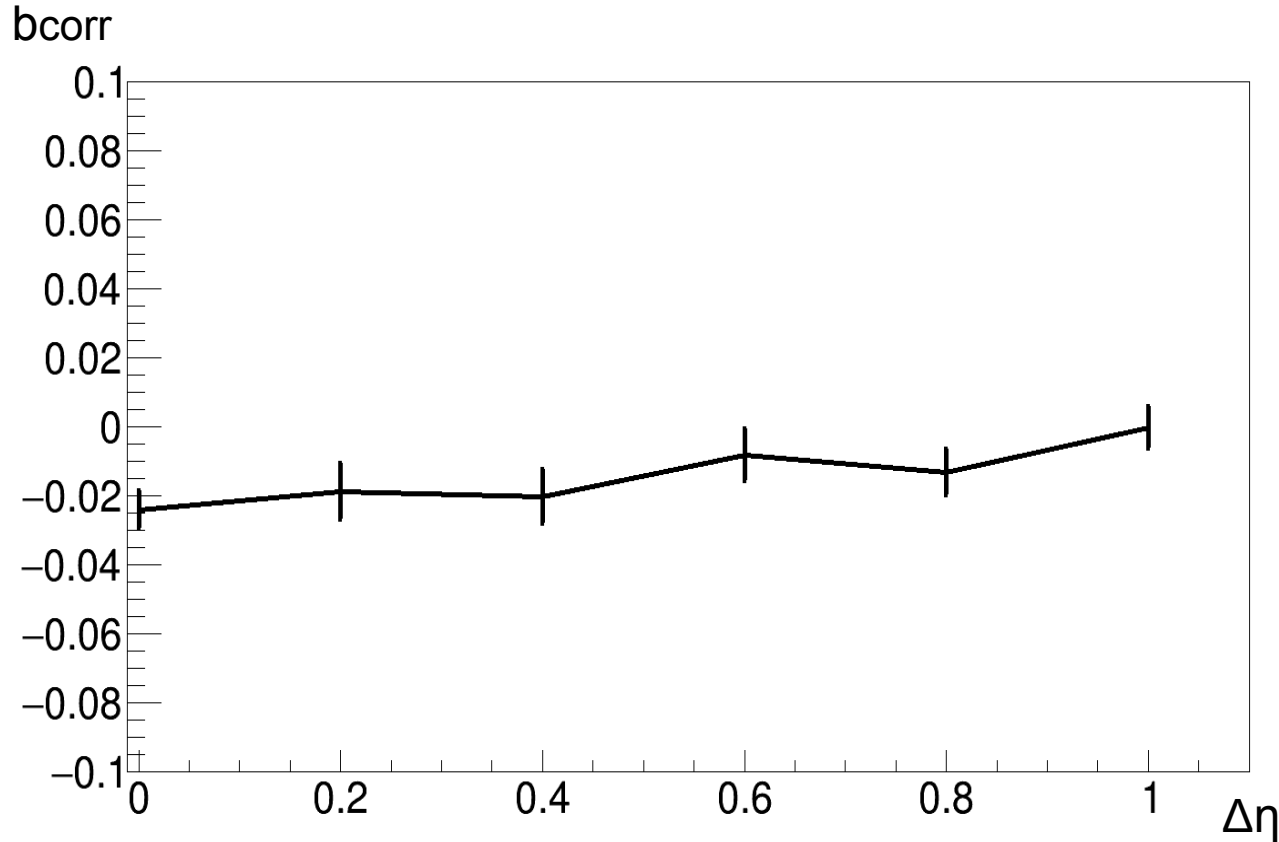
Корр. Ф-я для  
заряженных  
пионов

Конфигурация  
псевдобыстротных  
окон:

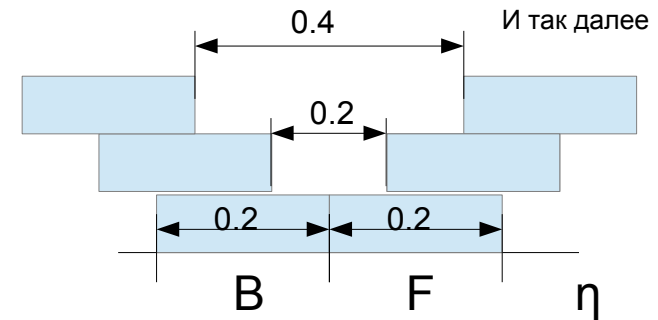




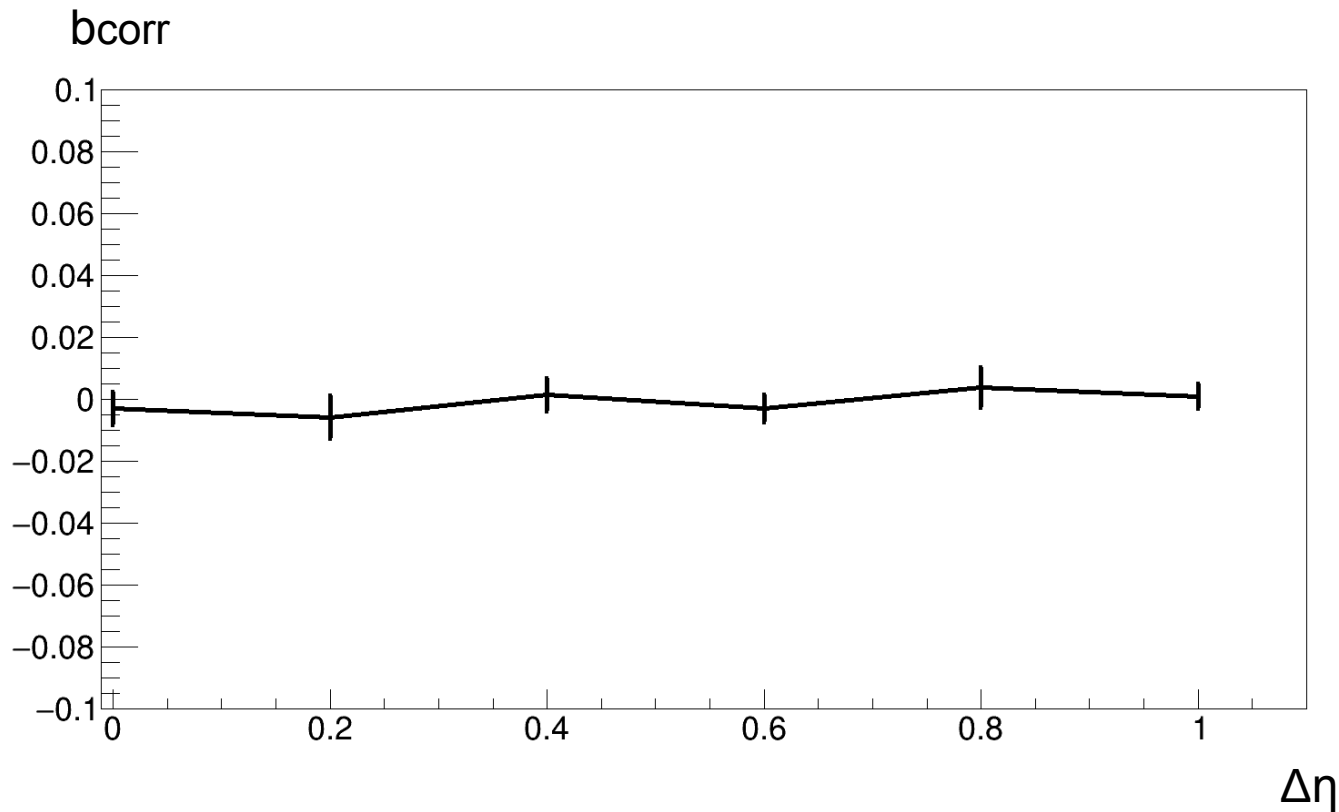
# nn-корреляции: Зависимость $b_{corr}$ от $\Delta\eta$



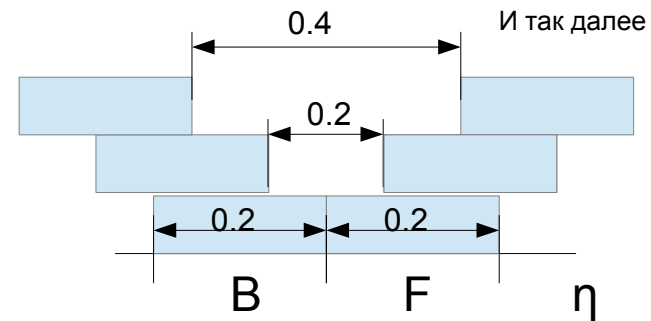
$$b_{corr} = \frac{\langle N_F N_B \rangle - \langle N_F \rangle \langle N_B \rangle}{\langle N_F^2 \rangle - \langle N_F \rangle^2} \cdot \frac{\langle N_F \rangle}{\langle N_B \rangle}$$



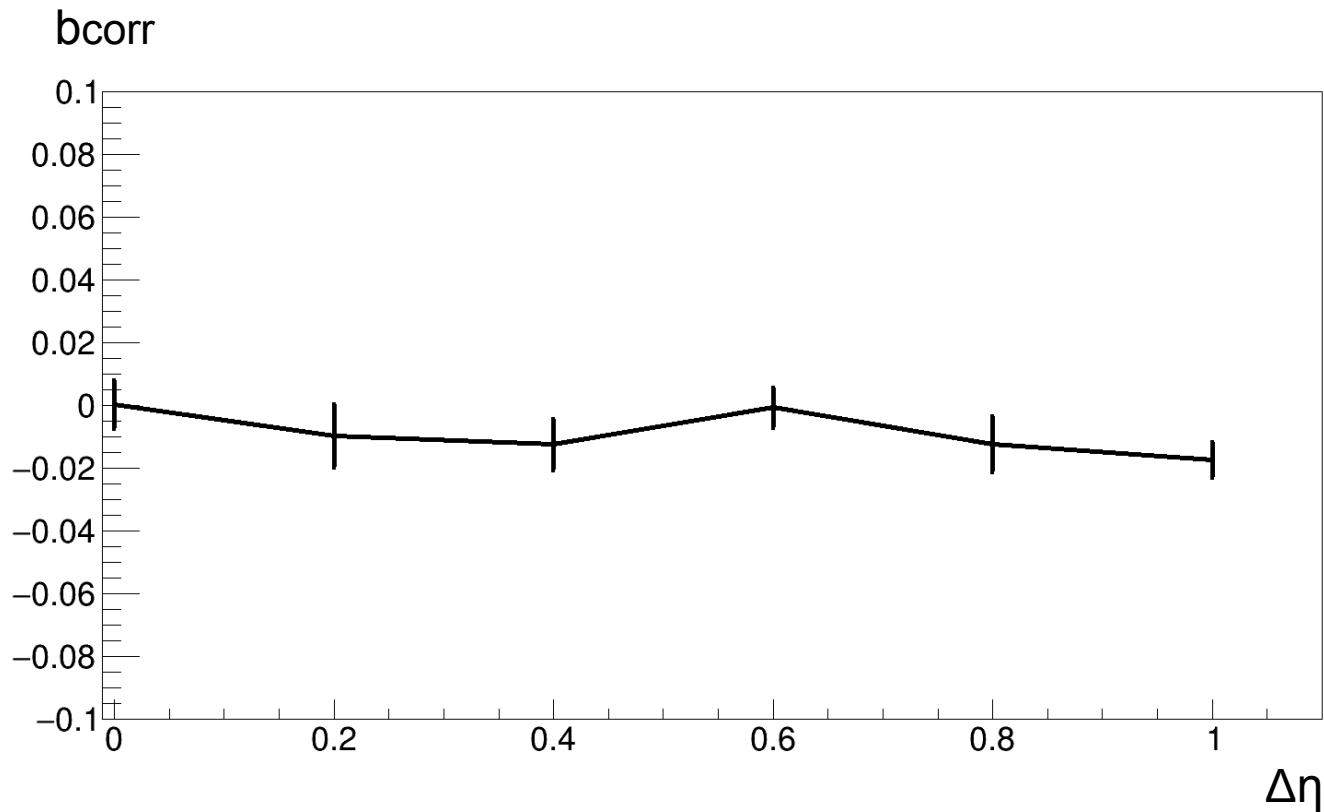
# $p_T$ - $n$ -корреляции: Зависимость $b_{corr}$ от $\Delta\eta$



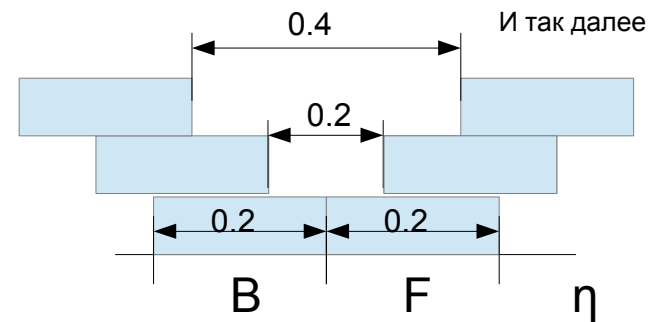
$$b_{corr} = \frac{\langle N_F P_{TB} \rangle - \langle N_F \rangle \langle P_{TB} \rangle}{\langle N_F^2 \rangle - \langle N_F \rangle^2} \cdot \frac{\langle N_F \rangle}{\langle P_{TB} \rangle}$$



# $p_T$ - $p_T$ -корреляции: Зависимость $b_{corr}$ от $\Delta\eta$



$$b_{corr} = \frac{\langle P_{TF} P_{TB} \rangle - \langle P_{TF} \rangle \langle P_{TB} \rangle}{\langle P_{TF}^2 \rangle - \langle P_{TF} \rangle^2} \cdot \frac{\langle P_{TF} \rangle}{\langle P_{TB} \rangle}$$



# Задачи на будущее

- Определиться с настройками генератора и физическими системами, необходимыми для наших нужд (симуляция процессов на NICA)
- Определиться с тем, что именно мы хотим посмотреть на сгенерированных данных
- Попробовать запустить SMASH на кластере
- Научиться использовать GEANT вместе со SMASH

Спасибо за внимание!