

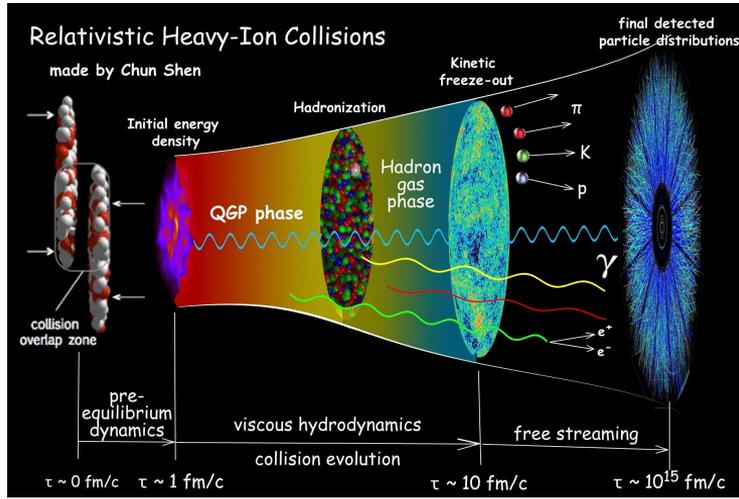
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

# Спектры заряженных частиц в $p+p$ столкновениях при $\sqrt{s_{NN}} = 4, 10, 14.5$ ГэВ в модели UrQMD для эксперимента SPD на NICA

Выполнил:  
студент гр. Б21-105 Кондратьев М.А  
Научный руководитель:  
Поваров А.С.

Москва - 2025 г.

# Модель ультрарелятивистской квантовой молекулярной динамики



Микроскопическая модель, используемая для моделирования столкновений (ультра)релятивистских тяжелых ионов.

Этапы столкновения ядер :

1. Прохождение ядер сквозь друг друга
2. Образование горячей материи
3. Расширение и остывание
4. Адронный газ
5. Выход конечных частиц

Цель работы: Определение термодинамических характеристик КГП путем исследования спектров и выходов  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p(\bar{p})$  в модели UrQMD в рамках подготовки эксперимента SPD

Система столкновения:

UrQMD pp  $\sqrt{s_{NN}} = 4, 10, 14.5$  ГэВ

pp - реперная точка.

Ограничения:

- $p_T > 0.25$  ГэВ
- $|\eta| < 1$

- PDG:

$K^\pm \pm 321$

$\pi^\pm \pm 211$

$p, \bar{p} \pm 2212$

# Модель взрывной волны

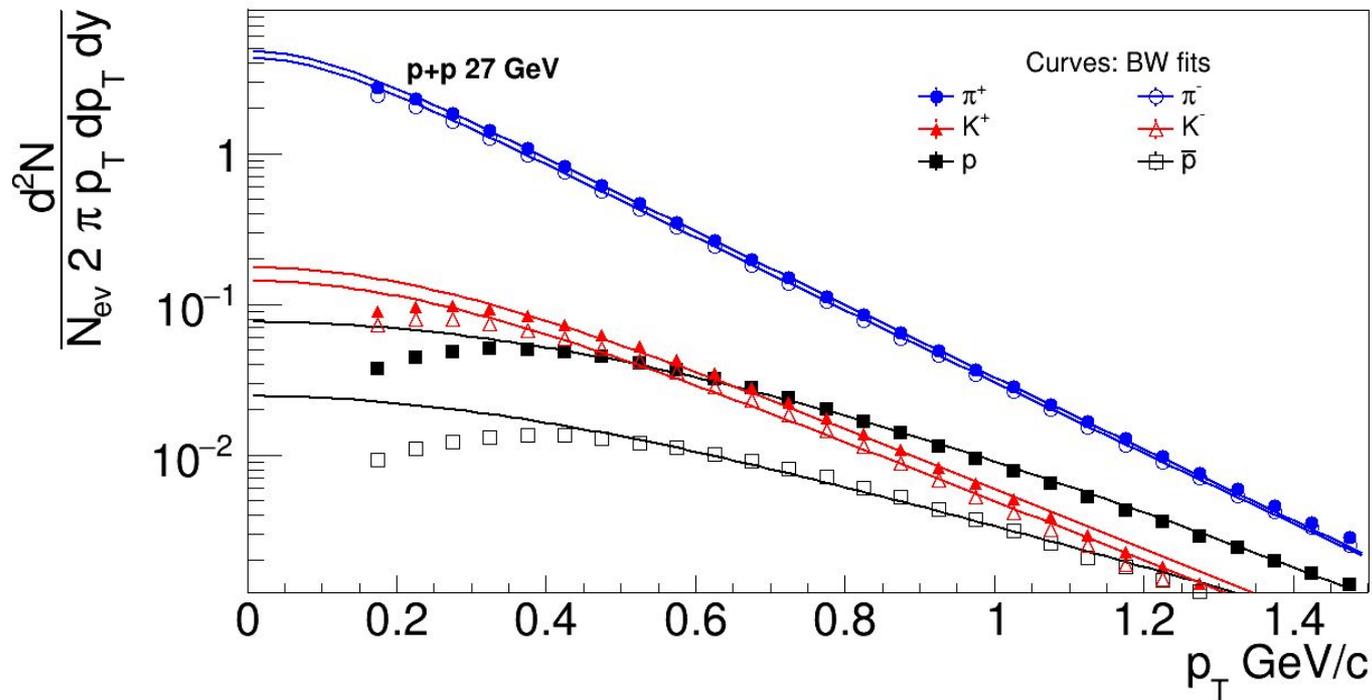
$$\frac{dN}{2\pi p_T dp_T} \propto \int_0^r r dr m_T I_0\left(\frac{p_T \sinh \rho(r)}{T_{kin}}\right) \times K_1\left(\frac{m_T \cosh \rho(r)}{T_{kin}}\right)$$

$$\rho(r) = \tanh^{-1} \beta \quad \beta = \beta_s \left(\frac{r}{R}\right)^n$$

1. Локальное термодинамическое равновесие (Т,  $\mu$ )
2. Гидродинамическое расширение
3. Коллективное расширение с общей температурой
4. Анизотропия и коллективное движение

# Построение спектров поперечного импульса пионов, каонов и протонов

# Построение спектров поперечного импульса пионов, каонов и протонов

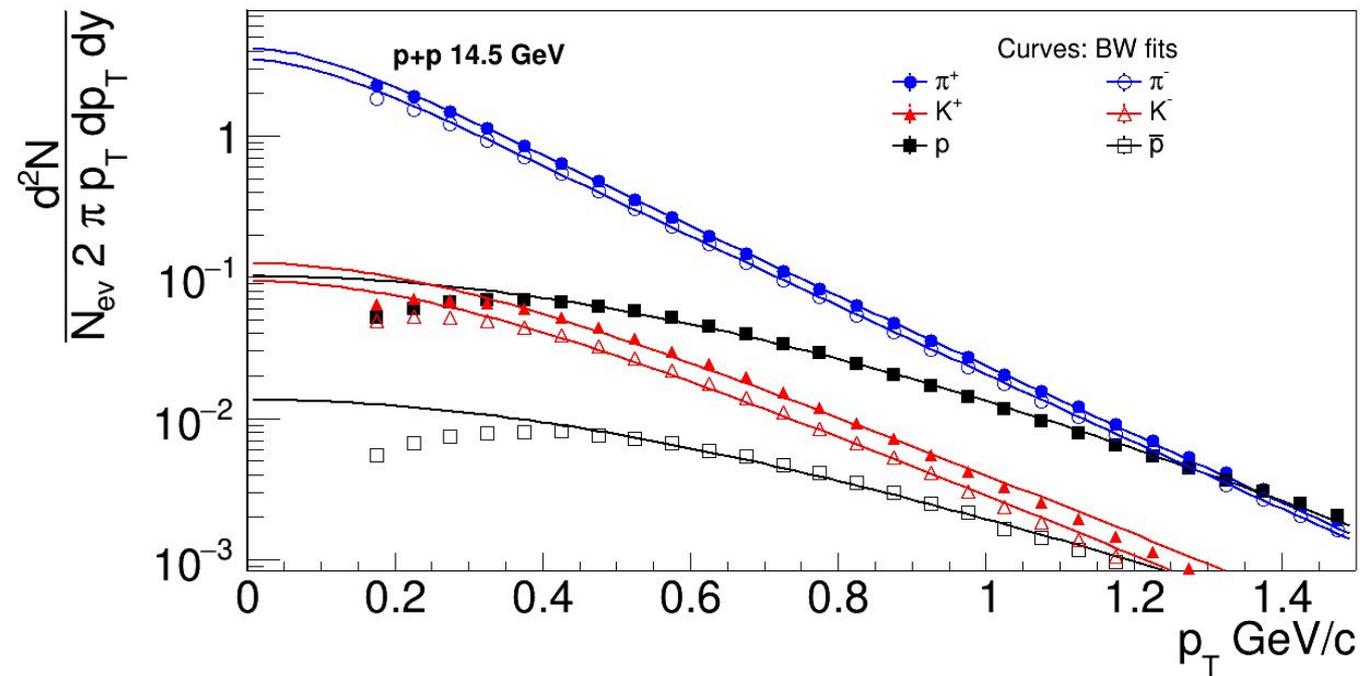


$$T = 130.7 \pm 0.4 \text{ МэВ}$$

$$\beta = 0.3050 \pm 0.0021$$

$$\text{Chi}^2/\text{ndf} = 83.6$$

# Построение спектров поперечного импульса пионов, каонов и протонов

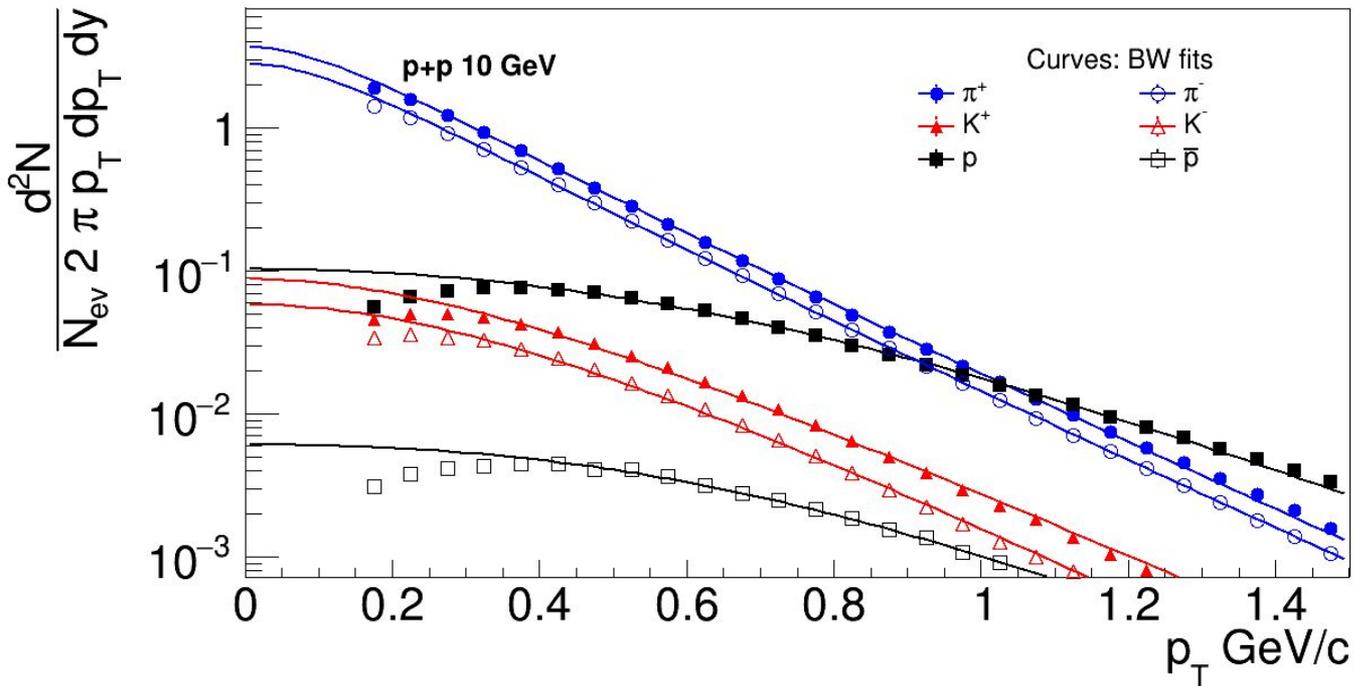


$$T = 121.26 \pm 0.23 \text{ МэВ}$$

$$\beta = 0.3413 \pm 0.0012$$

$$\text{Chi}^2/\text{ndf} = 50.4$$

# Построение спектров поперечного импульса пионов, каонов и протонов



$$T = 109.72 \pm 0.16 \text{ МэВ}$$

$$\beta = 0.3908 \pm 0.0010$$

$$\text{Chi}^2/\text{ndf} = 29.7$$

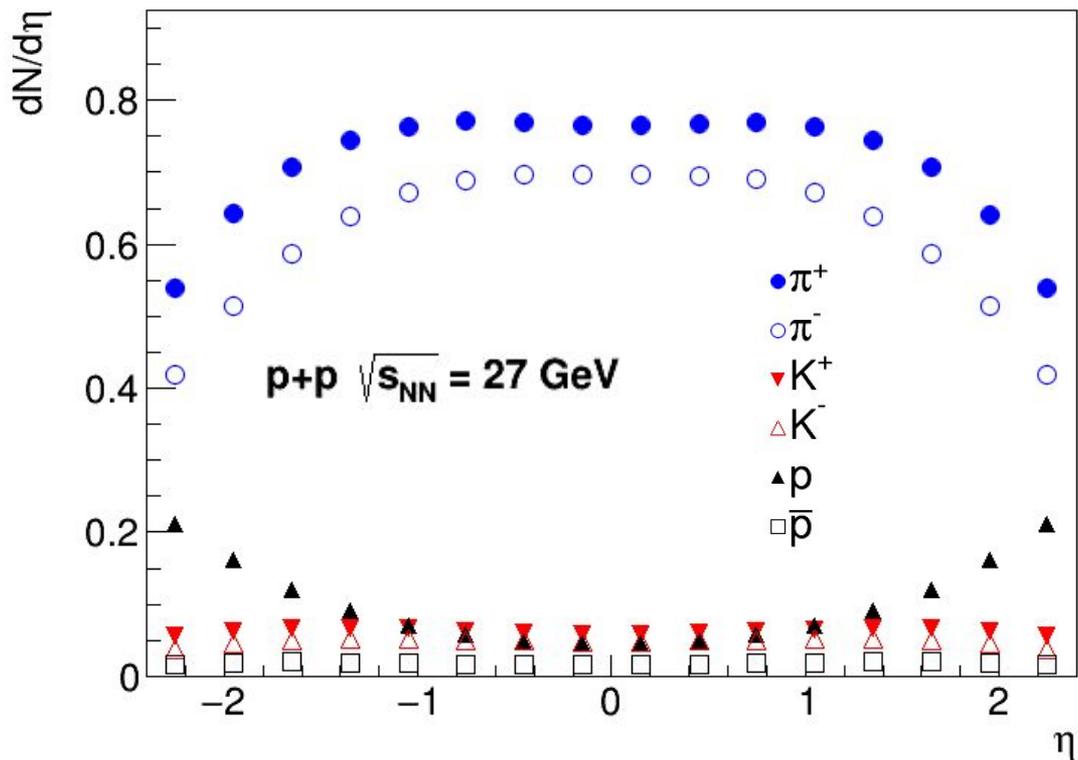
Результаты:  
термодинамические характеристики

Энергия, ГэВ	$\beta$	T (МэВ)
27	$0.3050 \pm 0.0021$	$130.7 \pm 0.4$
14.5	$0.3413 \pm 0.0012$	$121.26 \pm 0.23$
10	$0.3908 \pm 0.0010$	$109.72 \pm 0.16$
4	$0.3168 \pm 0.0010$	$101.63 \pm 0.11$

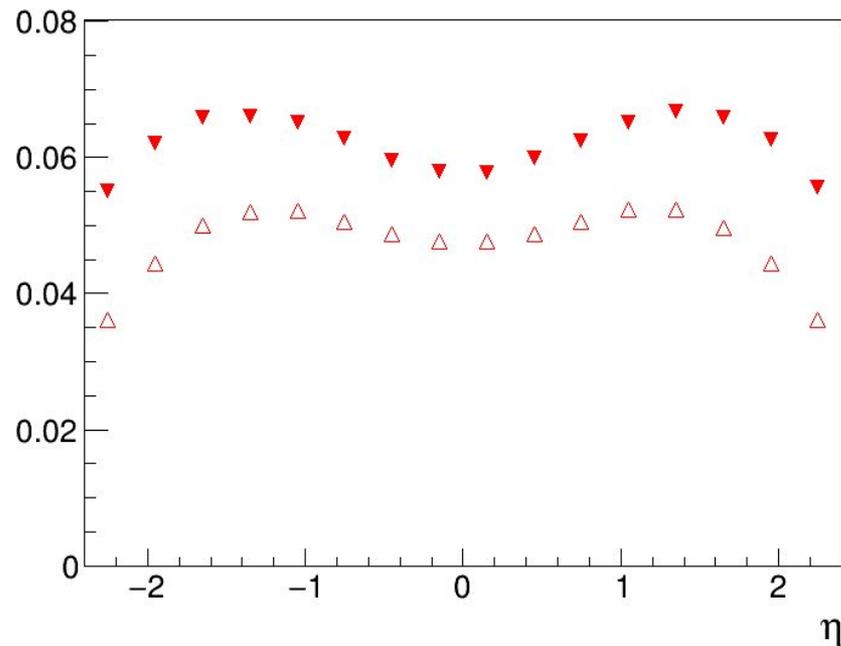
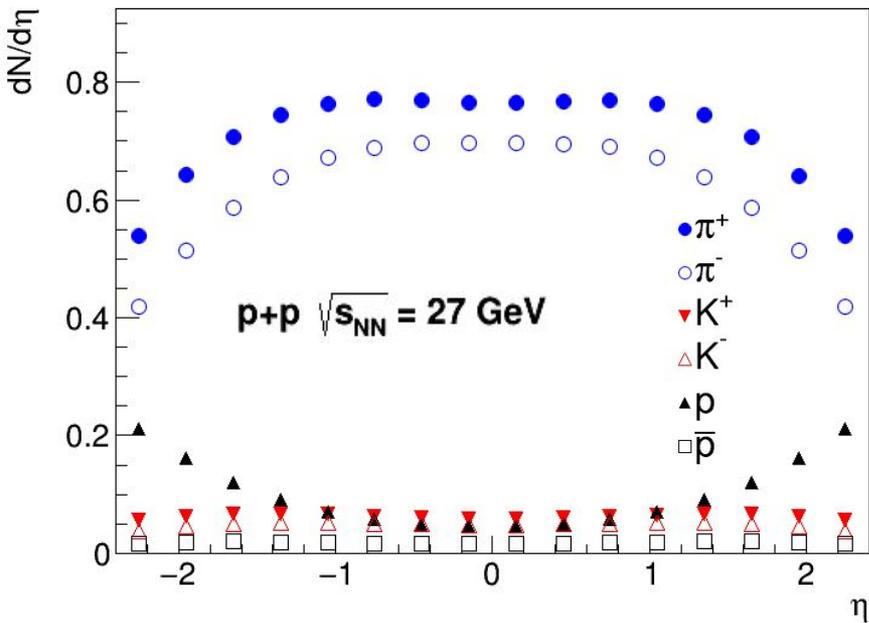
# Построение выходов пионов, каонов и протонов

## 27 GeV

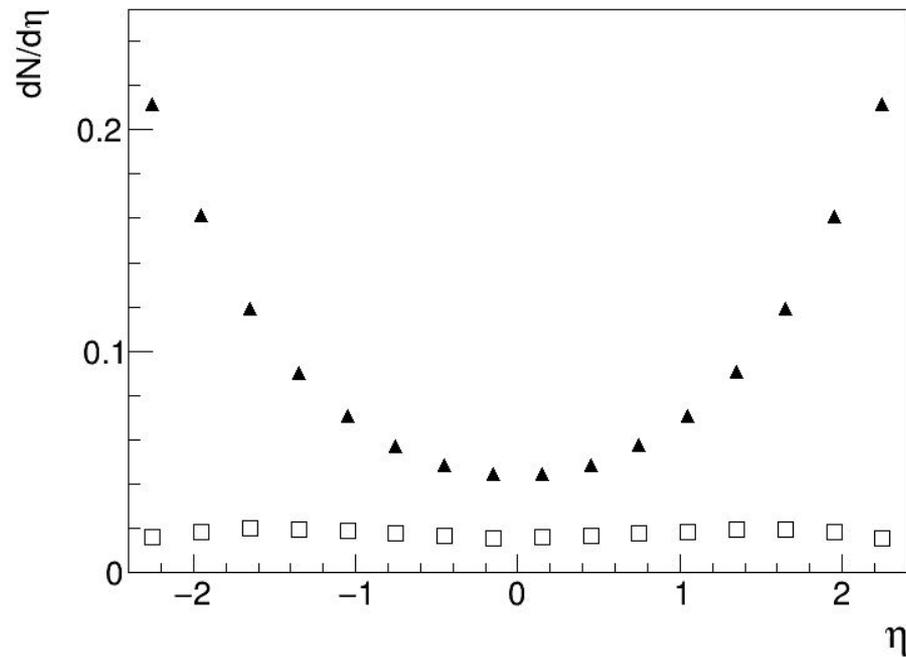
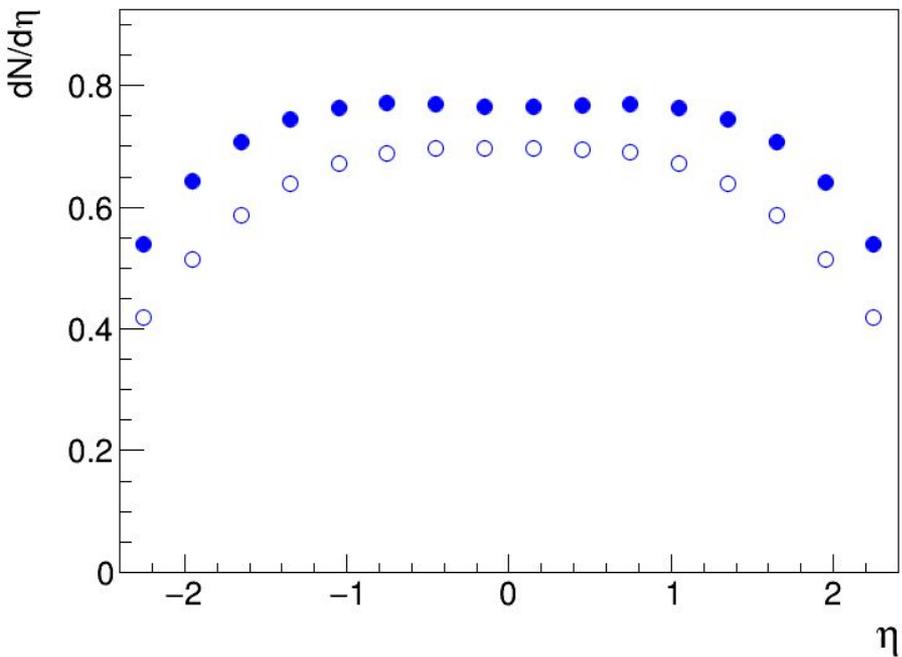
Уменьшение  
выходов с  
ростом  $|\eta|$



## 27 GeV

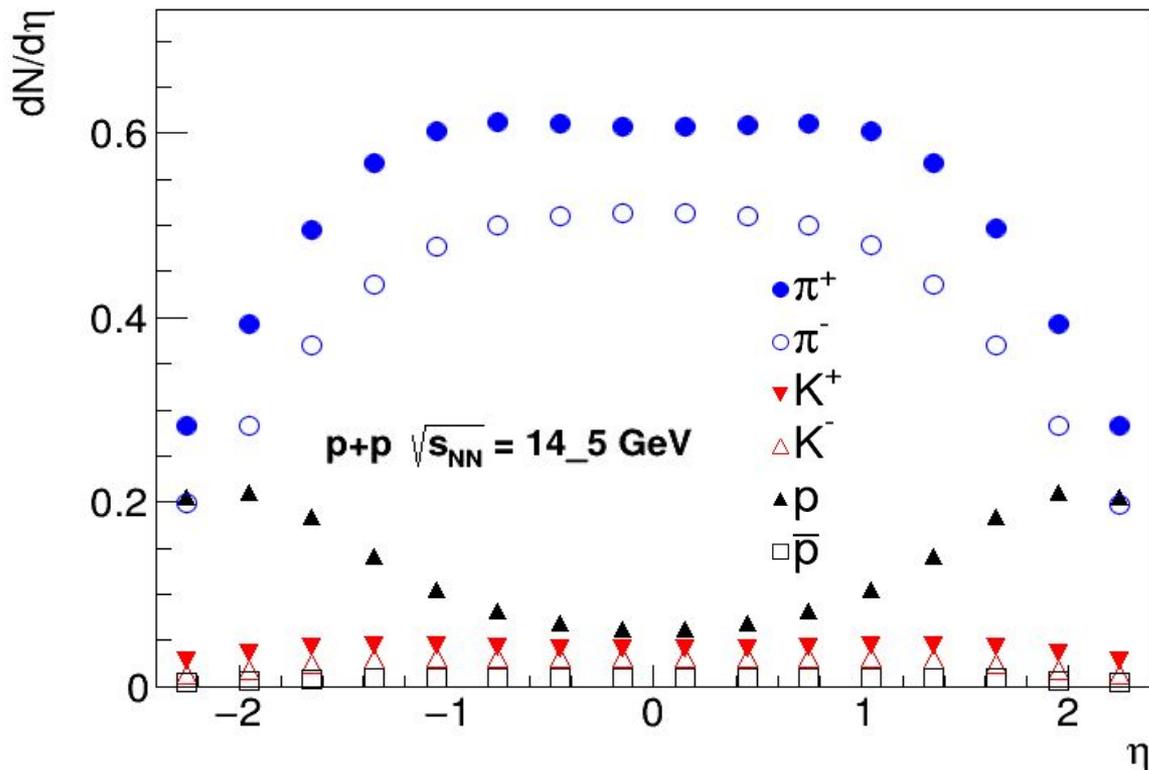


# Выходы пионов, каонов и протонов

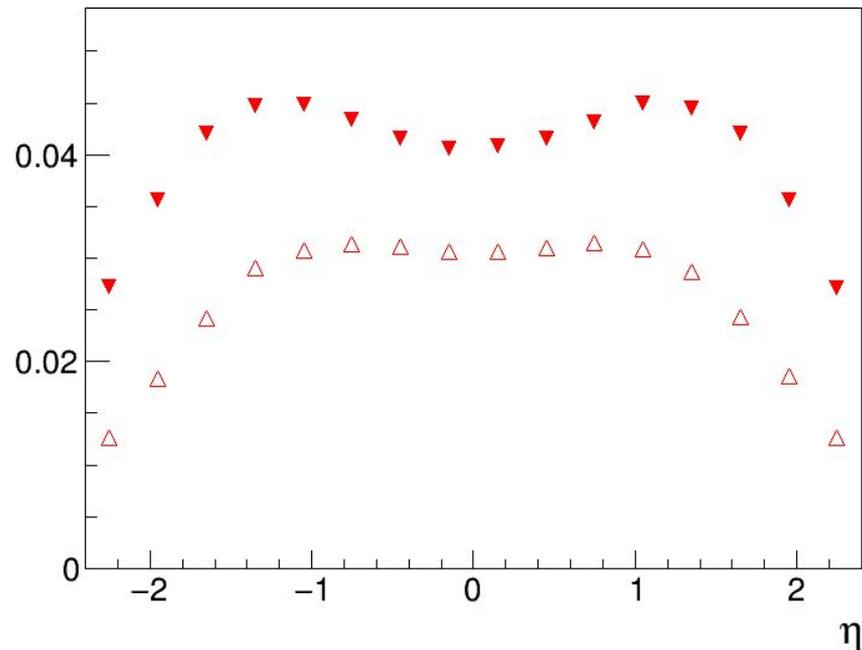
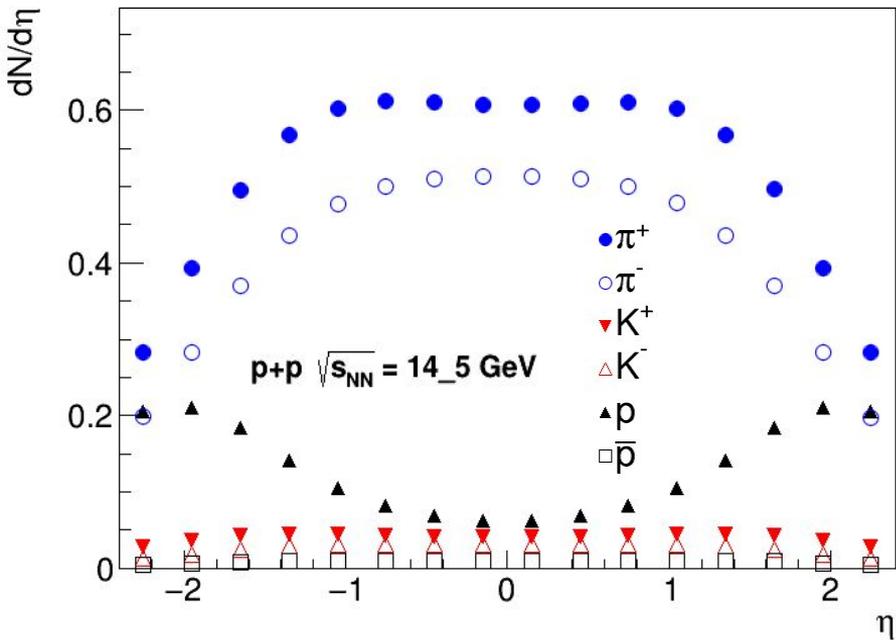


## 14.5 GeV

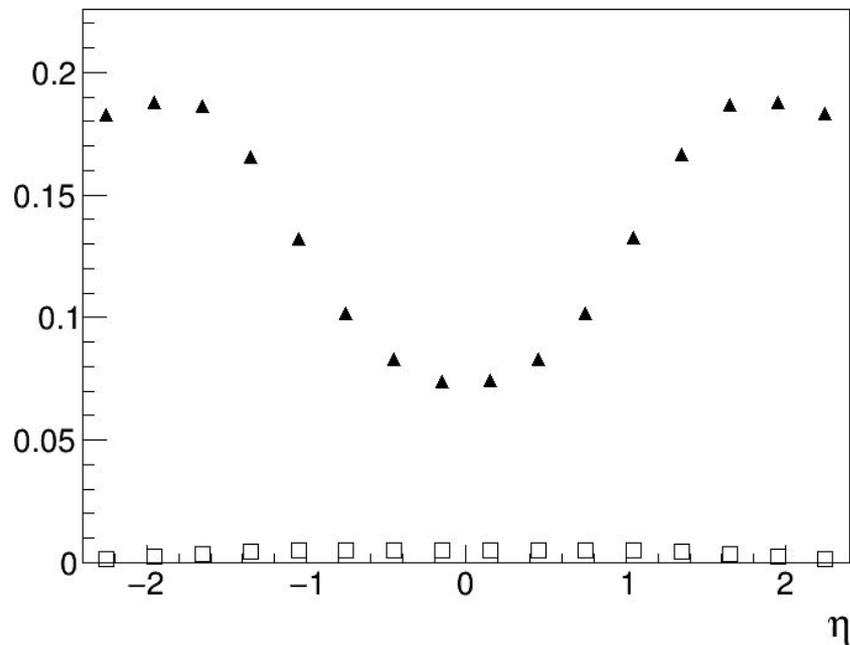
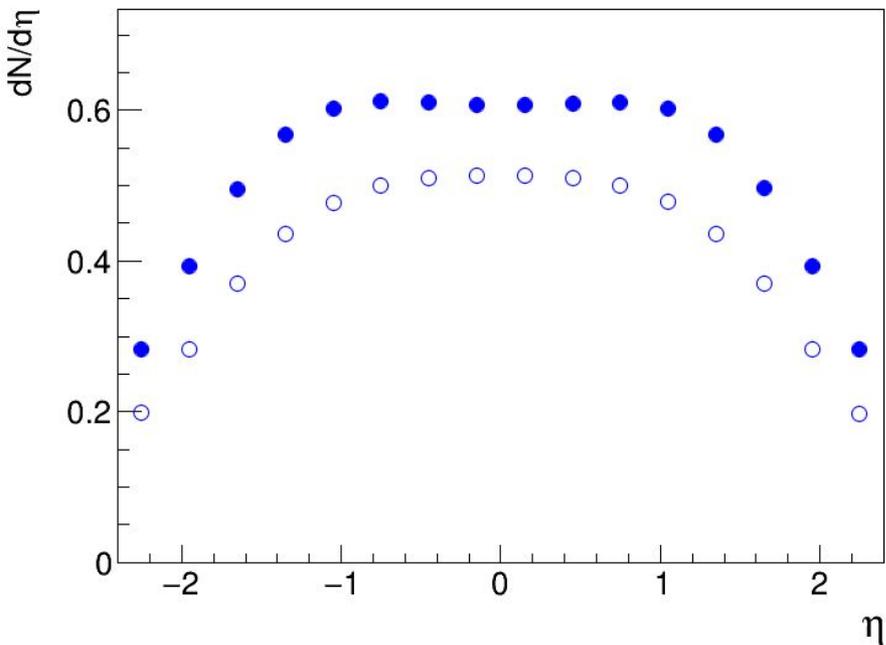
Уменьшение выходов с ростом  $|\eta|$



## 14.5 GeV

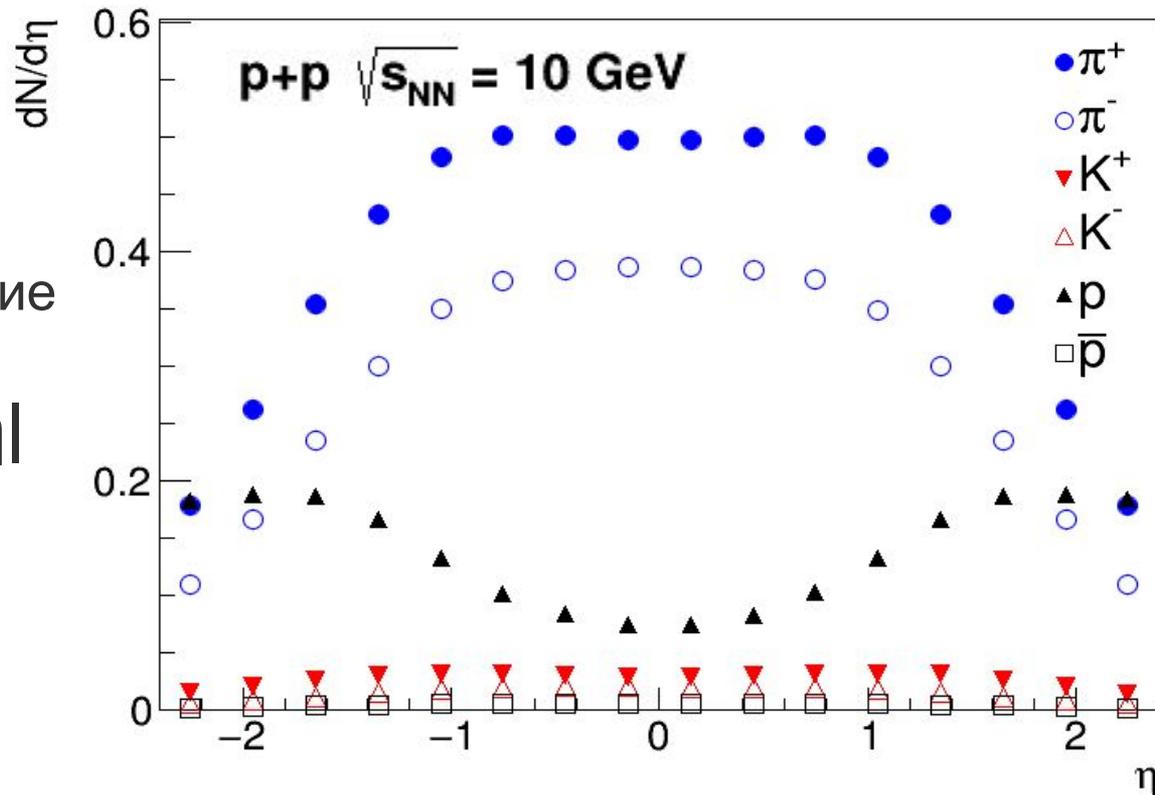


# Выходы пионов, каонов и протонов

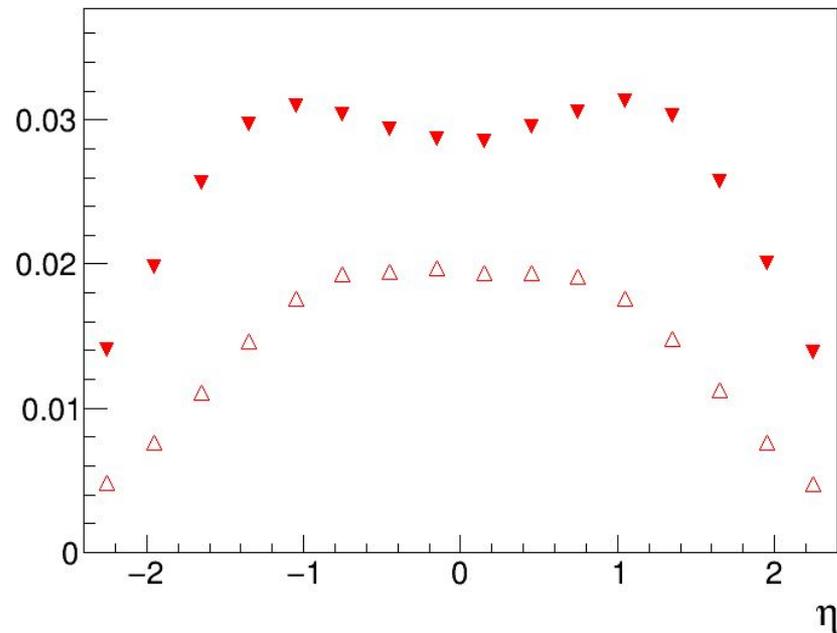
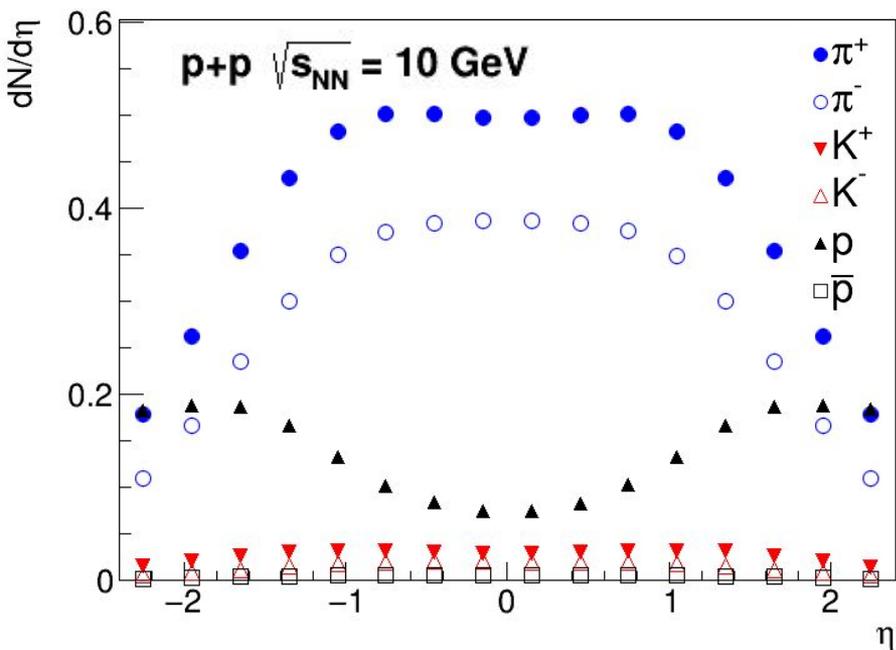


## 10 GeV

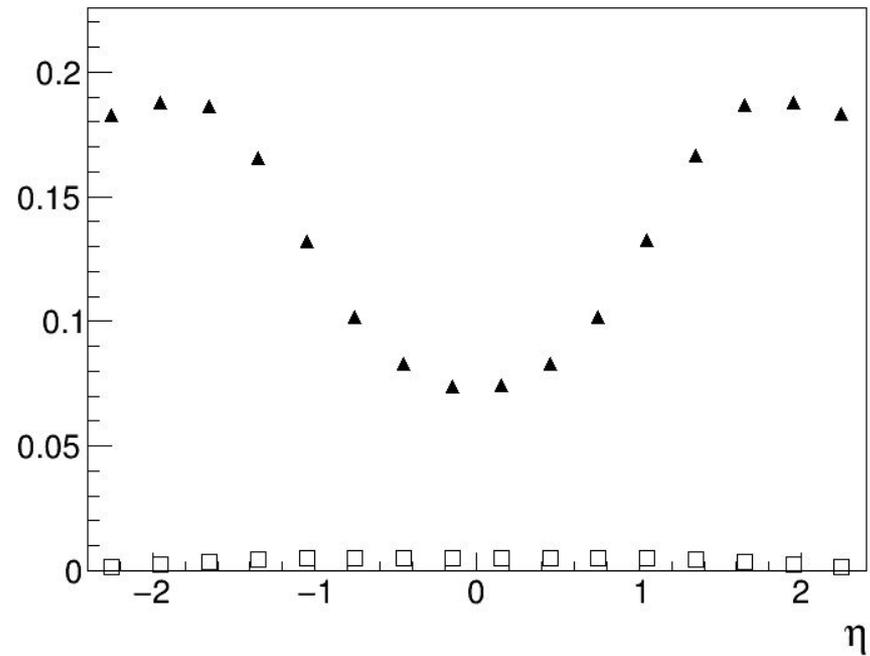
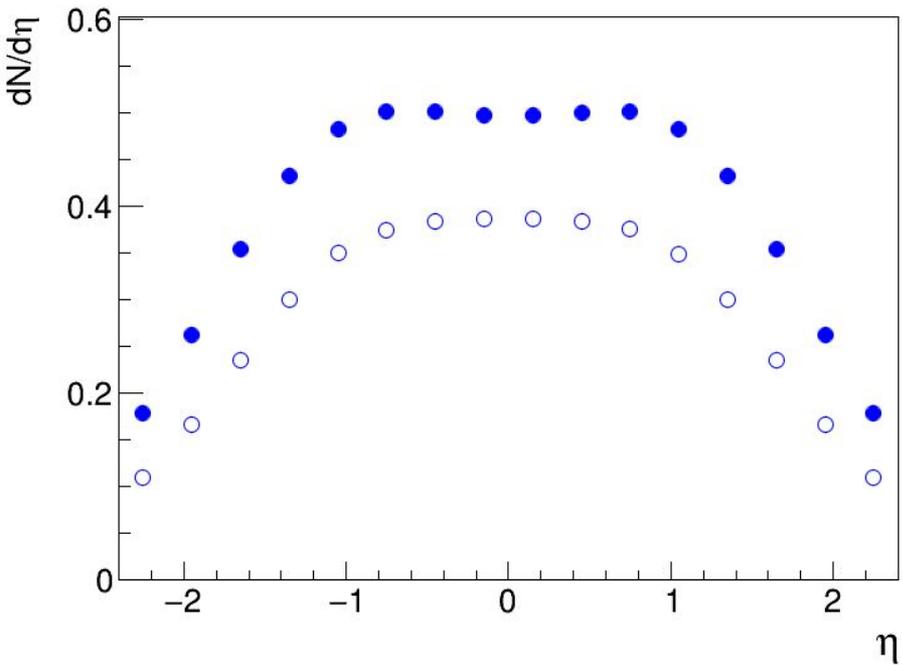
Уменьшение выходов с ростом  $|\eta|$



## 10 GeV

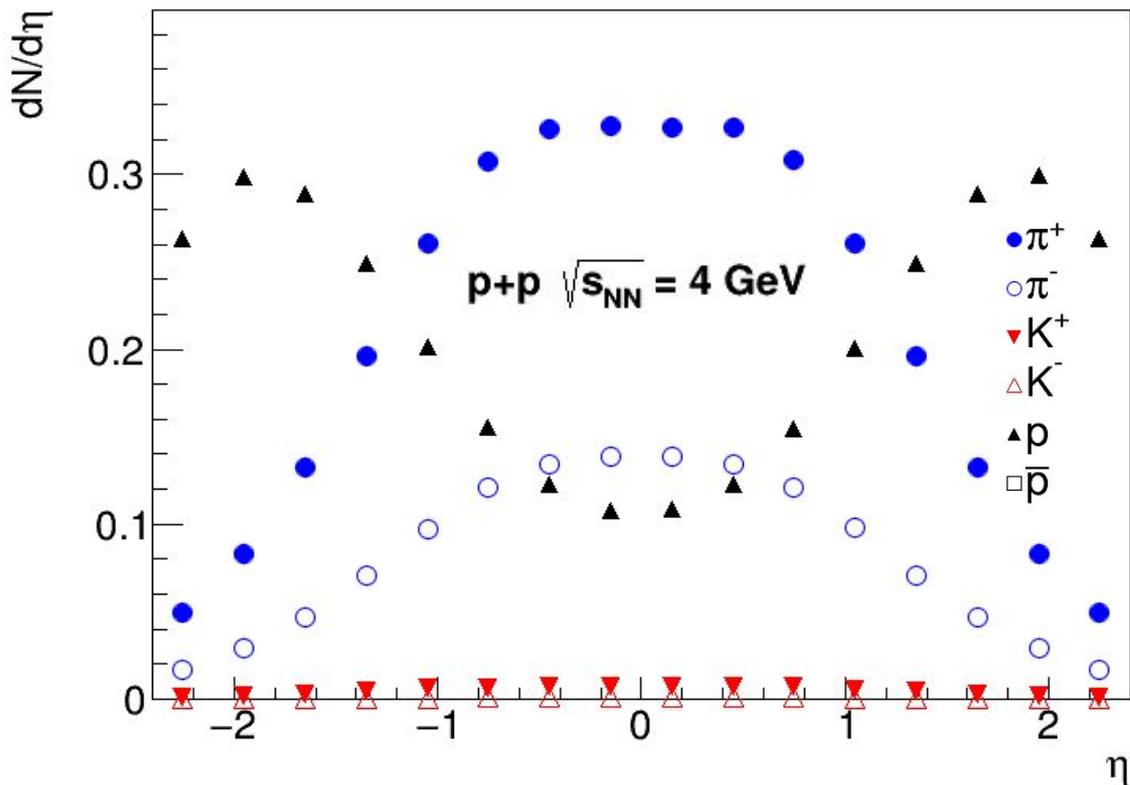


# Выходы пионов, каонов и протонов

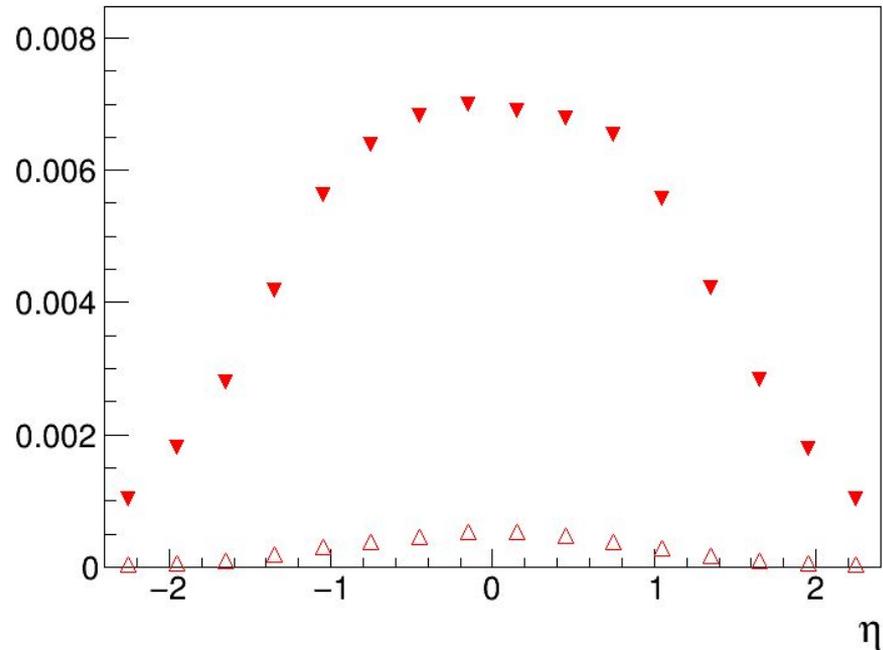
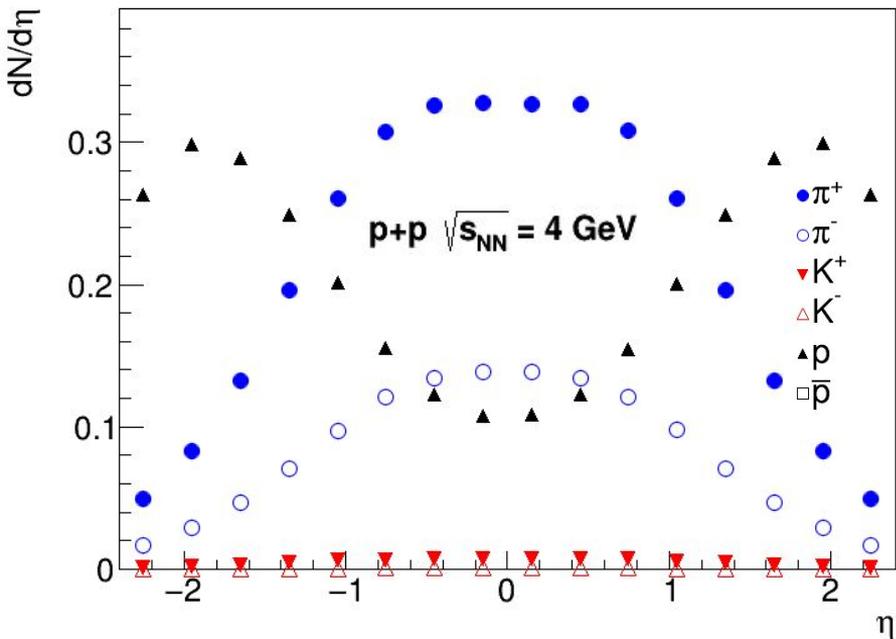


## 4 GeV

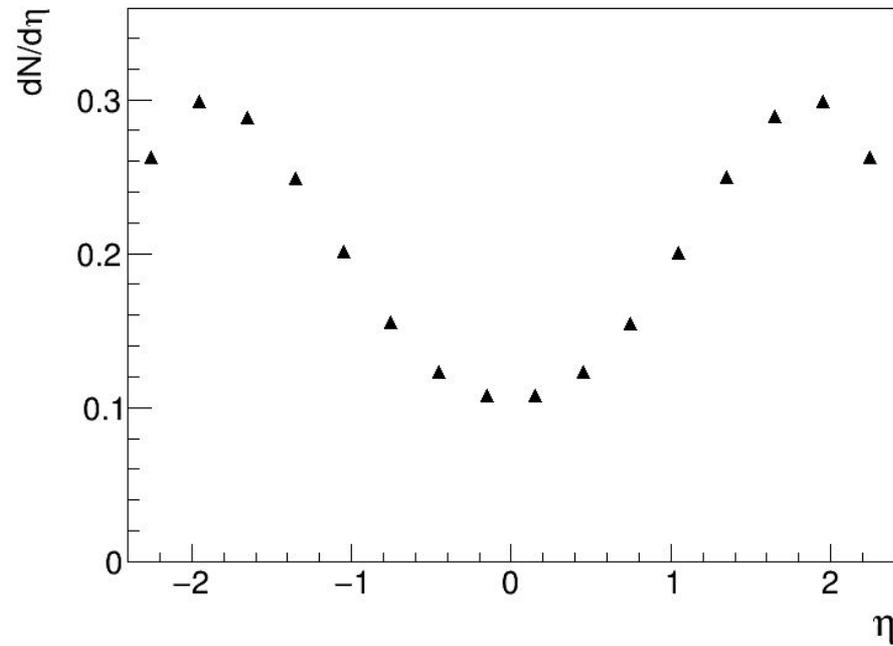
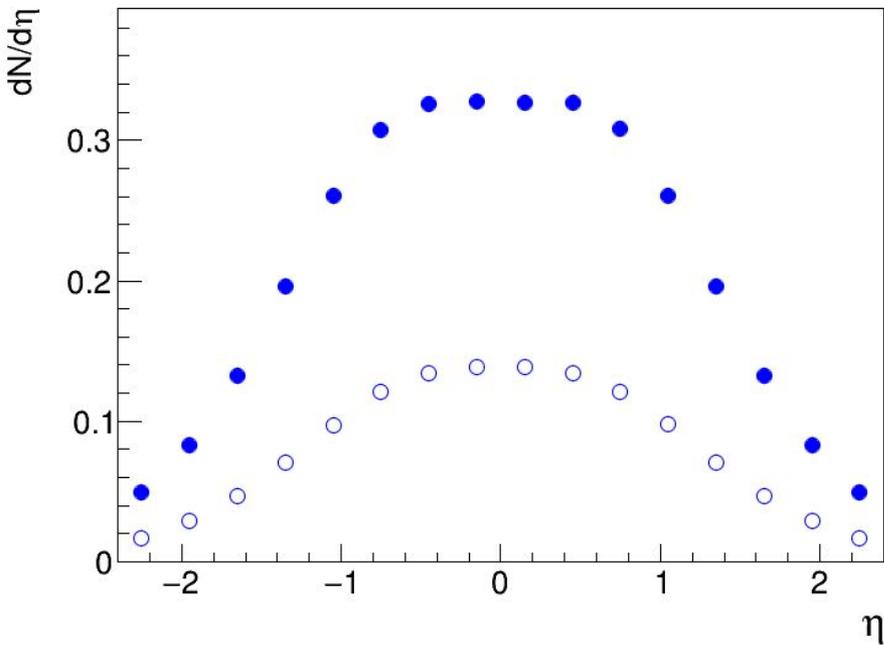
Уменьшение  
выходов с  
ростом  $|\eta|$



## 4 GeV



# Выходы пионов, каонов и протонов



# Заключение

1. Построены спектры протонов, каонов и пионов. Извлечены термодинамические характеристики среды с использованием модели взрывной волн.

Температура кинетического вымораживания увеличивается с ростом энергии.

2. Рассчитаны выходы для каждого типа частиц. Их значение увеличивается с ростом энергии для всех типов частиц, монотонно уменьшается с ростом  $|\eta|$ .

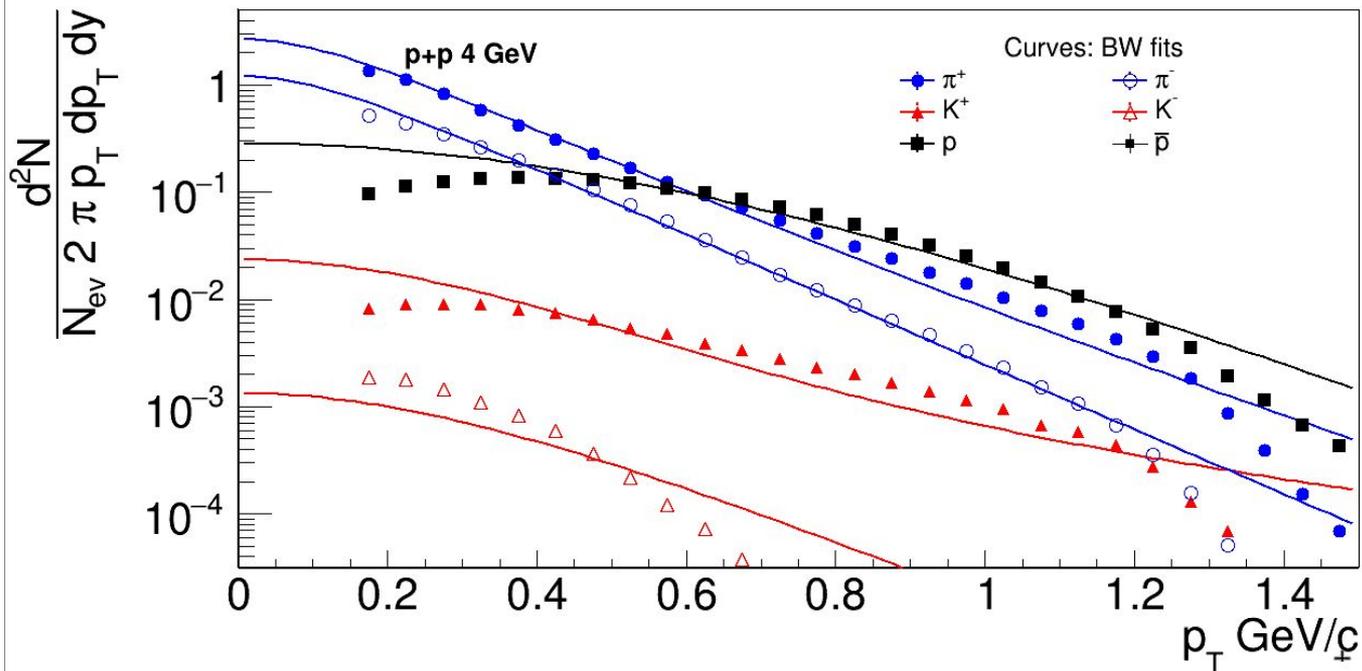
Планы: Оценить эффективность детекторов SPD на основе

полученных результатов и данных реконструкции GEANT

Спасибо за внимание!

# BACK-UP

# Построение спектров поперечного импульса пионов, каонов и протонов



Тут пока всё лежит, не могу  
параметры подобрать хоть  
скольконибудь приемлемые.

$$T = 101.63 \pm 0.11$$

МэВ

$$\beta = 0.3168 \pm 0.0010$$

# Модель взрывной волны

$$\frac{dN}{2\pi p_T dp_T} \propto \int_0^r r dr m_T I_0\left(\frac{p_T \sinh \rho(r)}{T_{kin}}\right) \times K_1\left(\frac{m_T \cosh \rho(r)}{T_{kin}}\right)$$

$$\rho(r) = \tanh^{-1} \beta \quad \beta = \beta_s \left(\frac{r}{R}\right)^n$$

1. Локальное термодинамическое равновесие ( $T, \mu$ )
2. Гидродинамическое расширение
3. Коллективное расширение с общей температурой
4. Анизотропия и коллективное движение