

Изучение возможности измерения анти- Σ -гиперонов с помощью электромагнитного калориметра PHOS эксперимента ALICE

Гордеев П.П.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Блау Д.С.

Актуальность

- Измерение антинейтронов: измерение взаимодействия между антинейтронами и адронами; поиск (анти)нейтронных связанных состояний (тетранейтрон)
- Измерение $\bar{\Sigma}$ для проверки метода идентификации антинейтрона
- Измерение p- $\bar{\Sigma}$ взаимодействий с помощью метода фемтоскопии
- Понимание взаимодействия между гиперонами и нуклонами
- Сравнение между разными методами измерения важно для уменьшения систематических погрешностей и проверки результатов

Σ -гипероны

$$\Sigma^+ = u u s$$

$$m = 1189.37 \pm 0.07 \text{ МэВ}/c^2$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p \pi^0 (51.57 \pm 0.30)\%$$

$$\Sigma^+ \rightarrow n \pi^+ (48.31 \pm 0.30)\%$$

$$\bar{\Sigma}^- \rightarrow \bar{n} \pi^-$$

$$\Sigma^- = d d s$$

$$m = 1197.449 \pm 0.030 \text{ МэВ}/c^2$$

$$\Sigma^- \rightarrow n \pi^- (98.848 \pm 0.005)\%$$

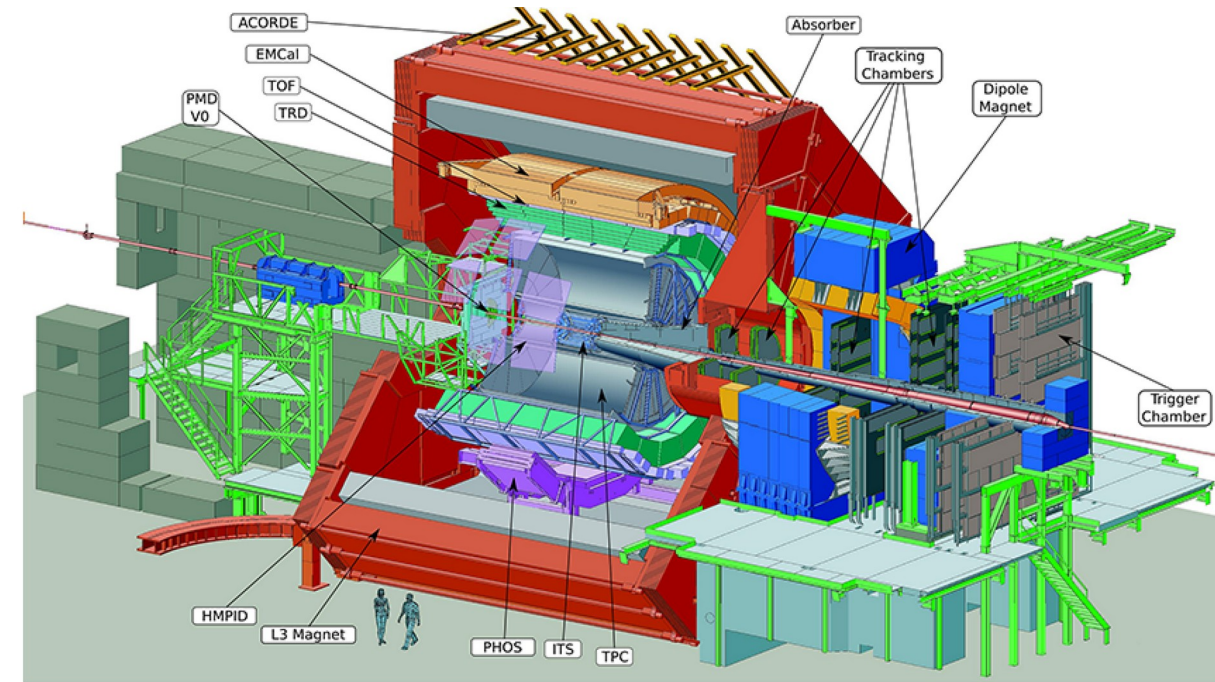
$$\bar{\Sigma}^+ \rightarrow \bar{n} \pi^+$$

$$\Sigma^0 = u d s$$

$$m = 1192.642 \pm 0.024 \text{ МэВ}/c^2$$

PHOS

- Как можно идентифицировать $\bar{n}$:
- Выделенная энергия аннигиляции (прибл. 1.5 ГэВ)
- Дисперсия кластера
- Невозможно измерить импульс кластера напрямую
- Использование времени пролета кластера для реконструкции импульса антинейтрона



PHOS - высоко-гранулированный фотонный спектрометр, состоящий из кристаллов PbWO_4 , расположен внизу эксперимента ALICE расстояние до BB = 4.6 м

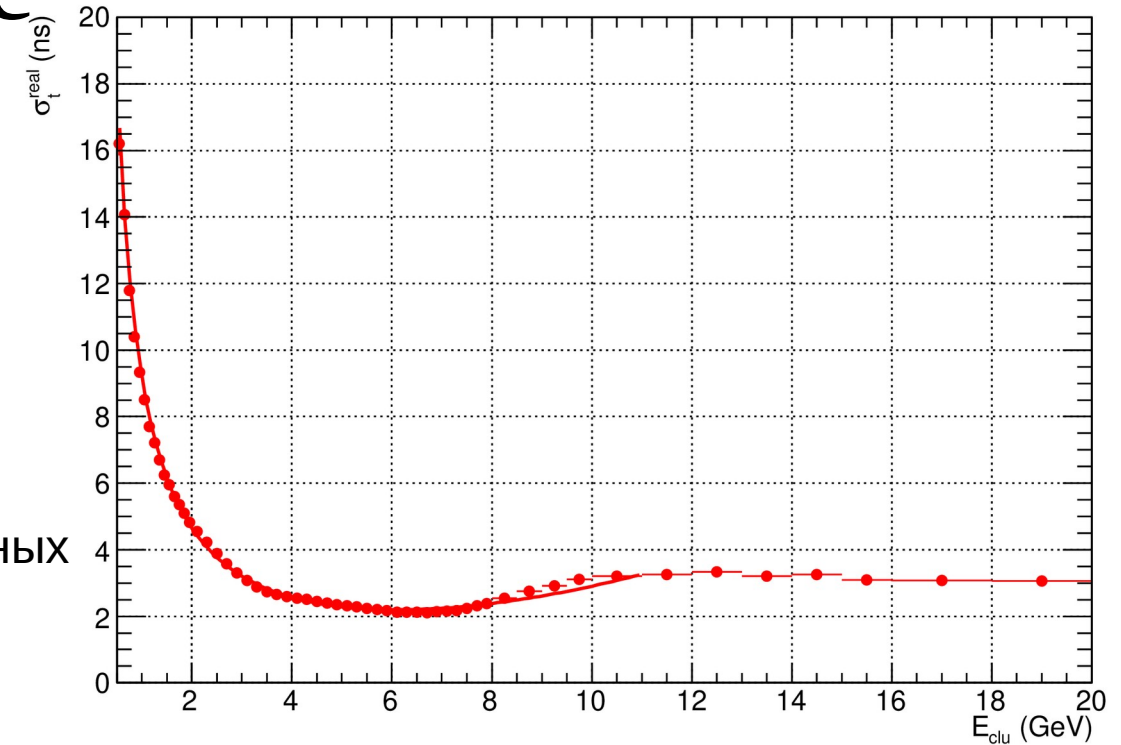
Временное разрешение

- Хорошее разрешение: $\sigma_t^{\text{good}} = 0.5$ нс

- Реалистичное разрешение:

Реалистичное разрешение было получено для предполагаемых фотонных кластеров в реальных данных

Параметризация используется в симуляции для воспроизведения разрешения



$$p_{\text{rec}} = \frac{m_{\bar{n}}}{\sqrt{\left(\frac{t_{\text{TOF}} \cdot c}{L}\right)^2 - 1}}$$

L - расстояние между вершиной взаимодействия и поверхностью PHOS, м

$m_{\bar{n}}$ - масса антинейтрона, 0.939485 МэВ/ c^2

t_{TOF} - время пролета, с

c - скорость света, 299792458 м/с

Отбор кластеров

- AliVCluster::kPHOSNeutral

- $E_{\text{clu}} > 0.8 \text{ ГэВ}$

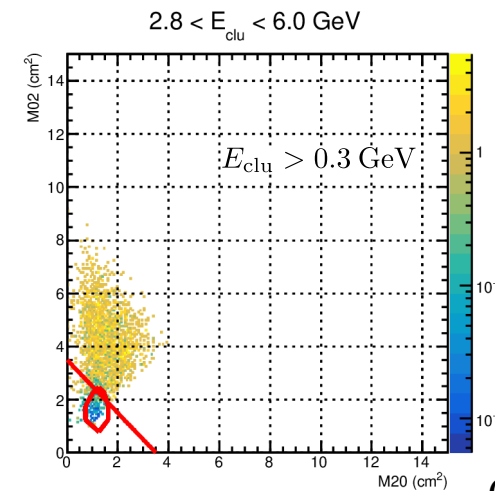
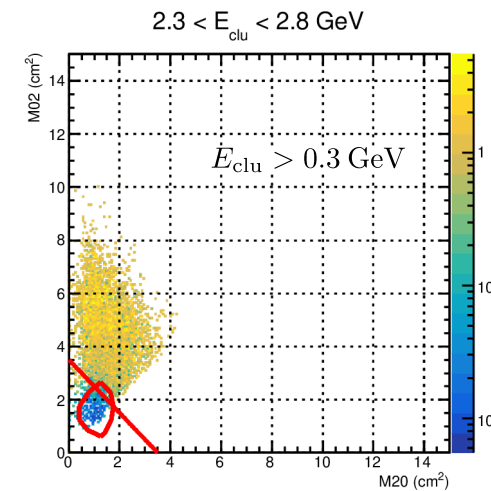
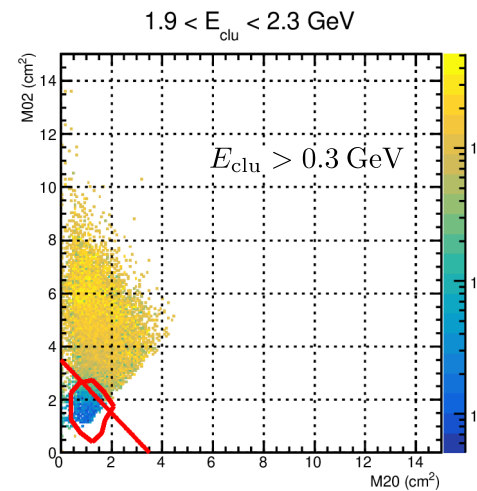
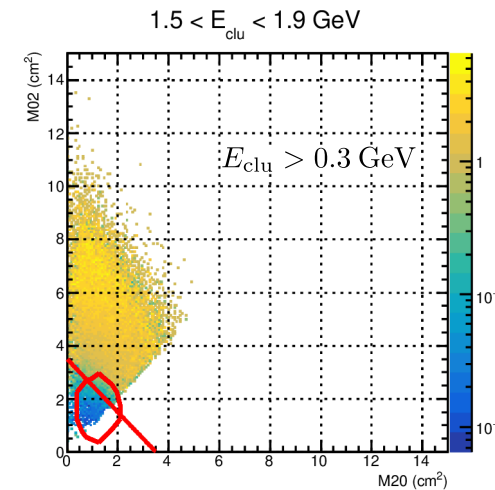
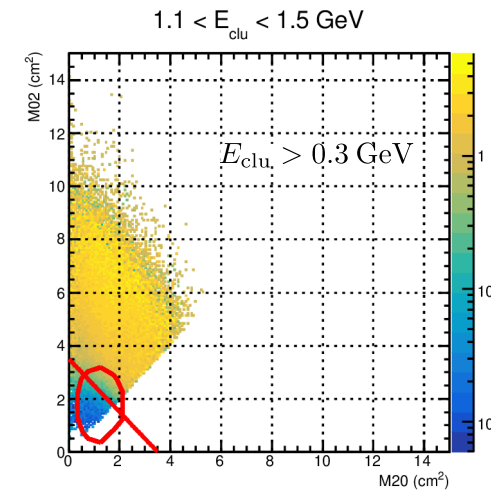
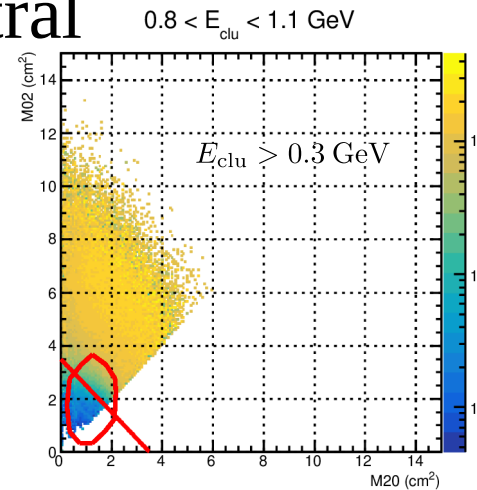
- $M02 > 0.2 \text{ cm}^2$

- $CPV > 4\sigma$

- Антифотонный кат

$2\sigma +$

$M20 > -M02 + 3.5$



Отбор треков

- TPC PID для пионов 3σ
- Топологические отборы
- $|\eta| < 0.8$
- Track Filtermap = 21 (AOD Filter Bit 4 — Standard cuts with very loose DCA)

Топологические отборы

Кратчайшее расстояние
между вершиной
взаимодействия и треком
(DCA_{XY}, DCA_Z)

Вершина
взаимодействия
(Prim. vtx)

Расстояние между вершинами (DBV)

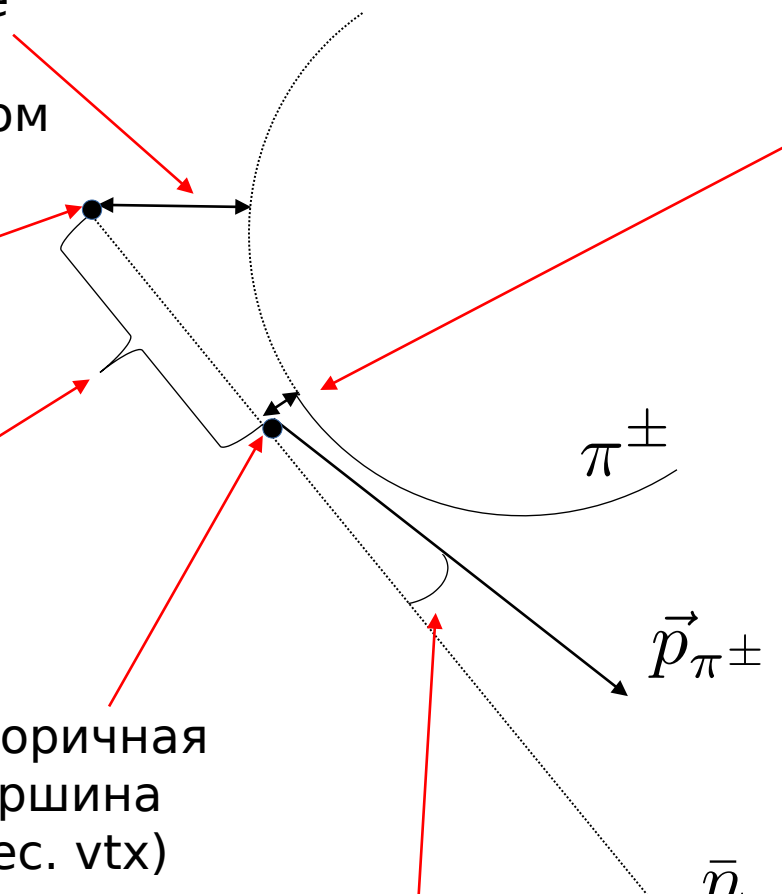
Вторичная
вершина
(Sec. vtx)

Косинус
направляющего
угла (CRA)

Кратчайшее
расстояние между
дочерними частицами
(DCA daughters)

$$\vec{p}_{\pi^\pm} + \vec{p}_{\bar{n}}$$
$$\overline{n}$$

Координаты в PHOS



Значимость (Significance, МК)

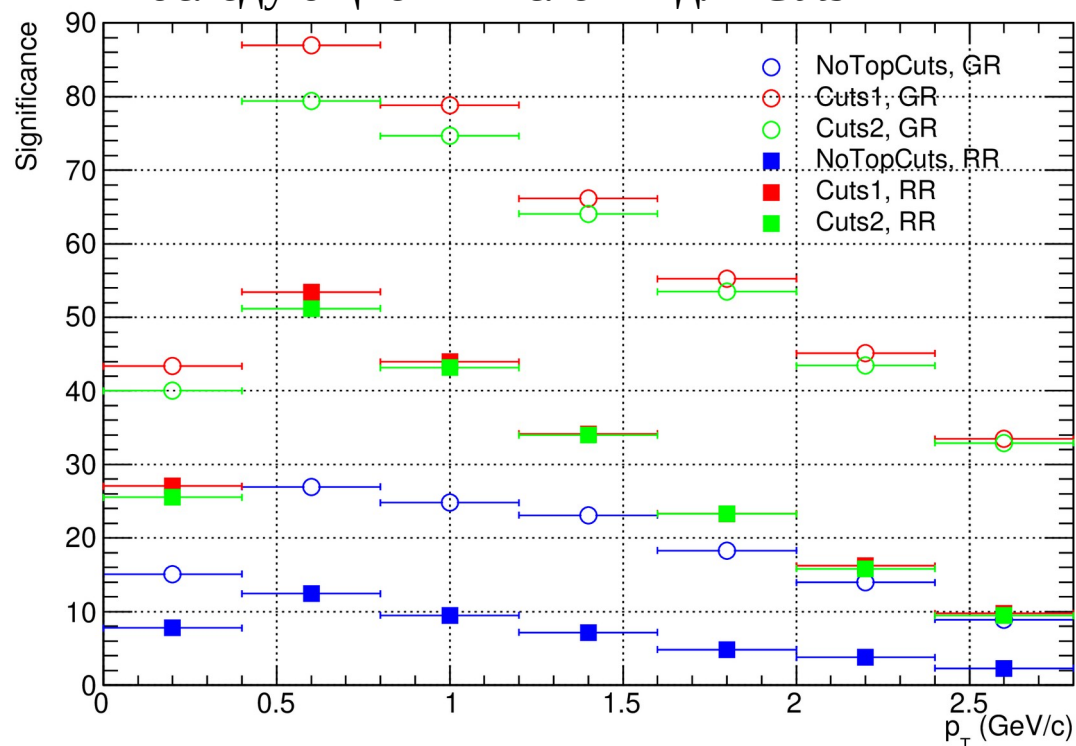
NoTopCuts – без топологических отборов, только отборы кластеров

Cuts1 – DCA daughters + CPA + DBV

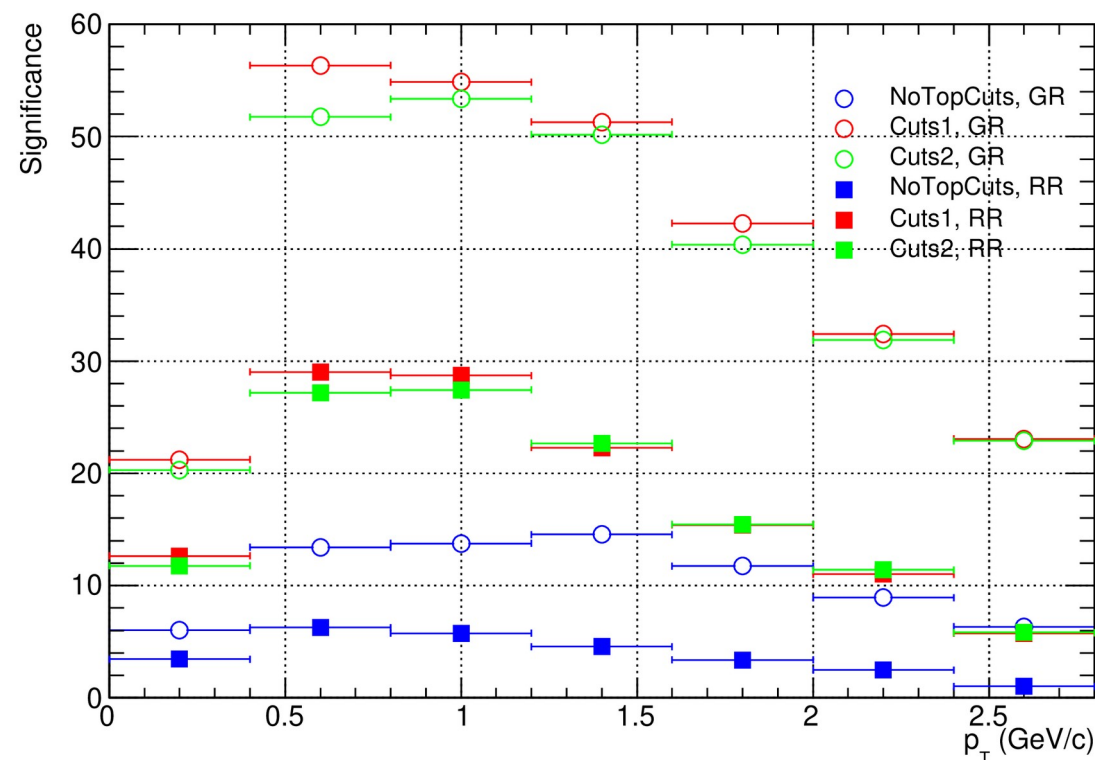
Cuts2 – то же что и Cuts1 + DCA_{XY} and DCA_Z

Последующие вычисления для Cuts1

$$\text{Significance} = \frac{S}{\sqrt{B}}$$

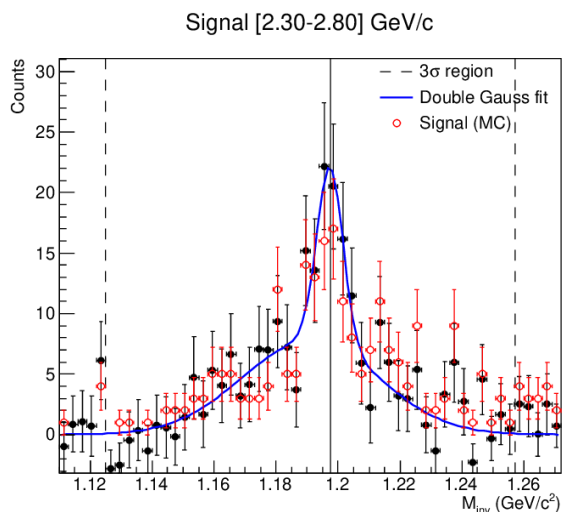
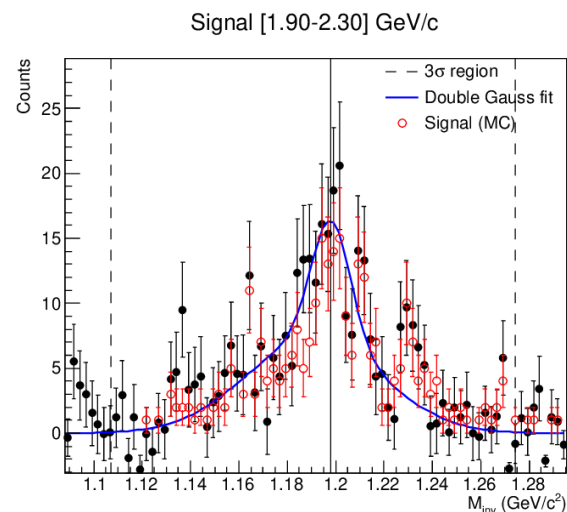
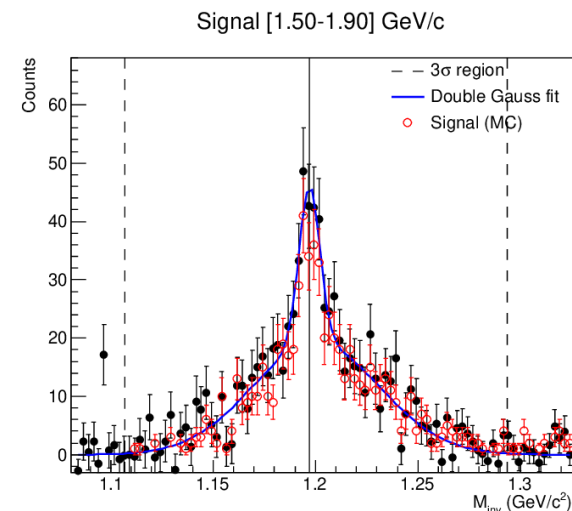
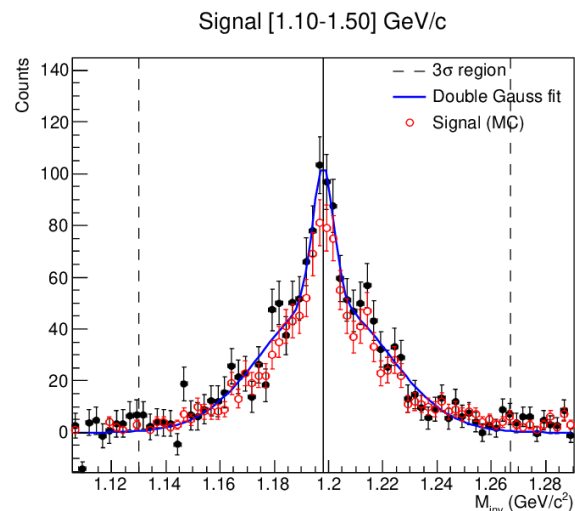
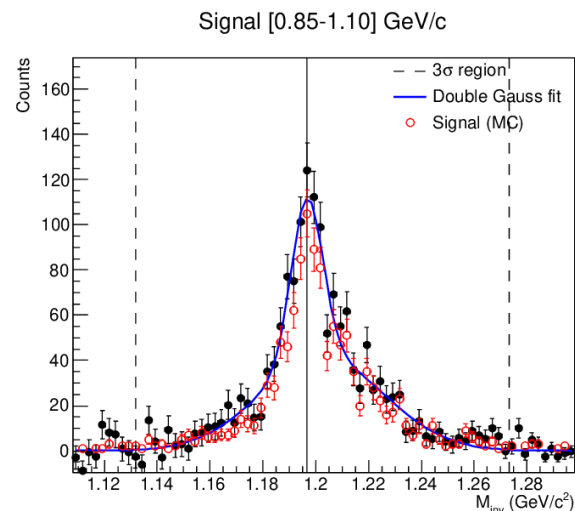


Significances для $\bar{\Sigma}^+$

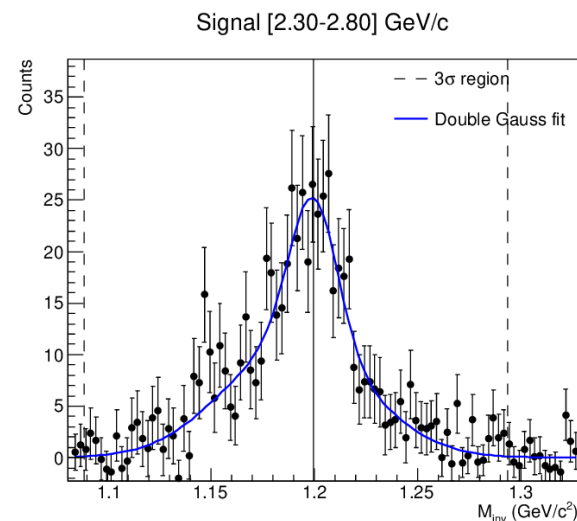
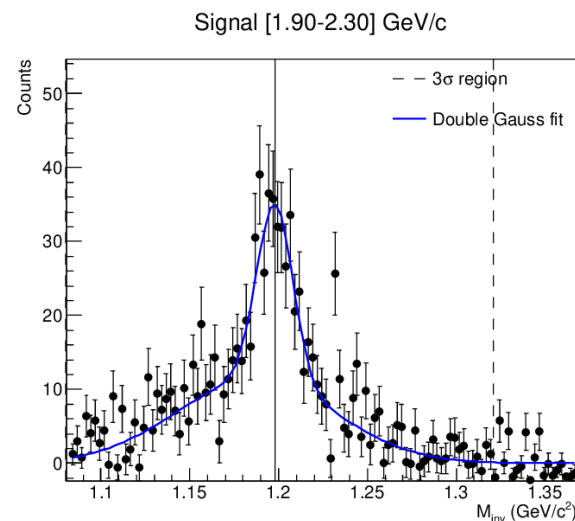
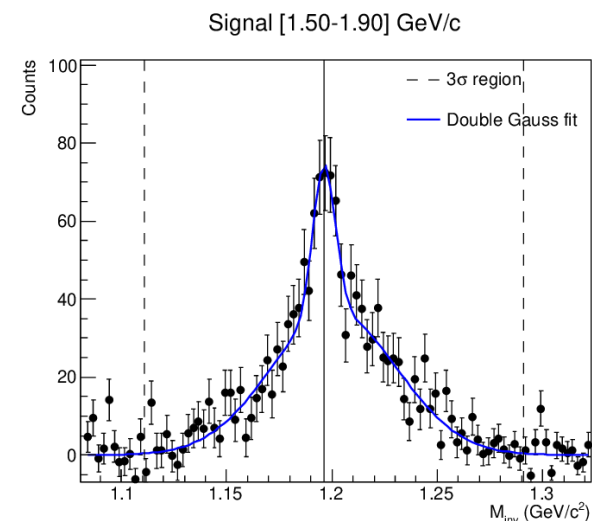
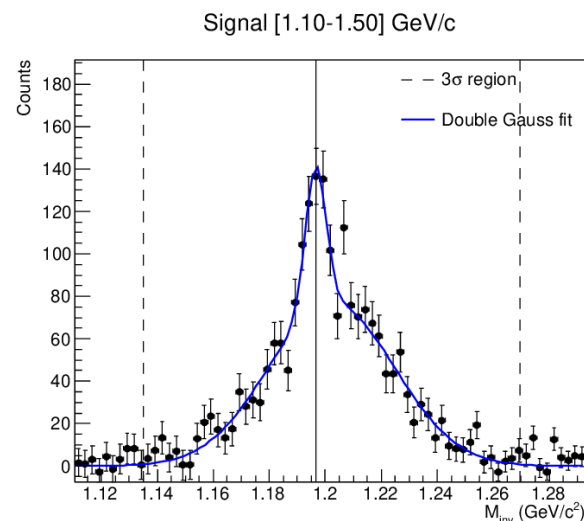
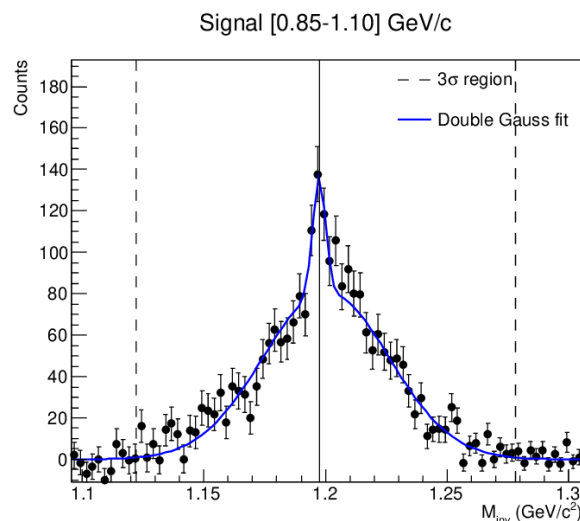


Significances для $\bar{\Sigma}^-$

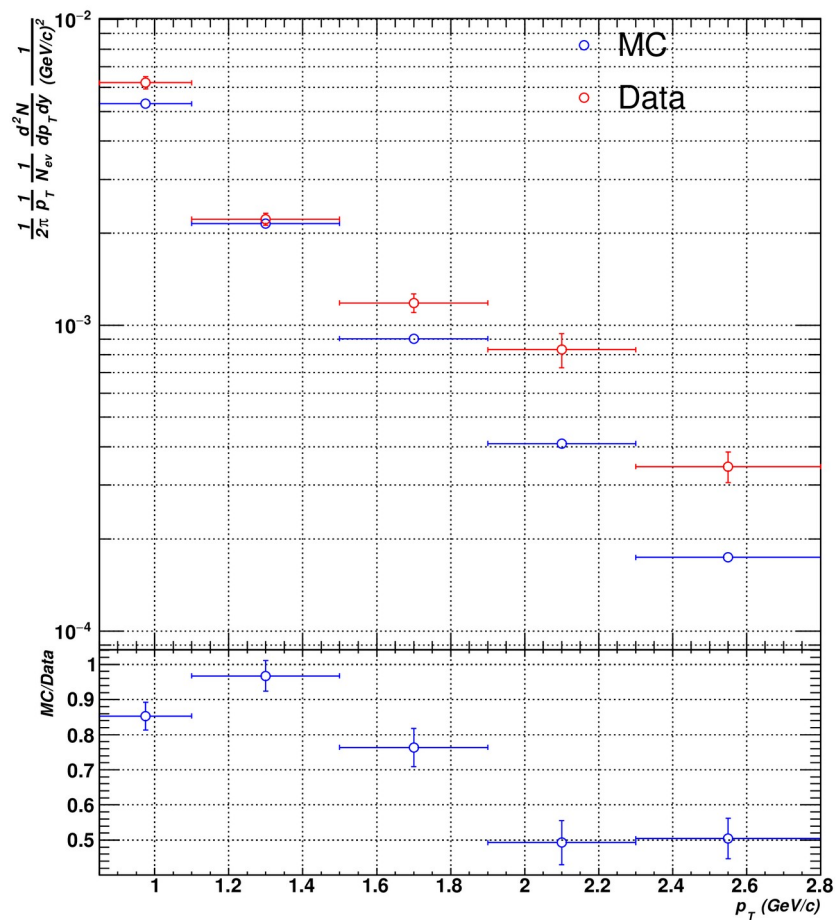
Распределение сигнала для реконструированного импульса кластера $\bar{\Sigma}^+$ (RR, МК)



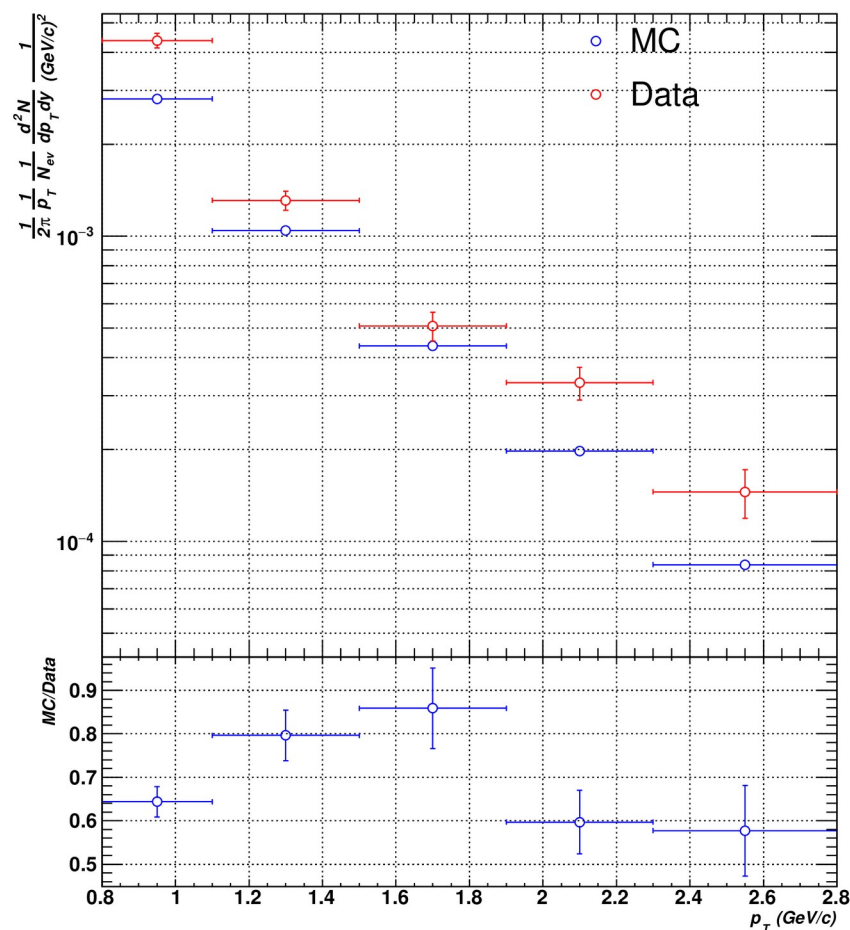
Распределение сигнала для реконструированного импульса кластера $\bar{\Sigma}^+$ (данные)



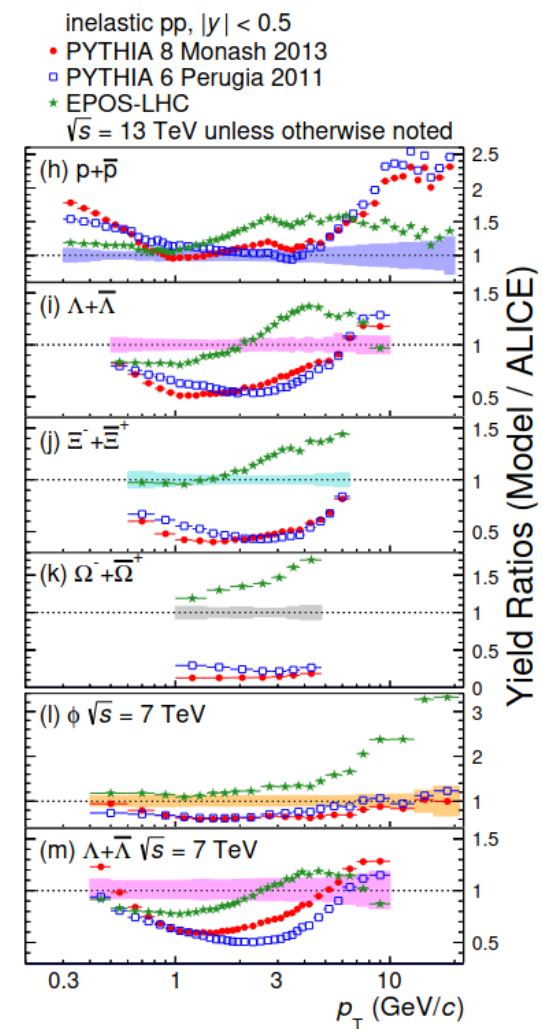
Спектры. Отношение данных и МК



Σ^+



Σ^-

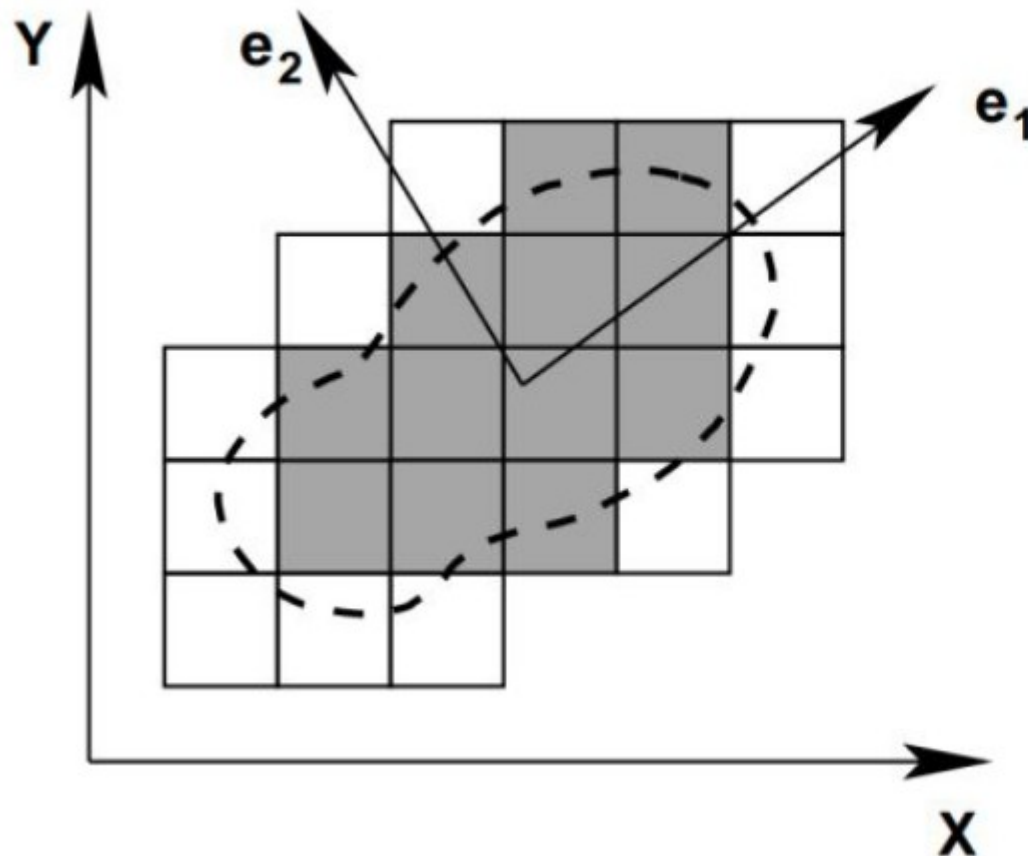


arXiv:2005.11120 [nucl-ex]

Заключение

- Впервые был предложен метод по реконструкции антинейтронов
- Реконструкция антинейтронов по времени пролета позволяет получать значения импульсов до ~ 2 ГэВ/с для текущего временного разрешения PHOS
- Метод может быть использован при реконструкции $\bar{\Sigma}^+$, по единственному каналу распада на антинейтрон и пион
- Наибольшая эффективность идентификации достигается при импульсах $0.4 - 2$ ГэВ/с
- Пики на распределениях инвариантной массы видны для поперечных импульсах пары $0.8 < p_T < 2.8$ ГэВ/с
- МК воспроизводит форму пиков, положение и ширины
- Получены полностью скорректированные спектры

Дисперсия кластера



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

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

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

Временное разрешение

- Хорошее разрешение: $\sigma_t^{\text{good}} = 0.5$ нс

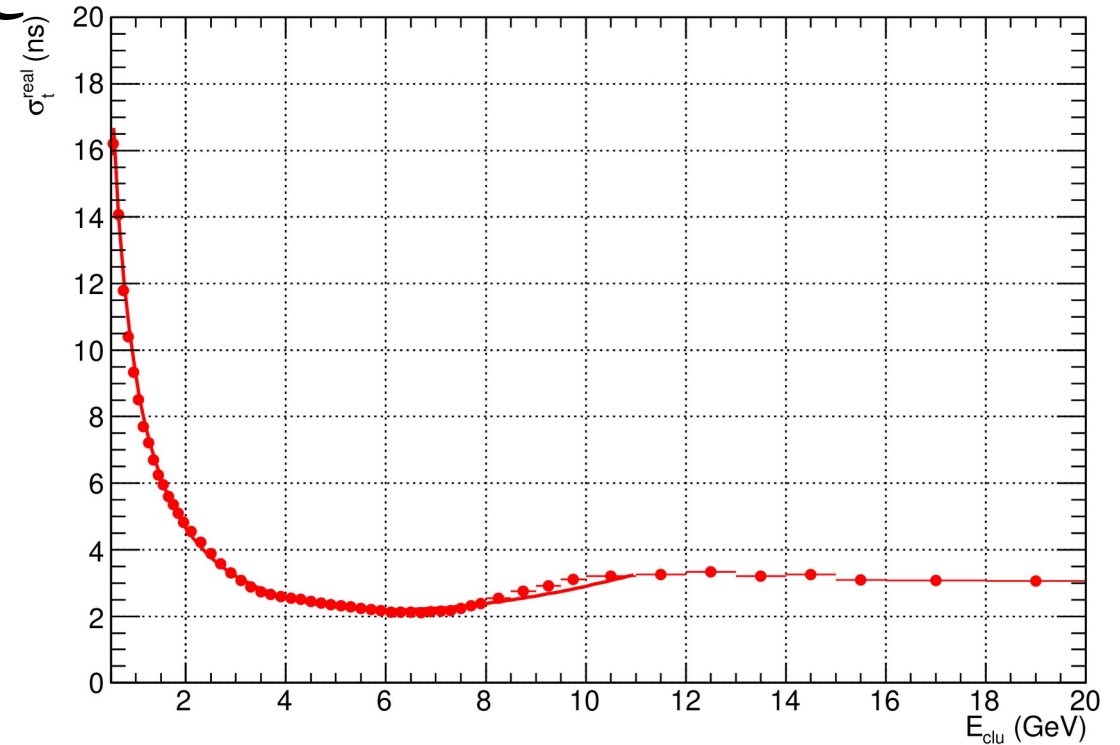
- Реалистичное разрешение:

Реалистичное разрешение было получено для предполагаемых фотонных кластеров в реальных данных.

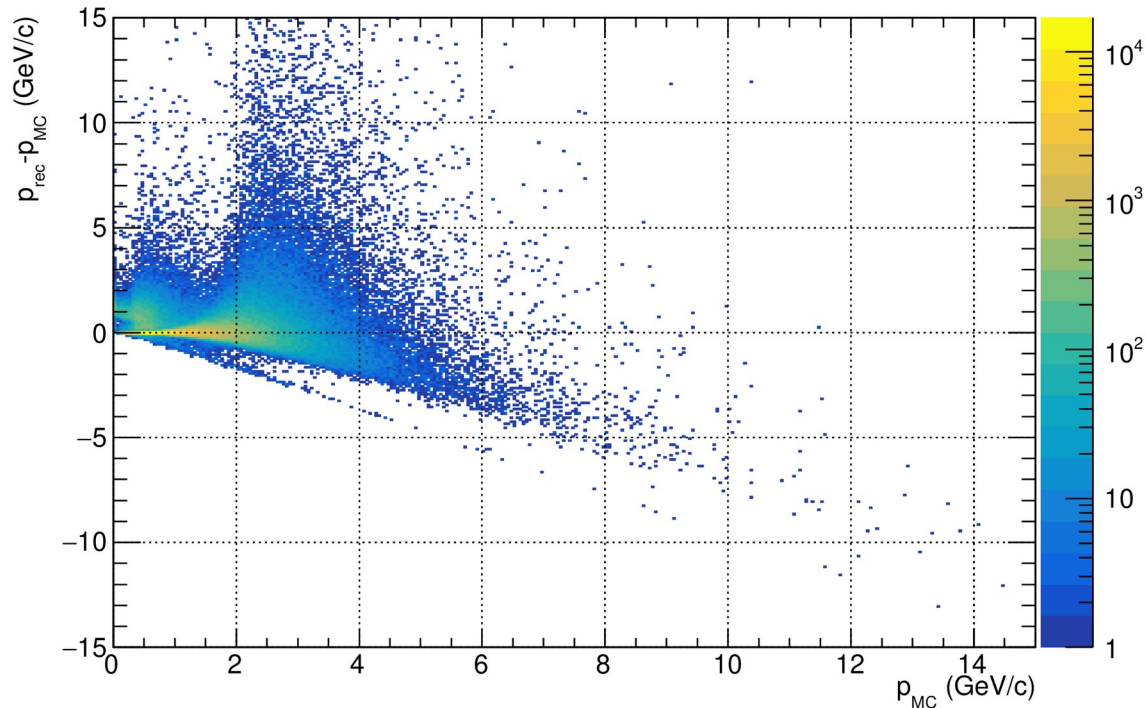
Параметризация используется в симуляции для воспроизведения разрешения

$$\sigma_t^{\text{real}} = 9.2177 \cdot \frac{\exp\left(\frac{-E_{\text{clu}}}{3.5756 \cdot 10^{11}}\right)}{E_{\text{clu}}} - 0.0219 \cdot E_{\text{clu}} + 0.0220 \cdot E_{\text{clu}}^2$$

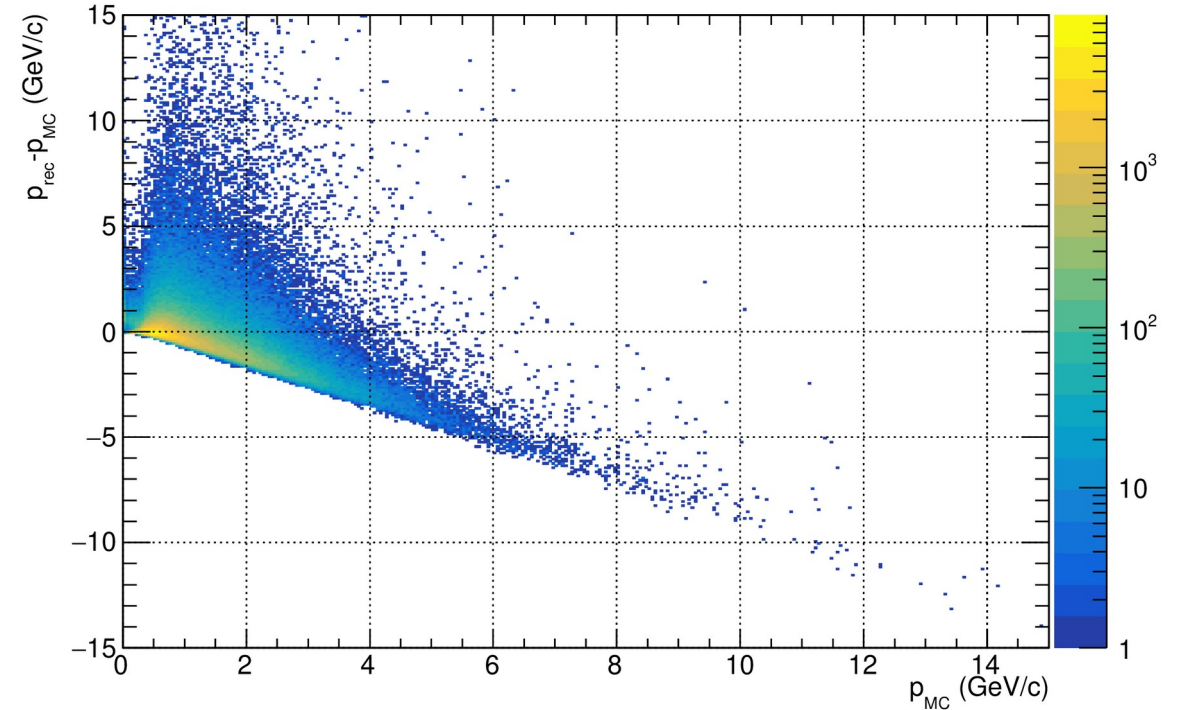
$$\sigma_t^{\text{tot}} = \sqrt{(\sigma_t^{\text{real}})^2 + (\sigma_t^{\text{good}})^2}$$



Реконструкция импульса (МК)



Хорошее временное разрешение



Реалистичное временное разрешение

$$p_{\text{rec}} = \frac{m_{\bar{n}}}{\sqrt{\left(\frac{t_{\text{TOF}} \cdot c}{L}\right)^2 - 1}}$$

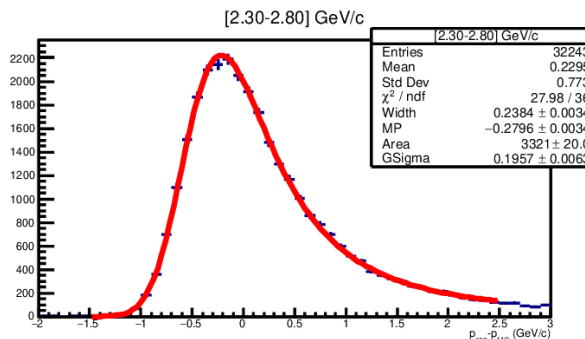
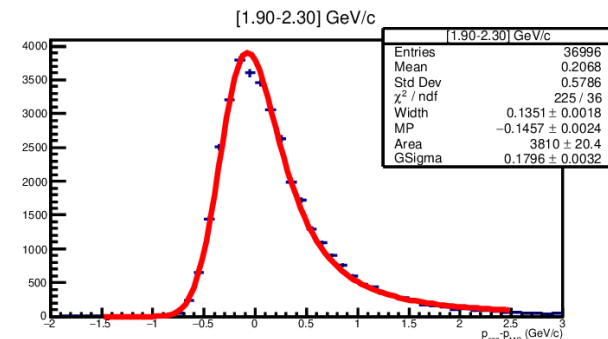
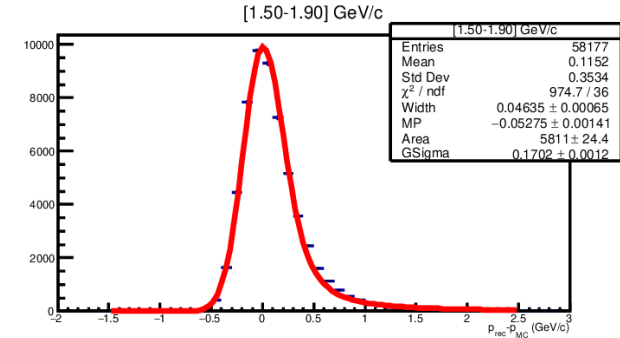
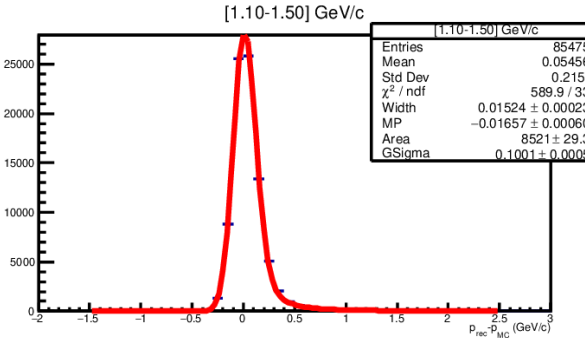
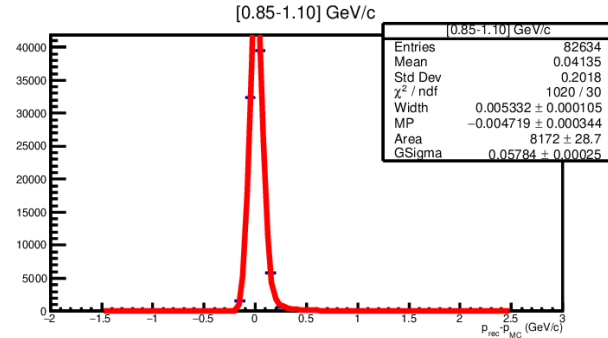
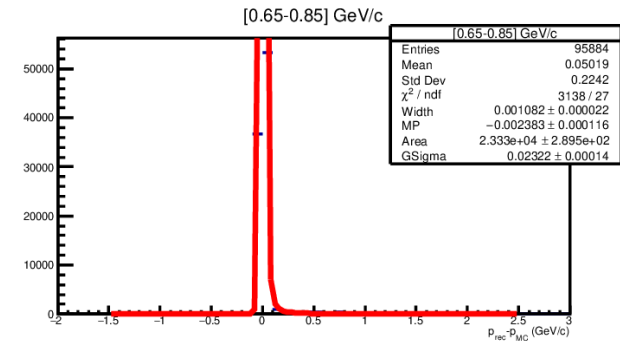
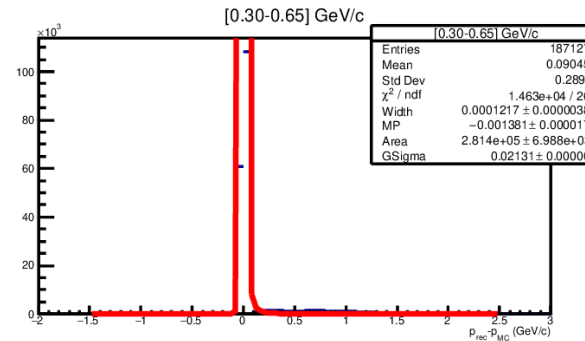
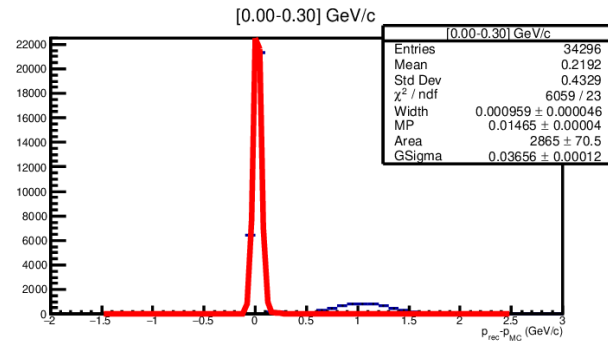
L - расстояние между вершиной взаимодействия и поверхностью PHOS, м

$m_{\bar{n}}$ - масса антинейтрона, 0.939485 МэВ/ c^2

t_{TOF} - время пролета, с

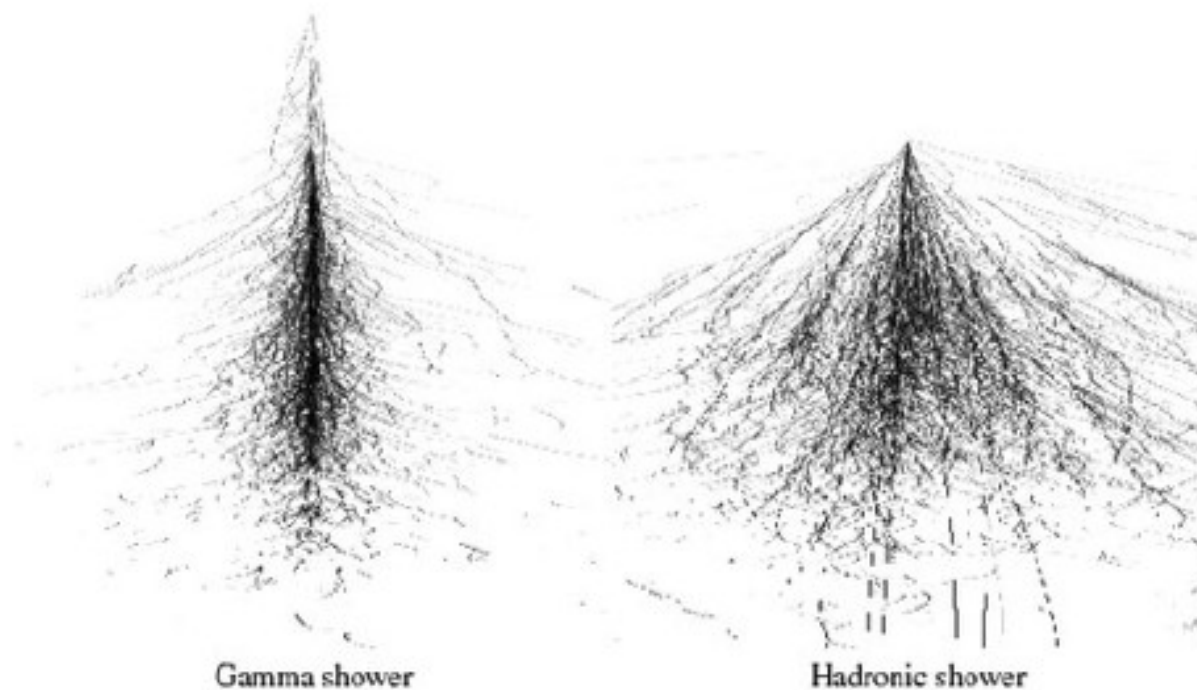
c - скорость света, 299792458 м/с

Реконструкция импульса. Разрешение. GR (МК)



Функция фитирования -свертка функций Ландау и Гаусса

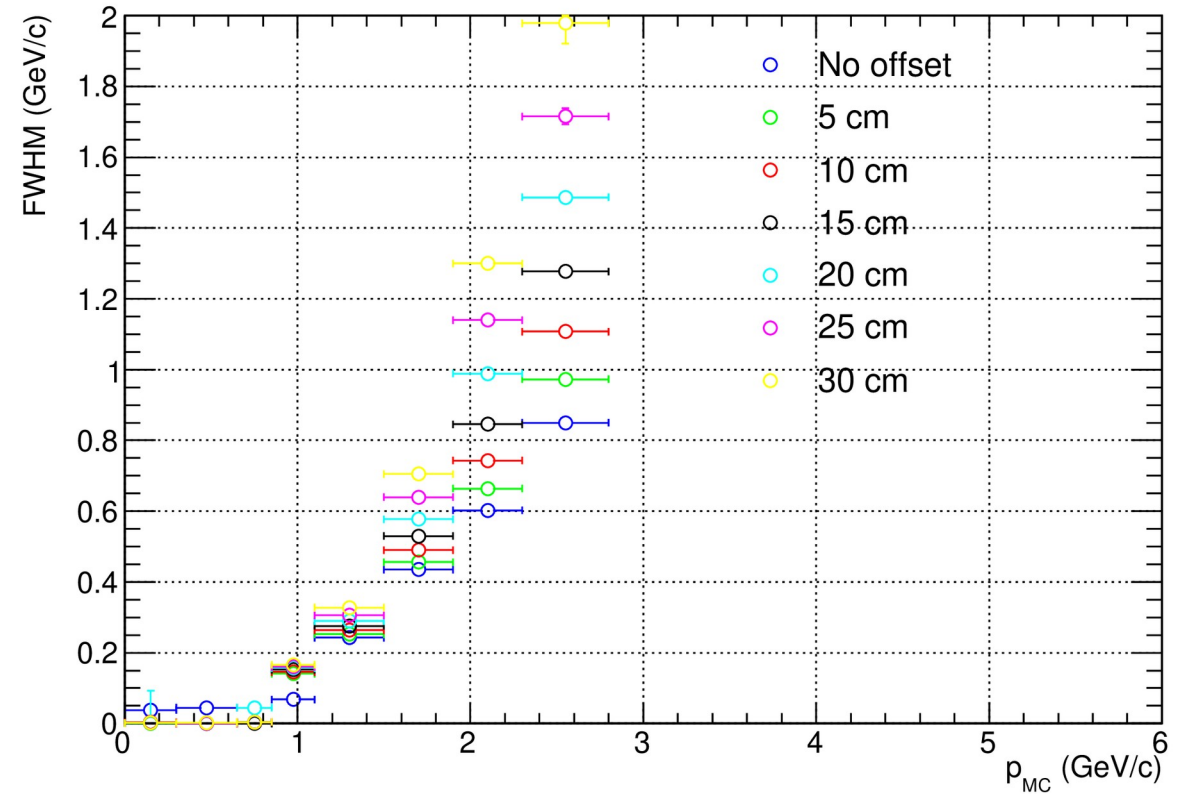
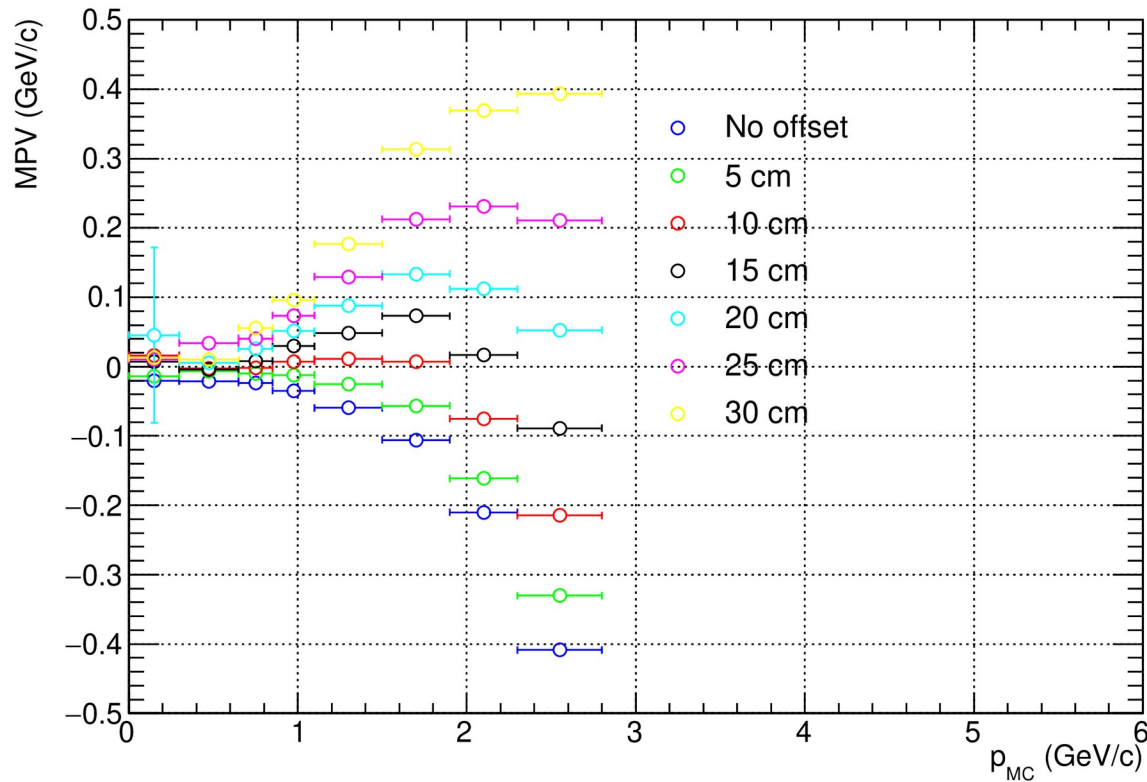
Реконструкция импульса. Сдвиг (МК)



$$p_{\text{rec}} = \frac{m_{\bar{n}}}{\sqrt{\left(\frac{t_{\text{TOF}} \cdot c}{L + \delta}\right)^2 - 1}}$$

СДВИГ

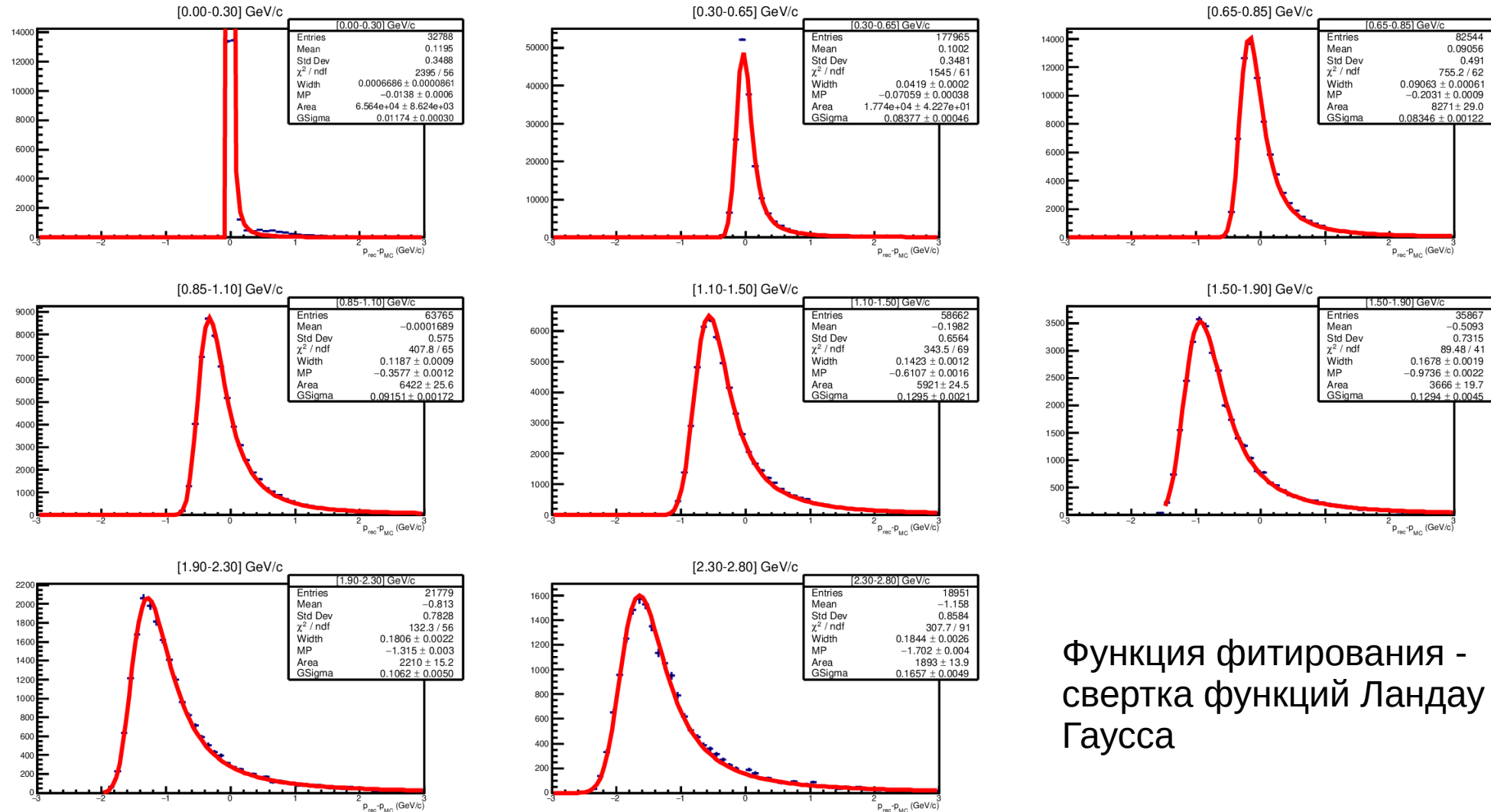
Реконструкция импульса. Сдвиг. GR (МК)



НВЗ и ПШПВ получены из фита свертки функций Ландау и Гаусса

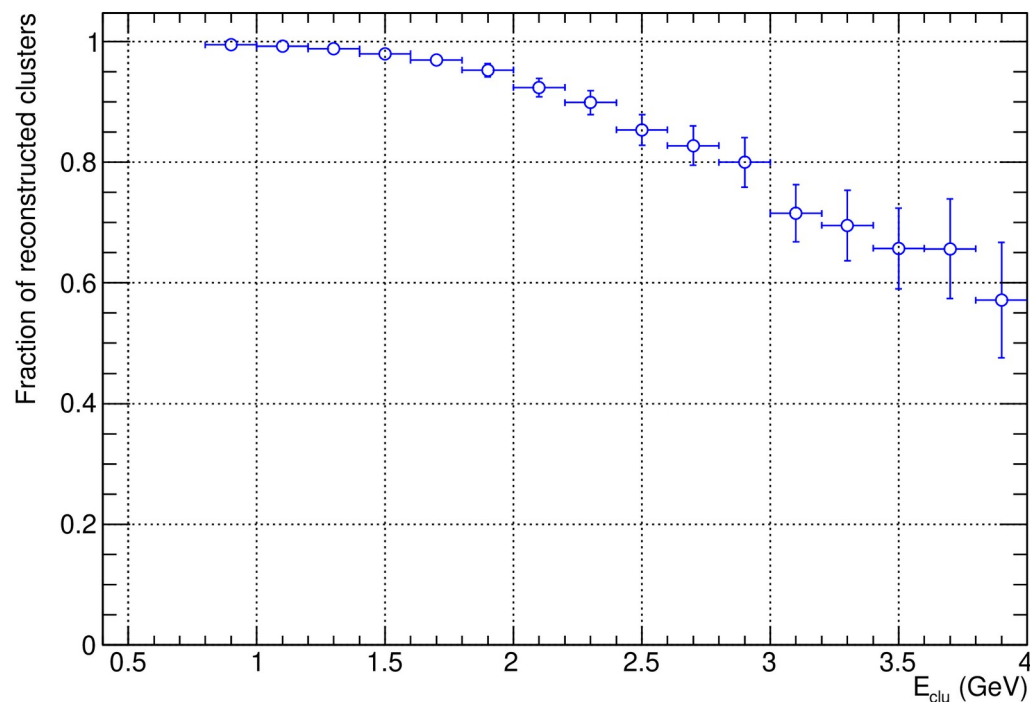
Сдвиг равный 10 см используется в дальнейшем анализе

Реконструкция импульса. Разрешение. RR (МК)

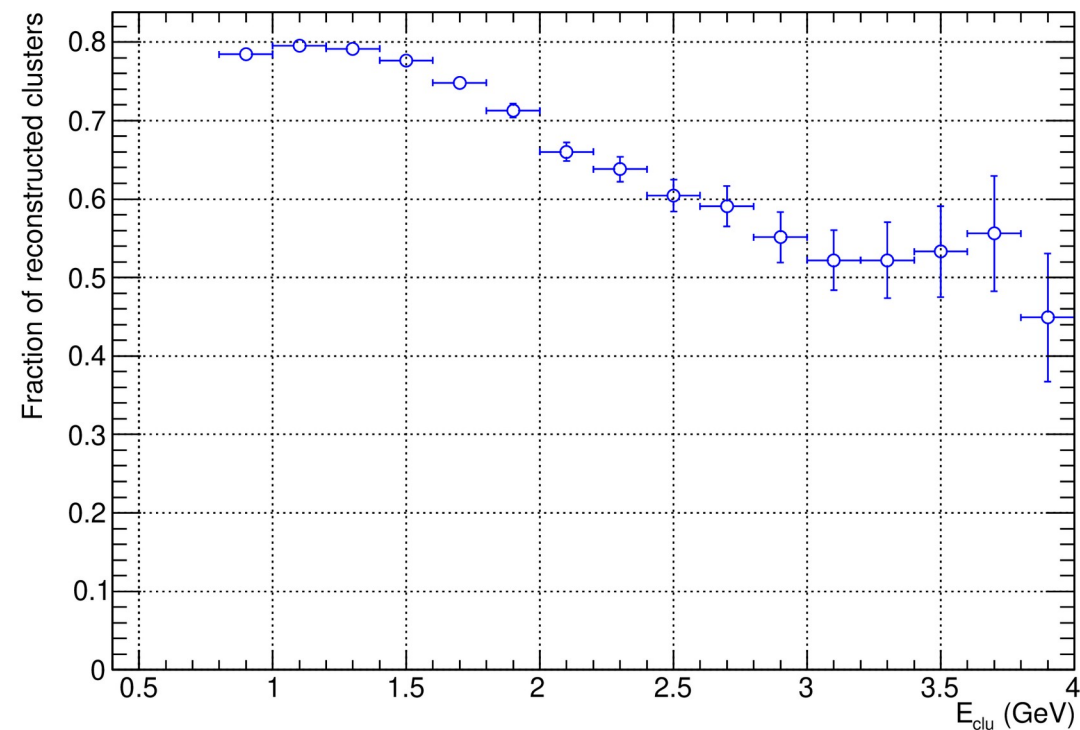


Функция фитирования -
свертка функций Ландау и
Гаусса

Реконструкция импульса. Эффективность. Антинейтроны

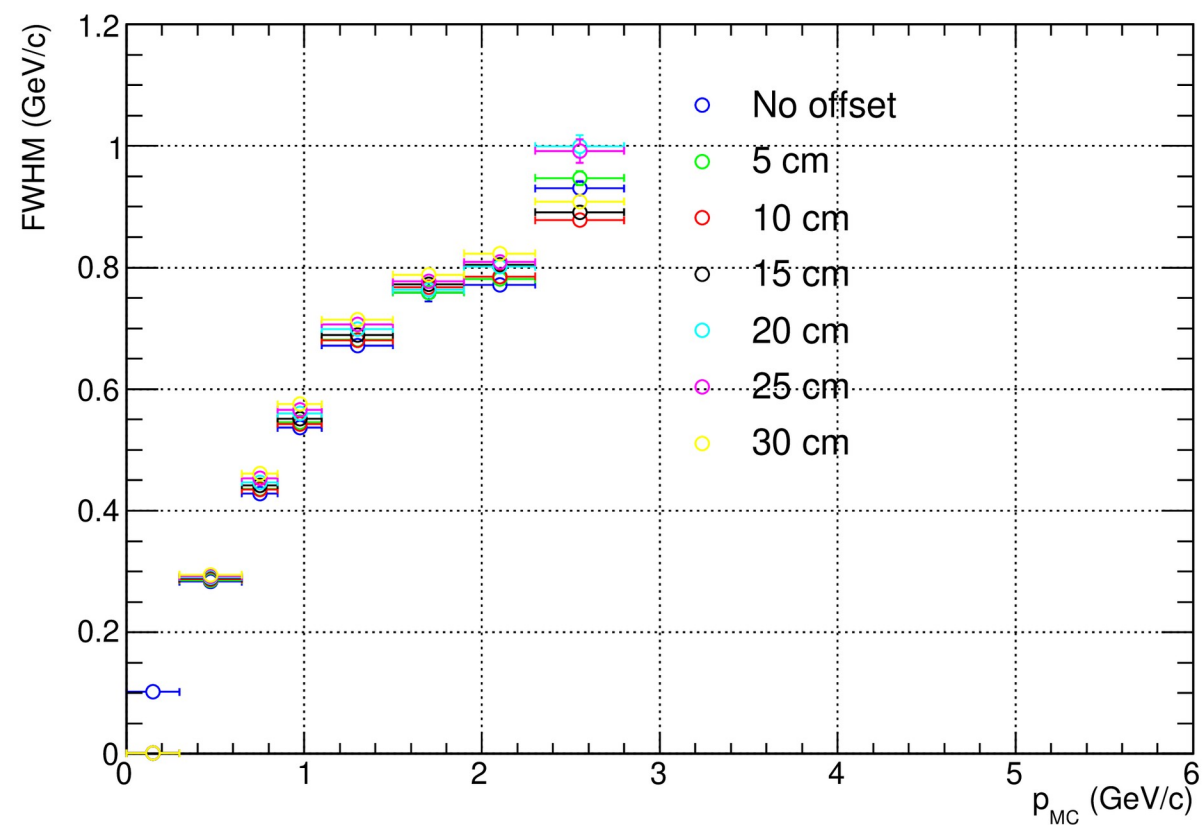
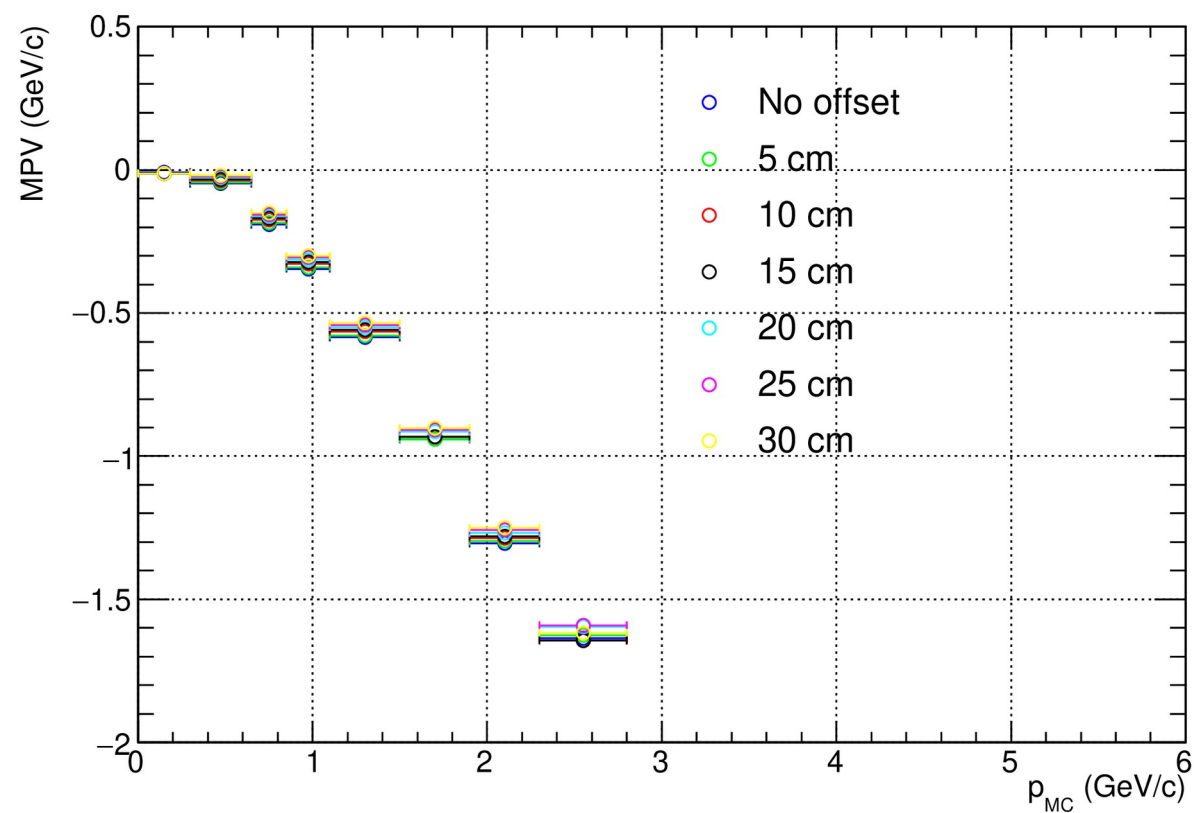


Хорошее временное разрешение

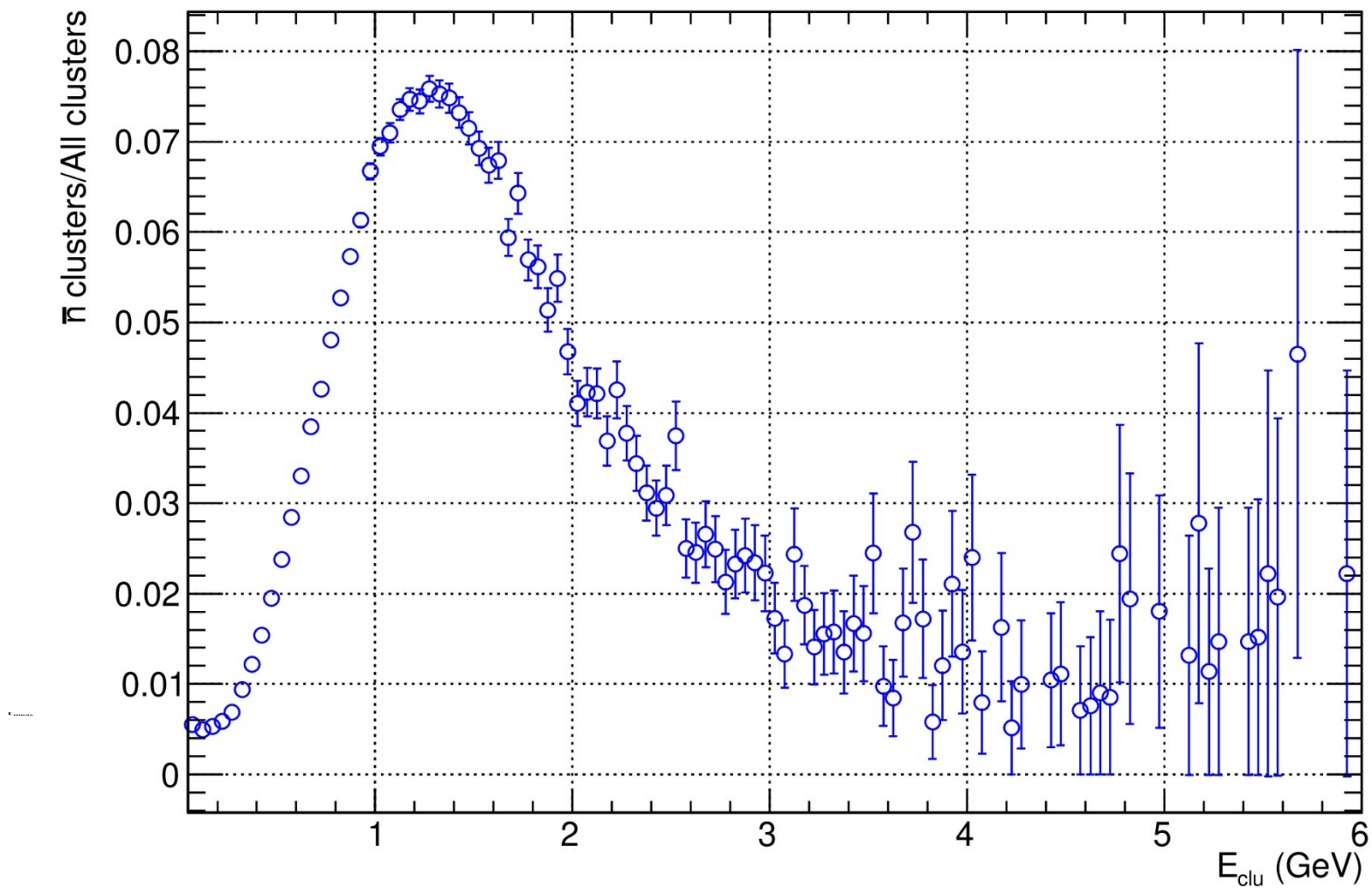


Реалистичное временное разрешение

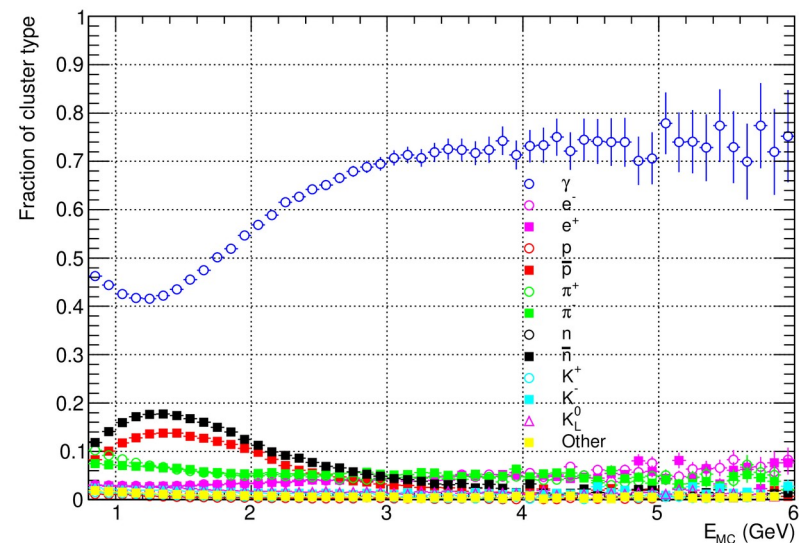
Реконструкция импульса. Сдвиг. RR



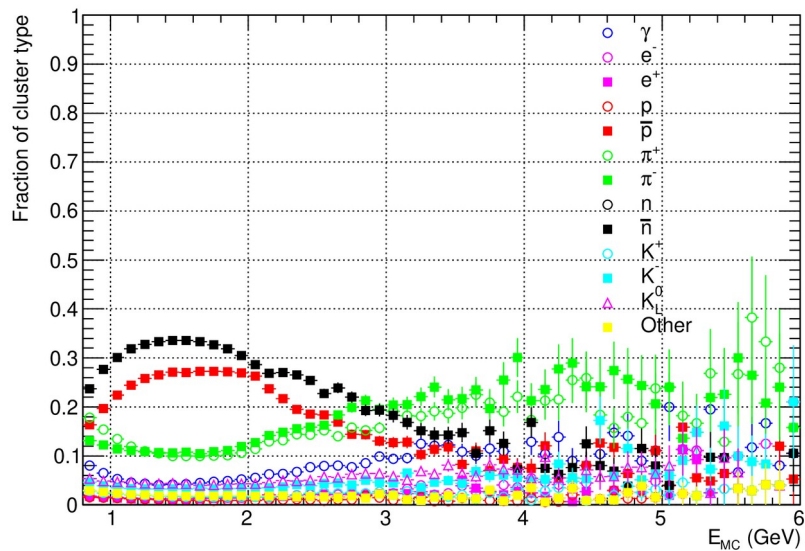
Доля антинейтронных кластеров (МК)



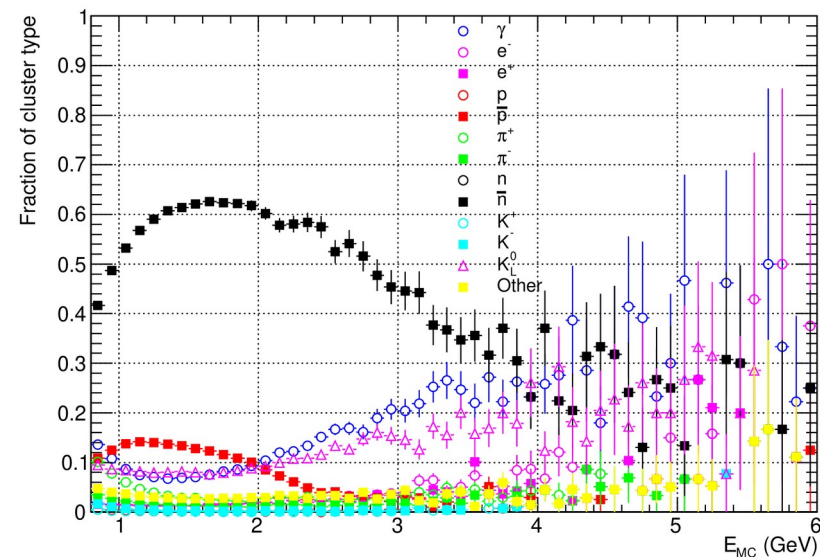
Доля кластеров (МК)



Без дисперсионного и CPV катов;

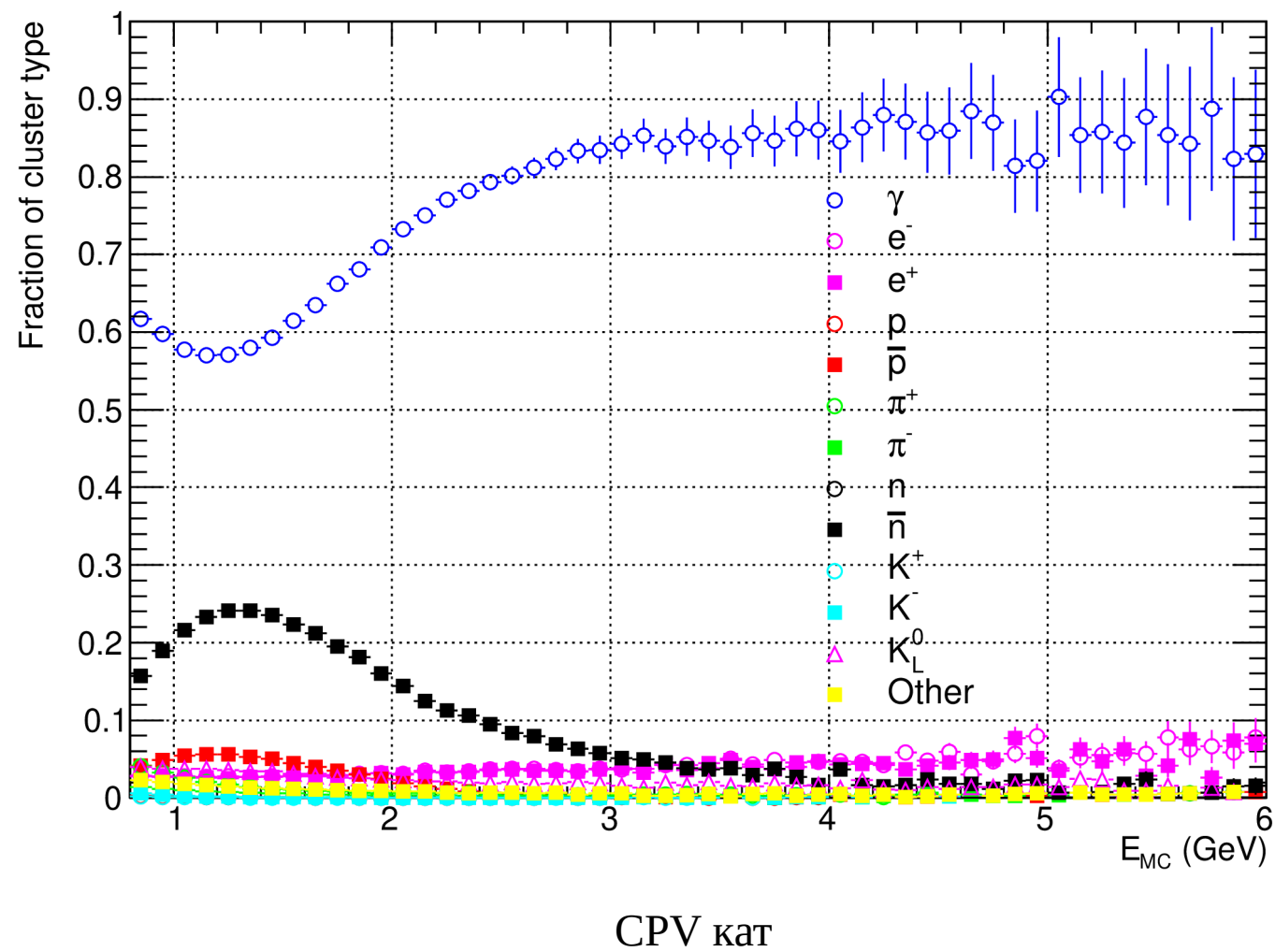


Дисперсионный кат

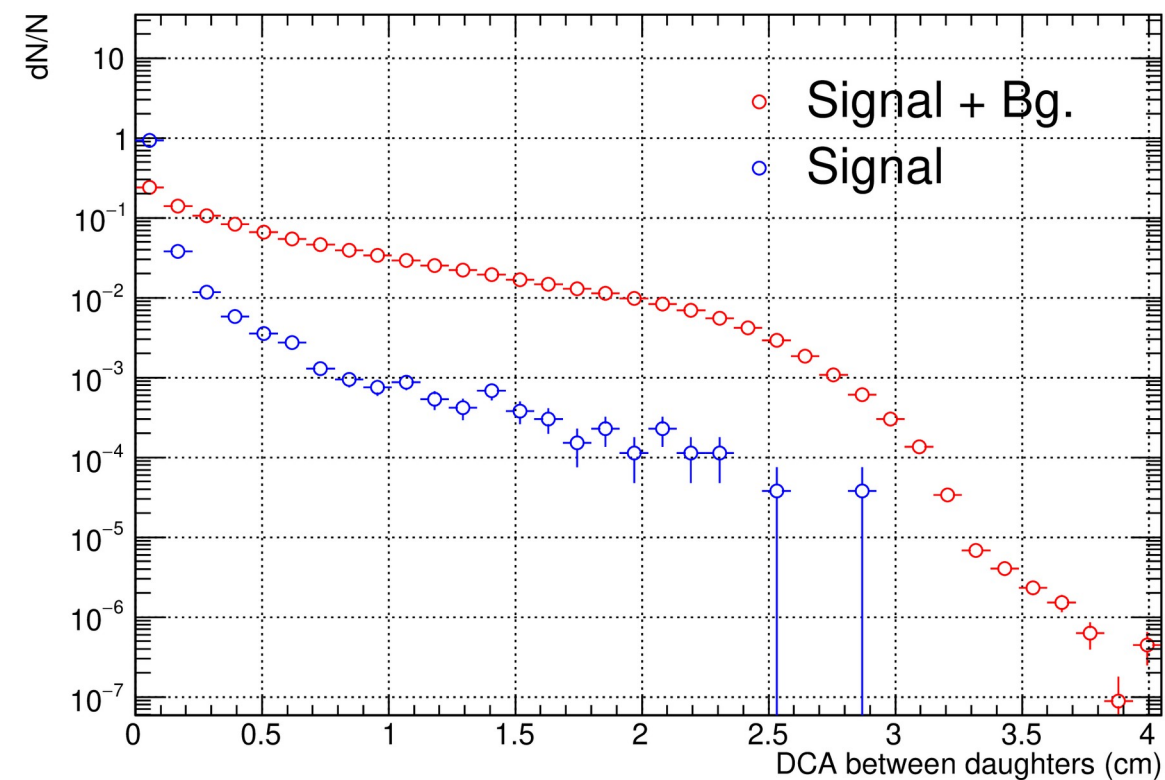


Дисперсионный + CPV кат

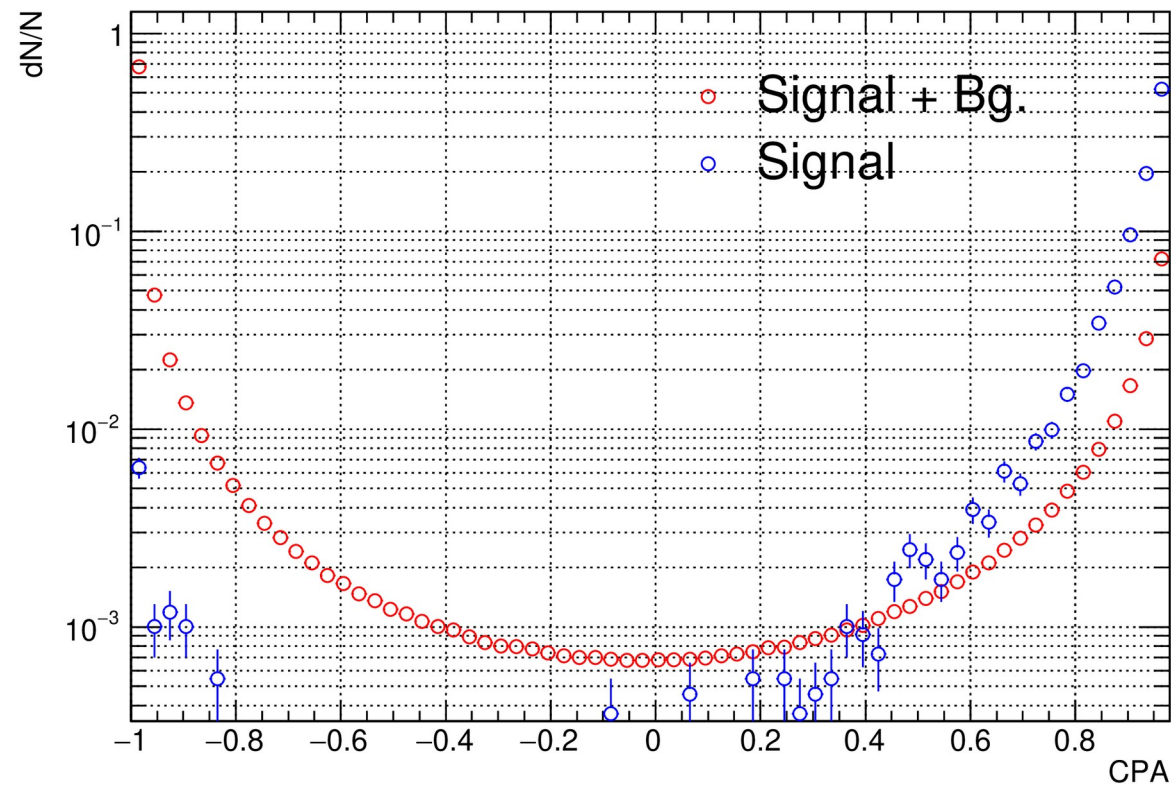
Доля кластеров (МК)



Топологические отборы (МК)

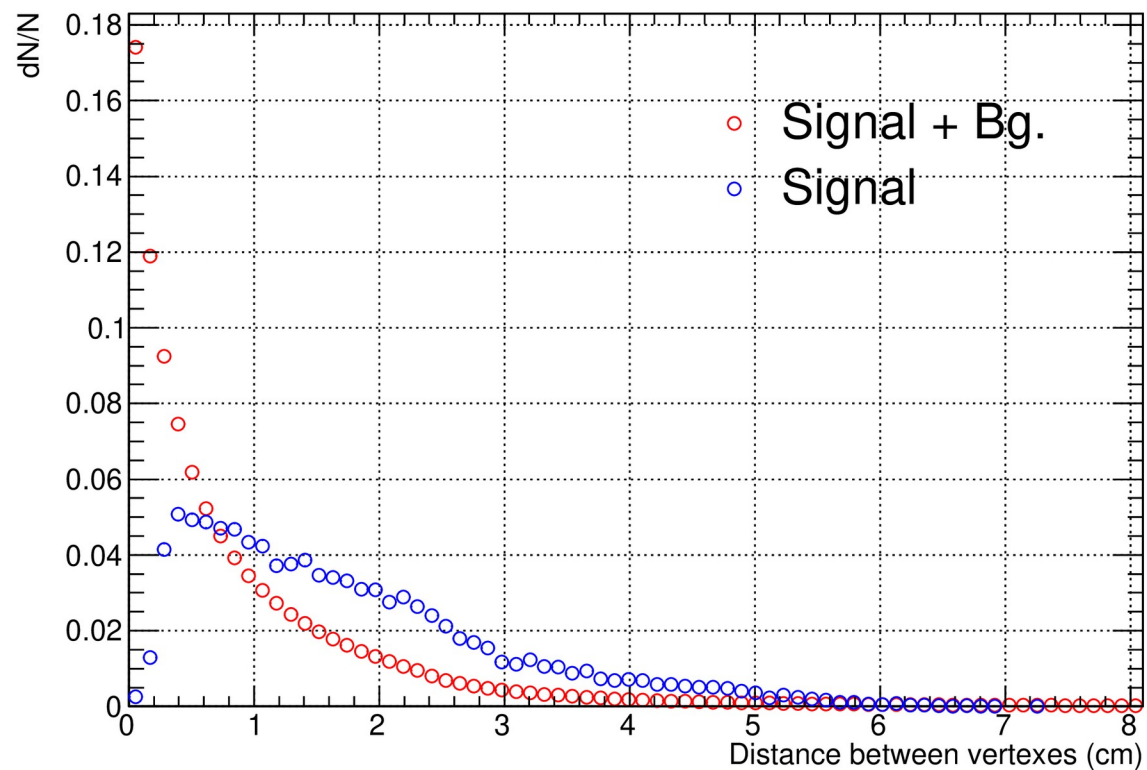


DCA между $\bar{n}$ и $\pi^{\pm}$

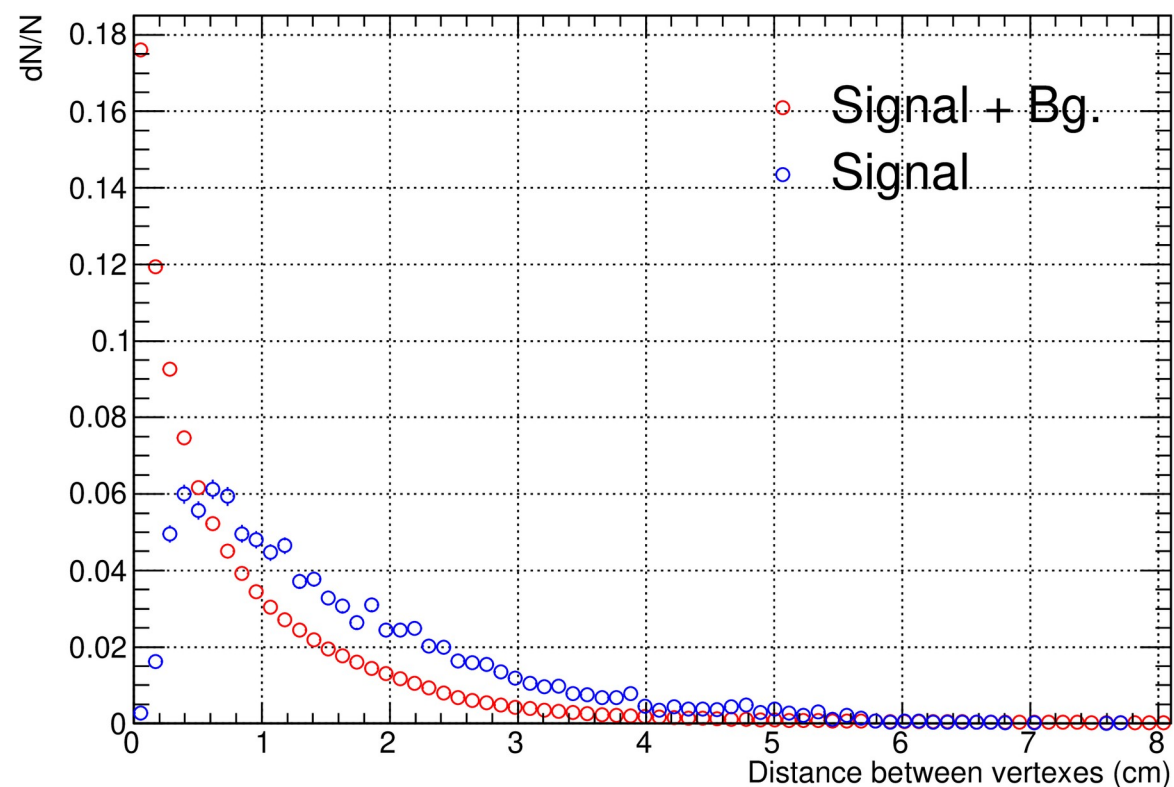


Косинус направляющего угла

Топологические отборы (МС)

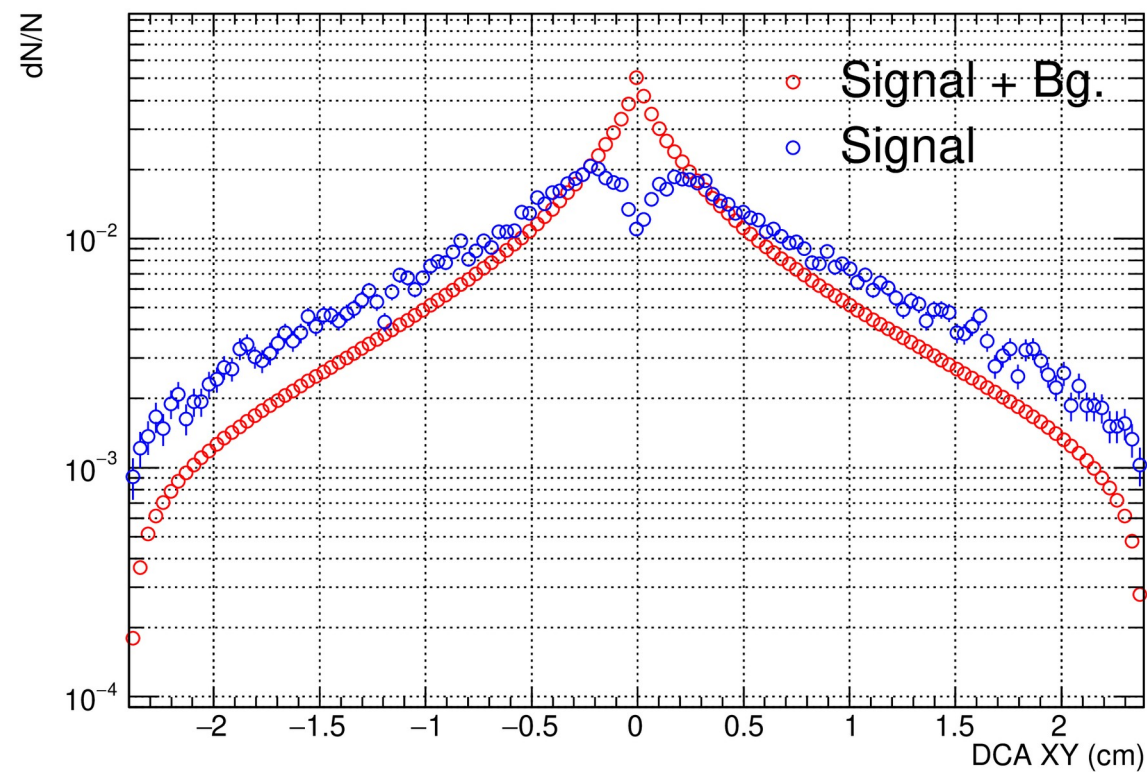


Расстояние между вершинами для Σ^+

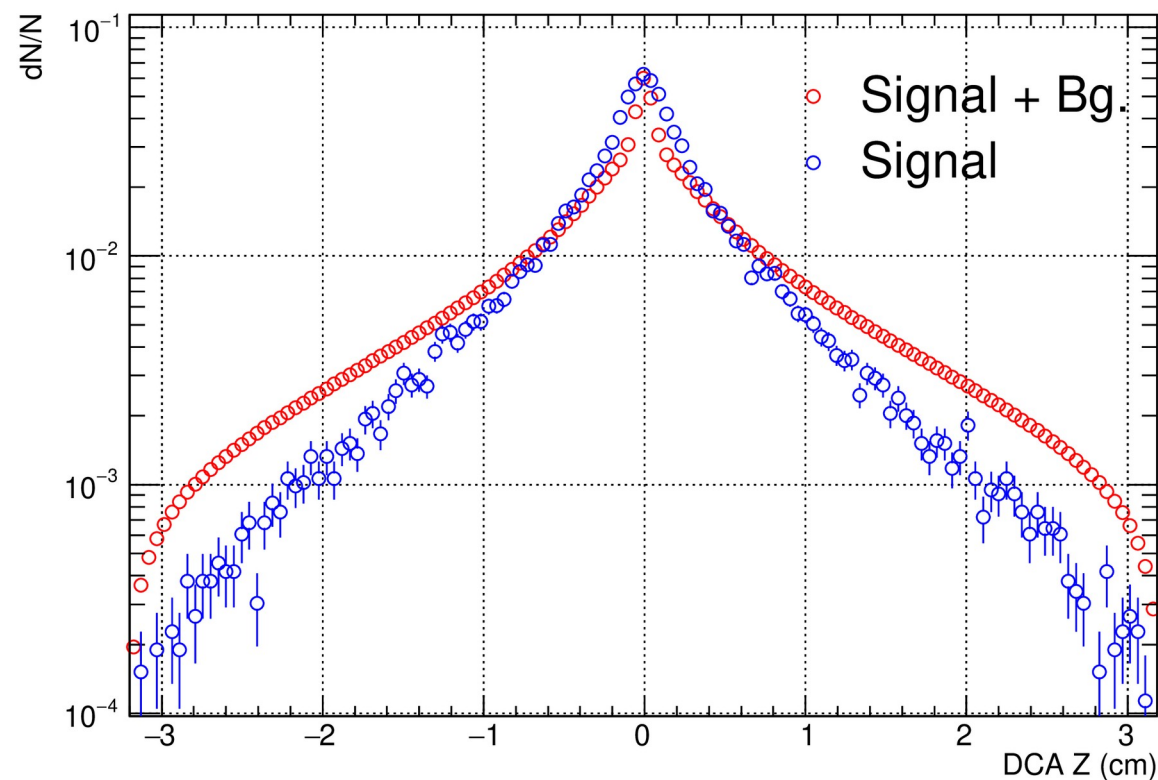


Расстояние между вершинами для Σ^-

Топологические отборы (МК)



DCA между вершиной взаимодействия
и $\pi^\pm$ в плоскости XY



DCA между вершиной взаимодействия
и $\pi^\pm$ по оси Z

Топологические отборы

$$\text{DCA}_{\text{daug}} < 0.029393 - \frac{0.023081}{(p_{\text{T}} - 0.184449)}$$

$$\text{CPA} > 0.998790 - \frac{3.69242 \cdot 10^{-3}}{(p_{\text{T}} - 0.296266)} \quad |\text{DCA}_{\text{XY}}| > -0.11027 + \frac{0.0704179}{p_{\text{T}} + 0.11027}$$

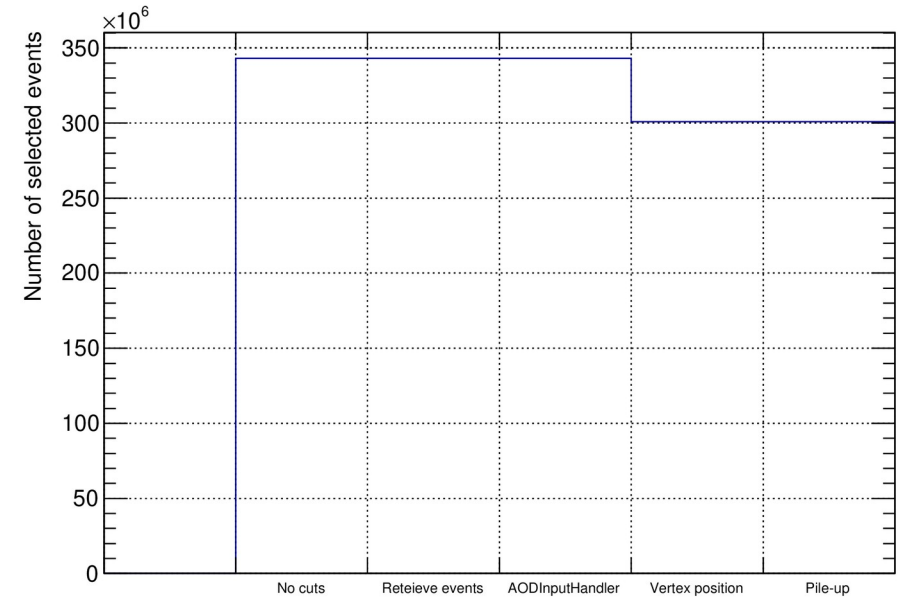
$$\text{DBV}^+ > 4.15714 - \frac{14.5387}{p_{\text{T}} + 3.85203} \quad |\text{DCA}_{\text{Z}}| > 0.048$$

$$\text{DBV}^- > 1.43437 - \frac{0.782708}{p_{\text{T}} + 0.634462}$$

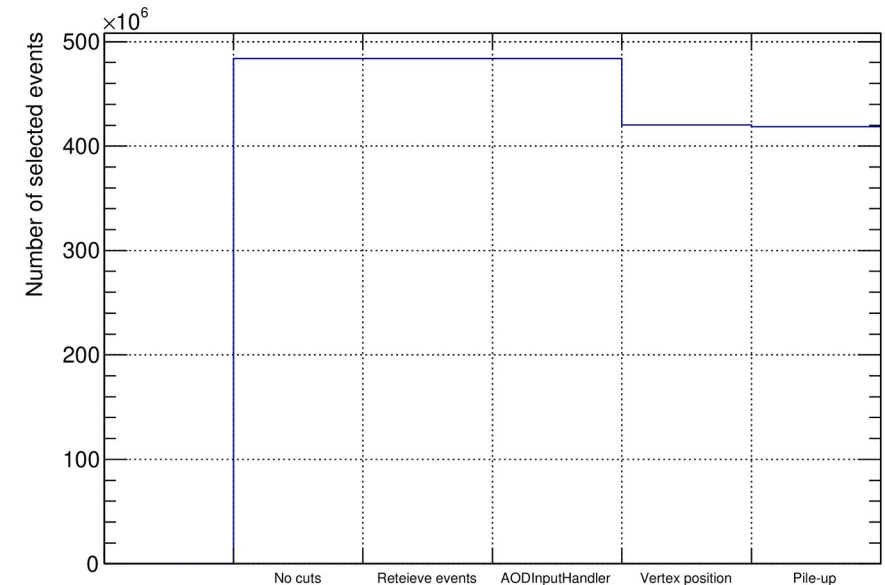
Отбор событий

- p-Pb столкновения $\sqrt{s} = 5.023$ ТэВ
- |Положение вершины по оси Z| ≤ 10 см
- Исключение Pile-up событий

- DPMJET (LHC18f3_cent_1(_2))
- Число отобранных событий (МК):
 $3.035446 \cdot 10^8$
- LHC13b, 13c, 16q, 16t
- Число отобранных событий (данные):
 $4.18379 \cdot 10^8$



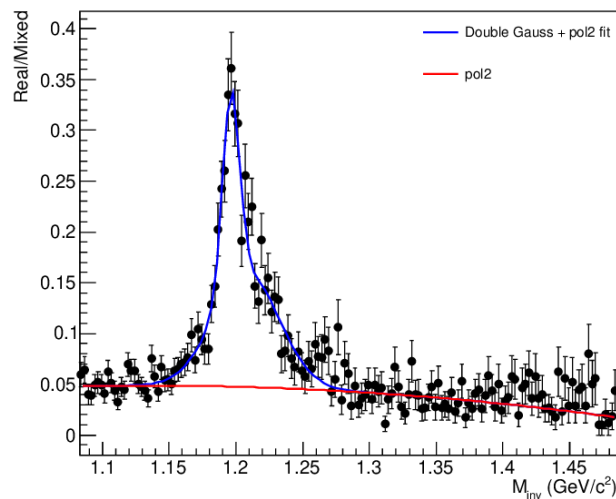
МК события



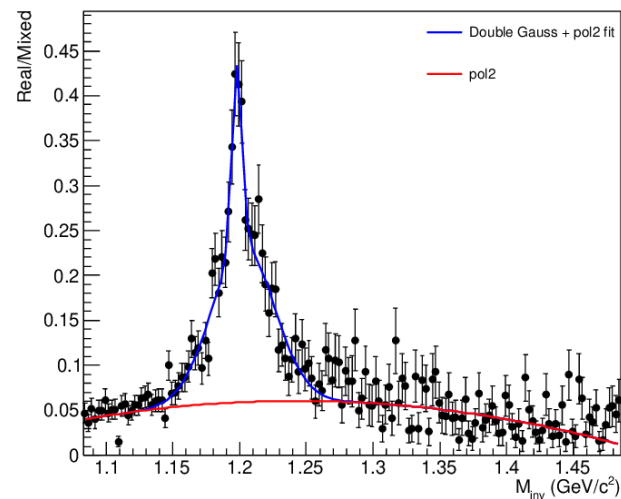
События из данных

Отношение Real к Mixed $\bar{\Sigma}^+(\text{RR, MK})$

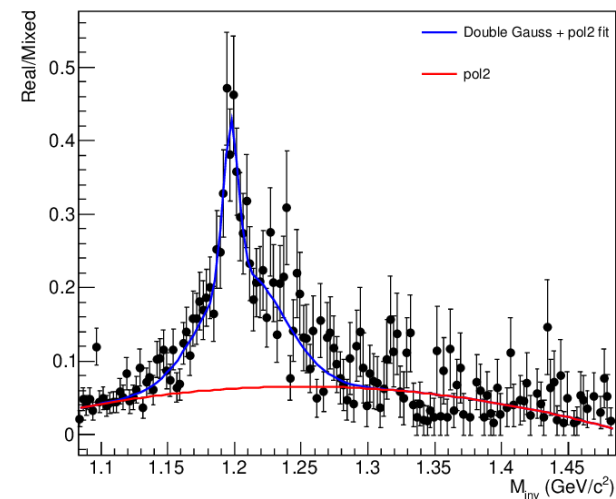
R/M Ratio [0.85-1.10] GeV/c



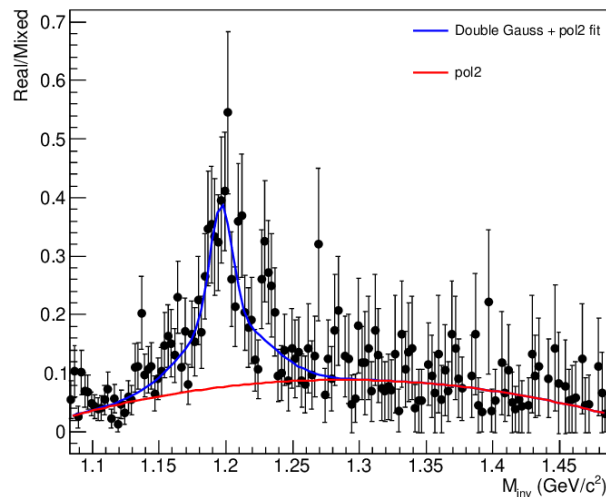
R/M Ratio [1.10-1.50] GeV/c



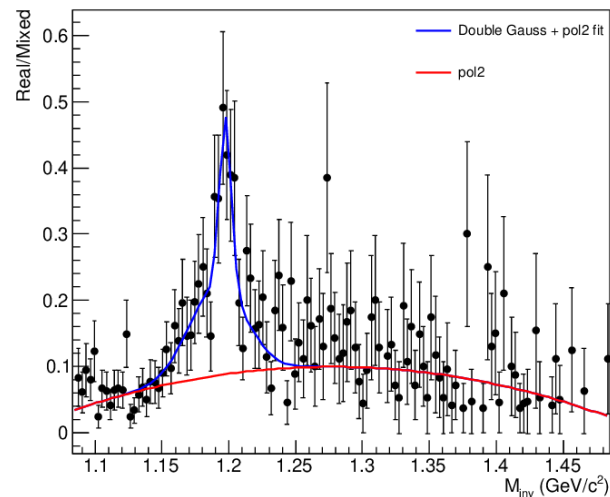
R/M Ratio [1.50-1.90] GeV/c



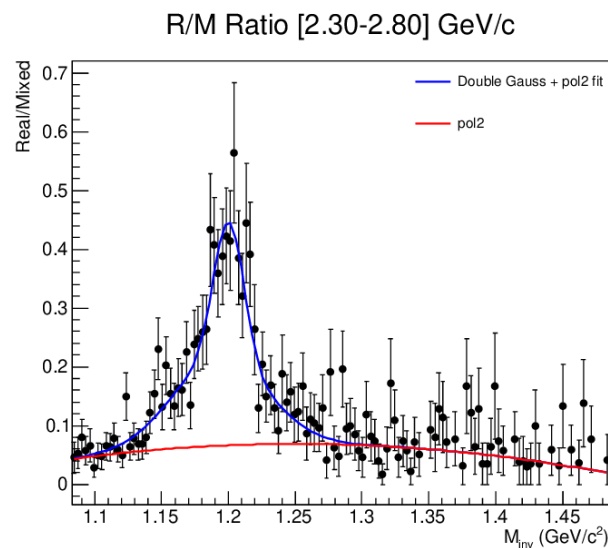
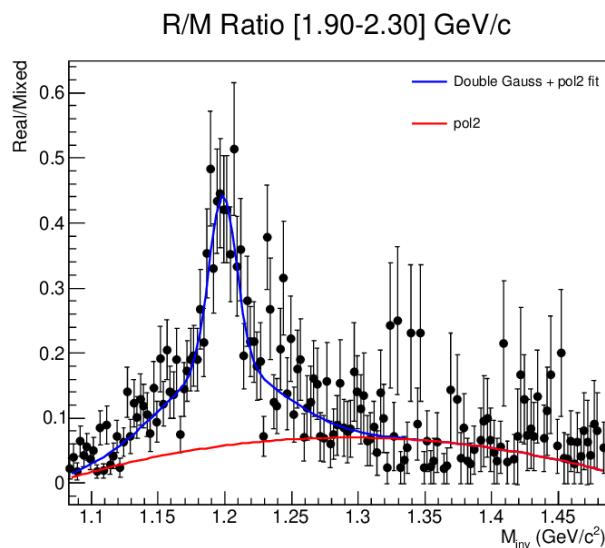
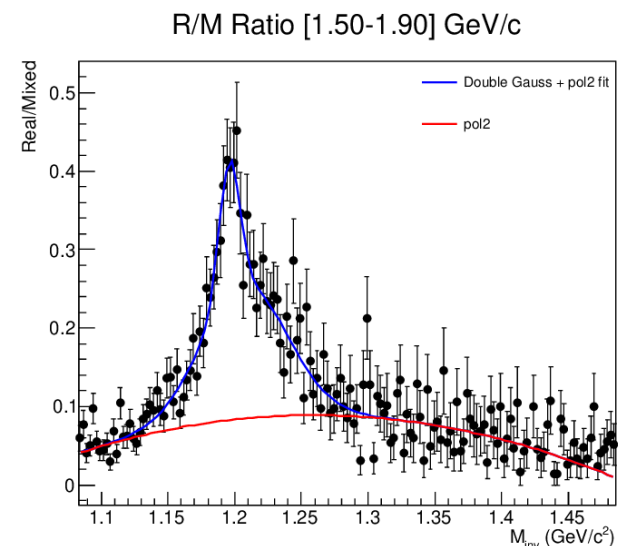
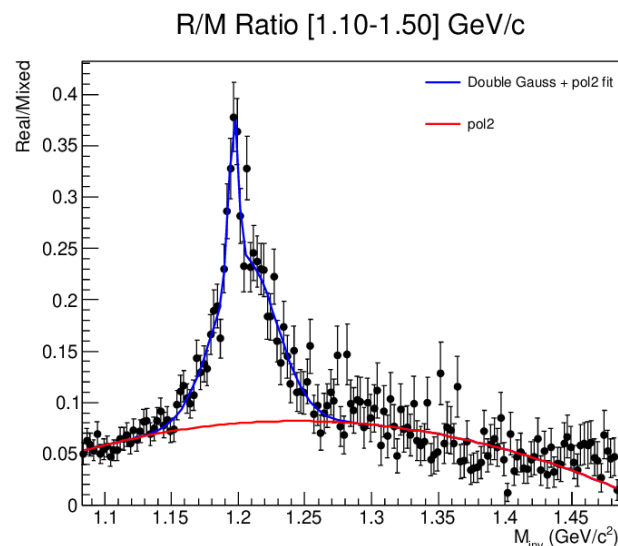
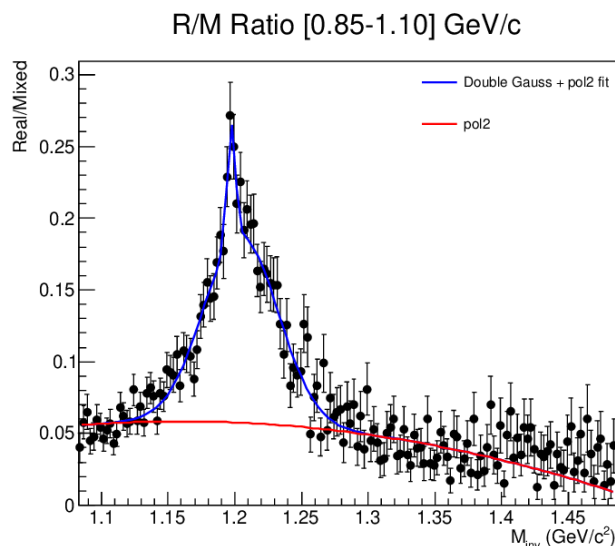
R/M Ratio [1.90-2.30] GeV/c



R/M Ratio [2.30-2.80] GeV/c

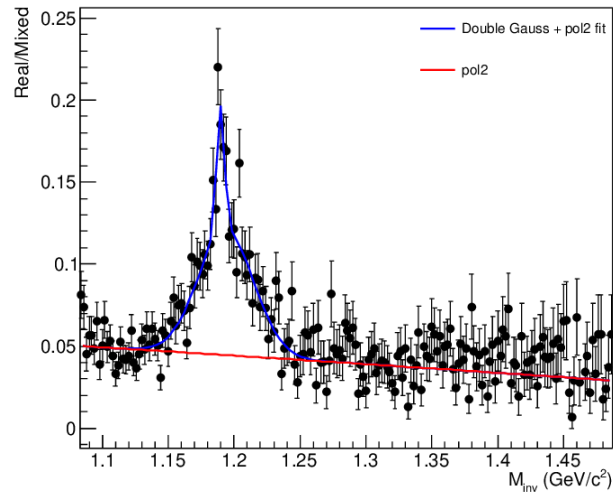


Отношение Real к Mixed $\bar{\Sigma}^+$ (данные)

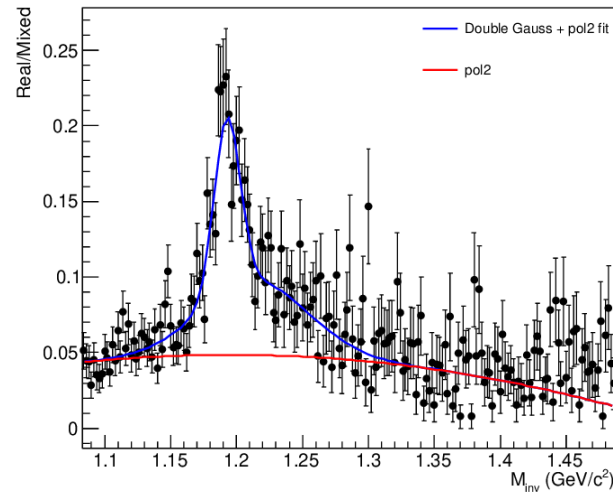


Отношение Real к Mixed $\bar{\Sigma}^-$ (RR, MK)

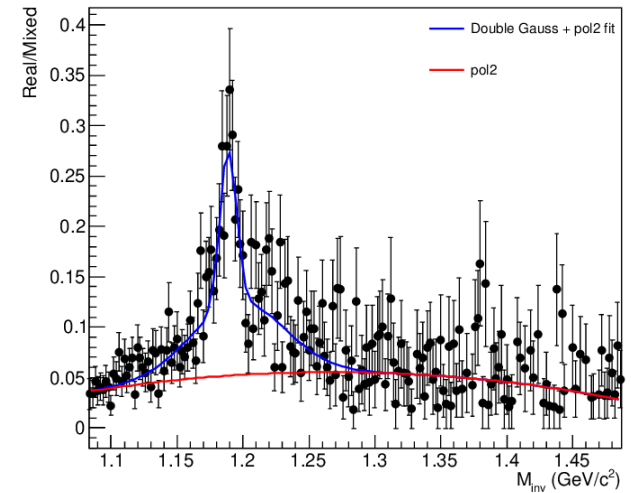
R/M Ratio [0.80-1.10] GeV/c



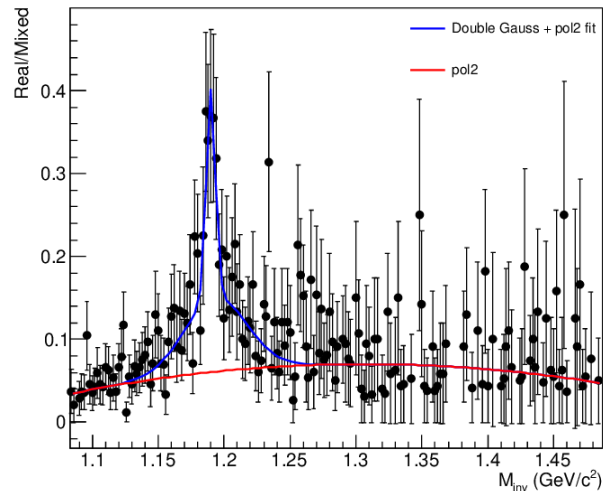
R/M Ratio [1.10-1.50] GeV/c



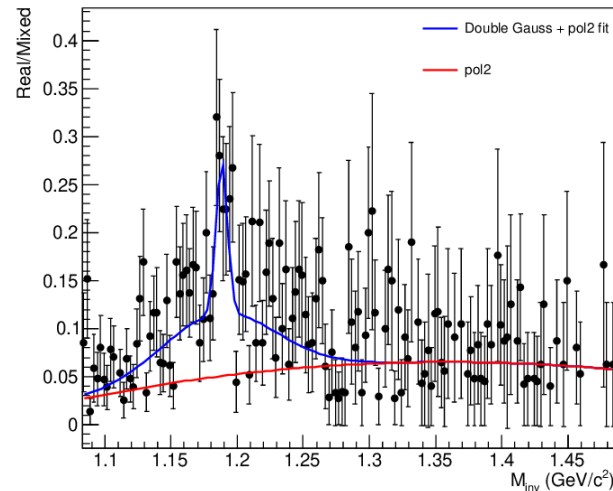
R/M Ratio [1.50-1.90] GeV/c



R/M Ratio [1.90-2.30] GeV/c

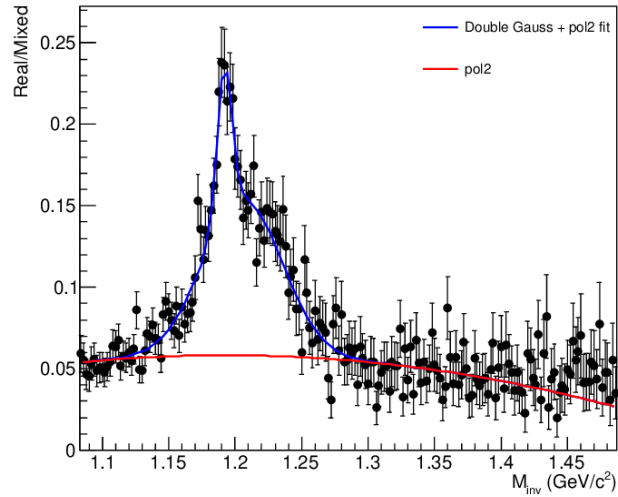


R/M Ratio [2.30-2.80] GeV/c

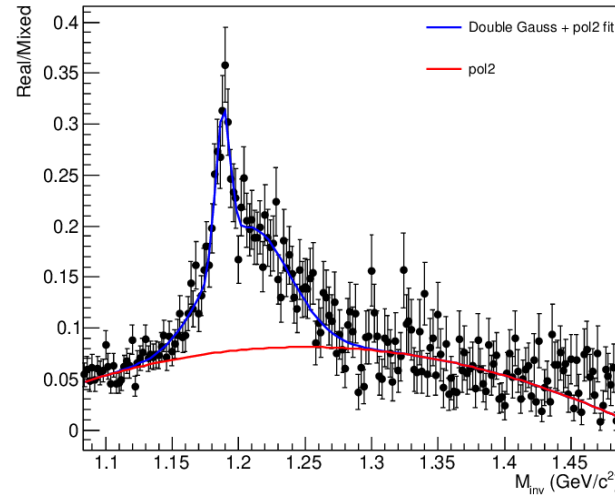


Отношение Real к Mixed $\bar{\Sigma}^-$ (данные)

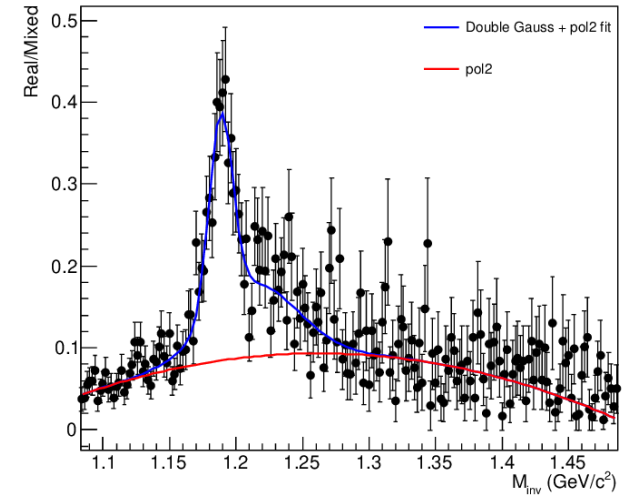
R/M Ratio [0.80-1.10] GeV/c



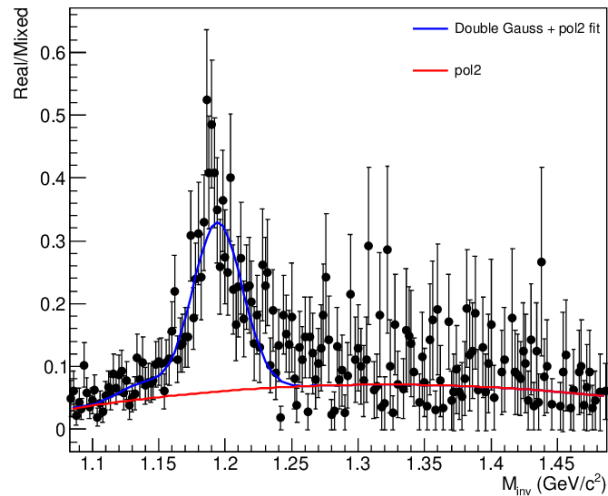
R/M Ratio [1.10-1.50] GeV/c



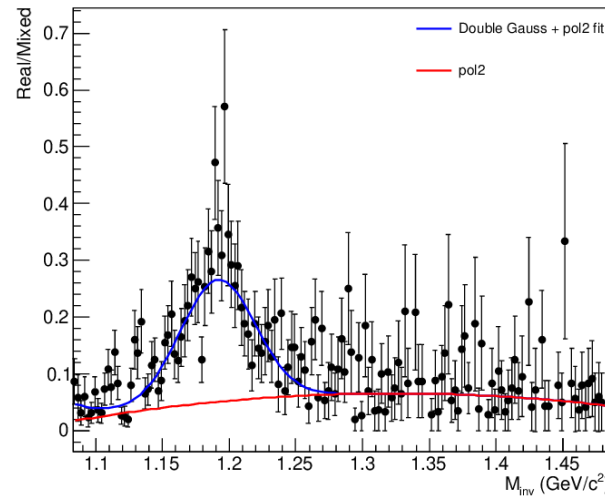
R/M Ratio [1.50-1.90] GeV/c



R/M Ratio [1.90-2.30] GeV/c

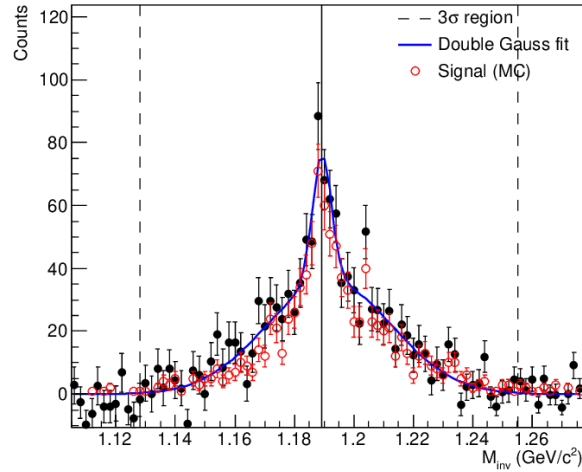


R/M Ratio [2.30-2.80] GeV/c

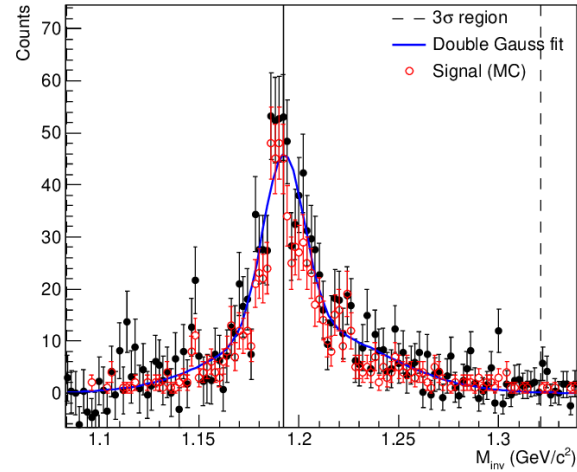


Сигнал для реконструированного импульса кластера $\bar{\Sigma}^-$ (RR, МК)

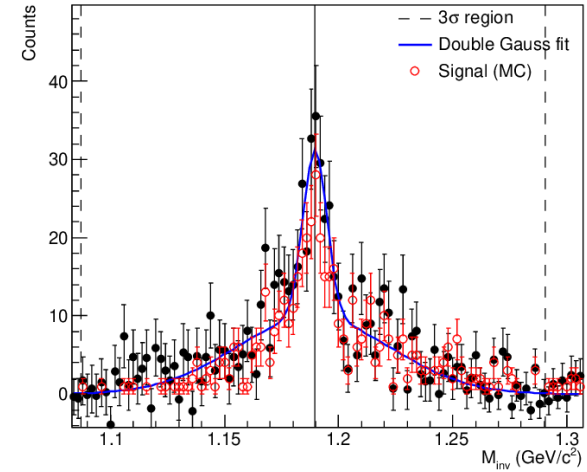
Signal [0.80-1.10] GeV/c



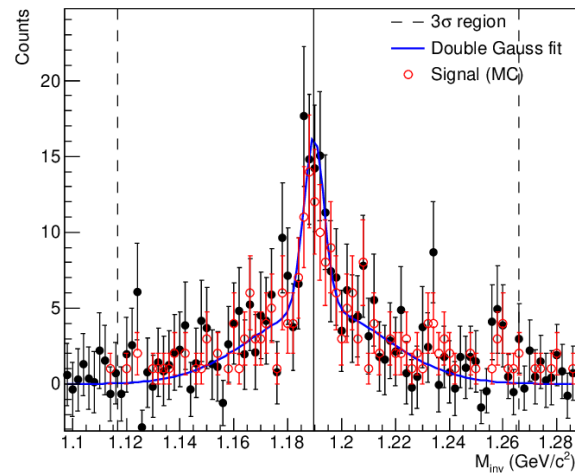
Signal [1.10-1.50] GeV/c



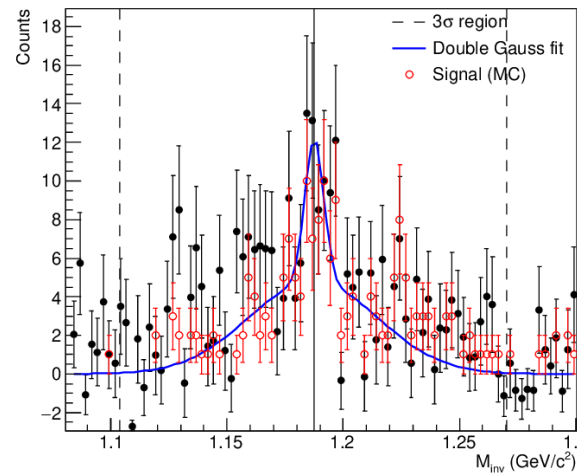
Signal [1.50-1.90] GeV/c



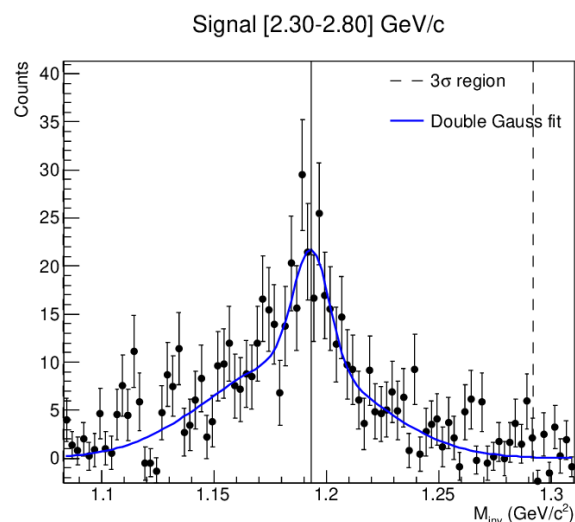
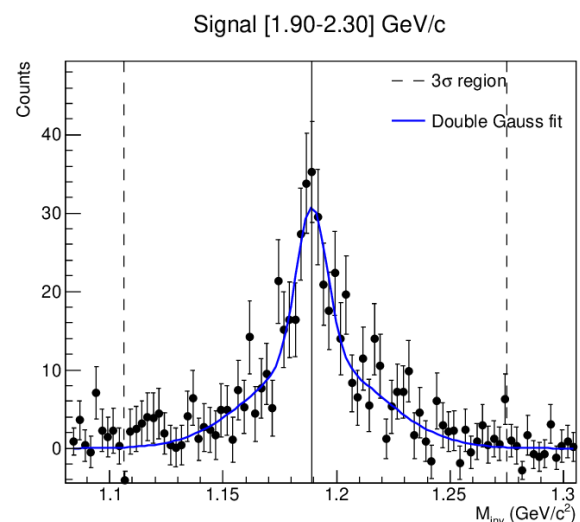
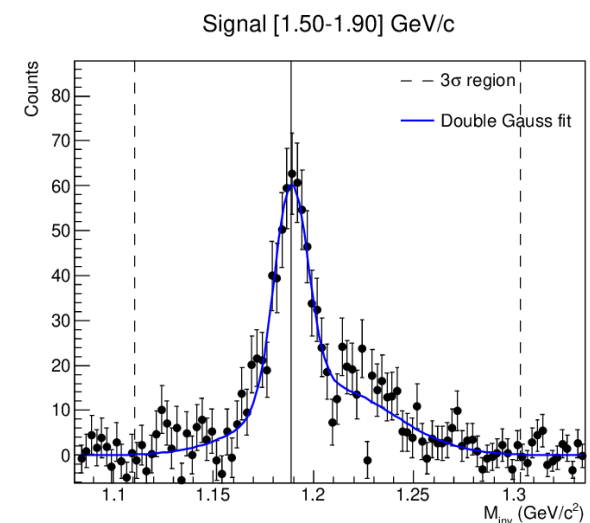
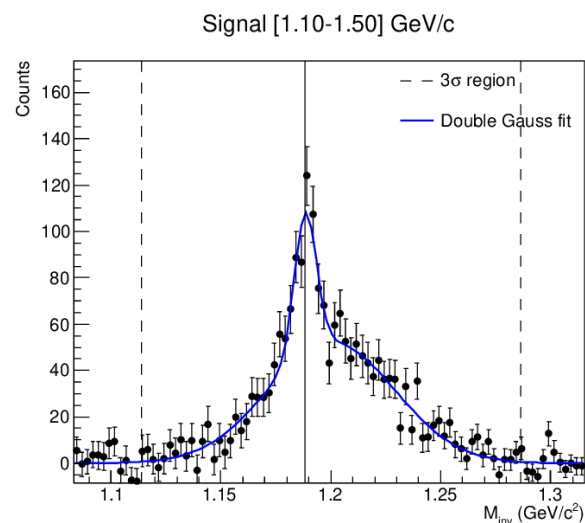
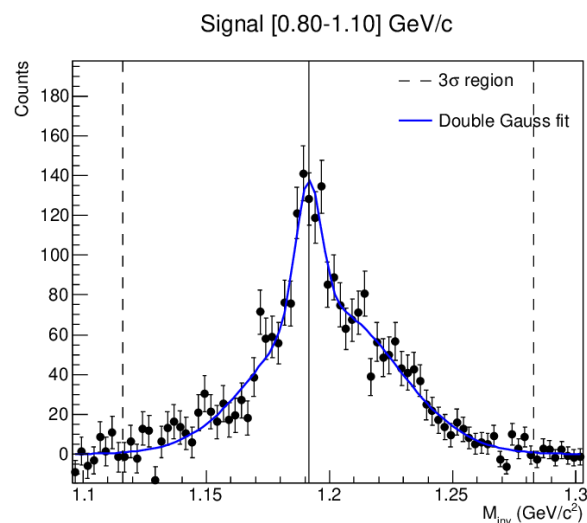
Signal [1.90-2.30] GeV/c



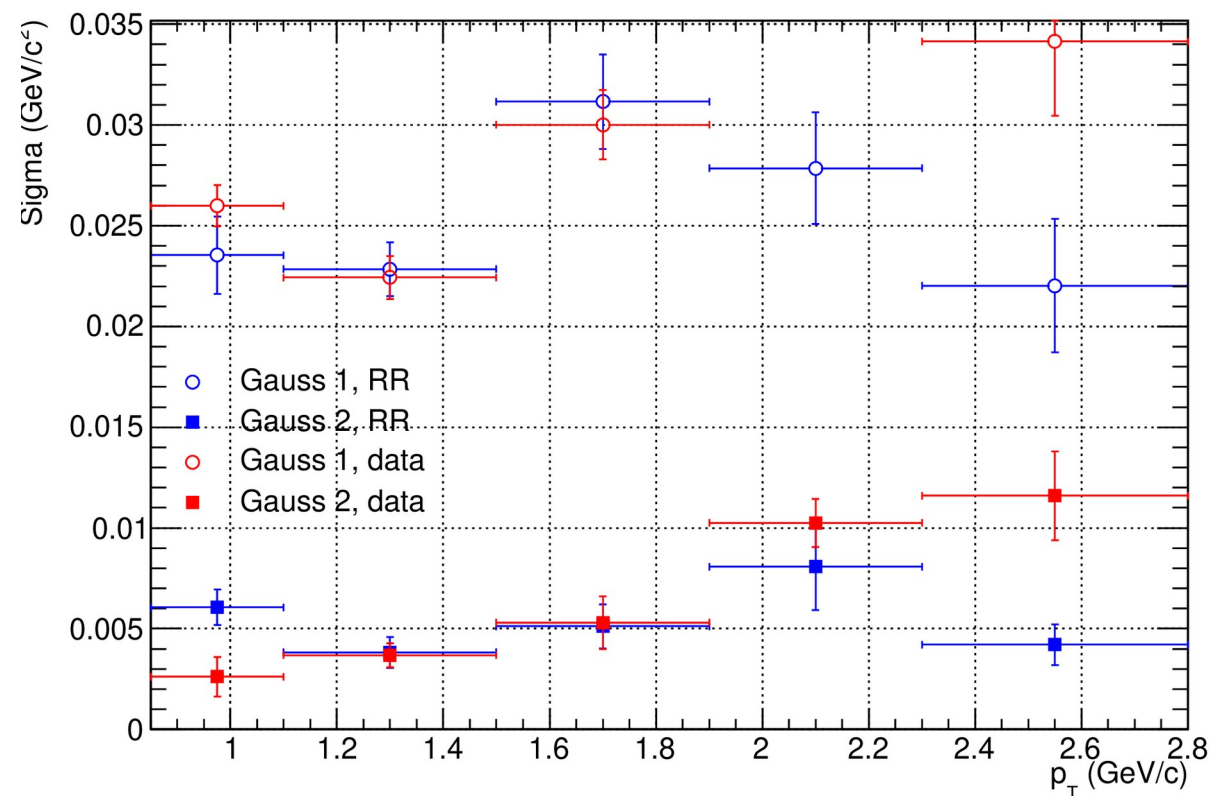
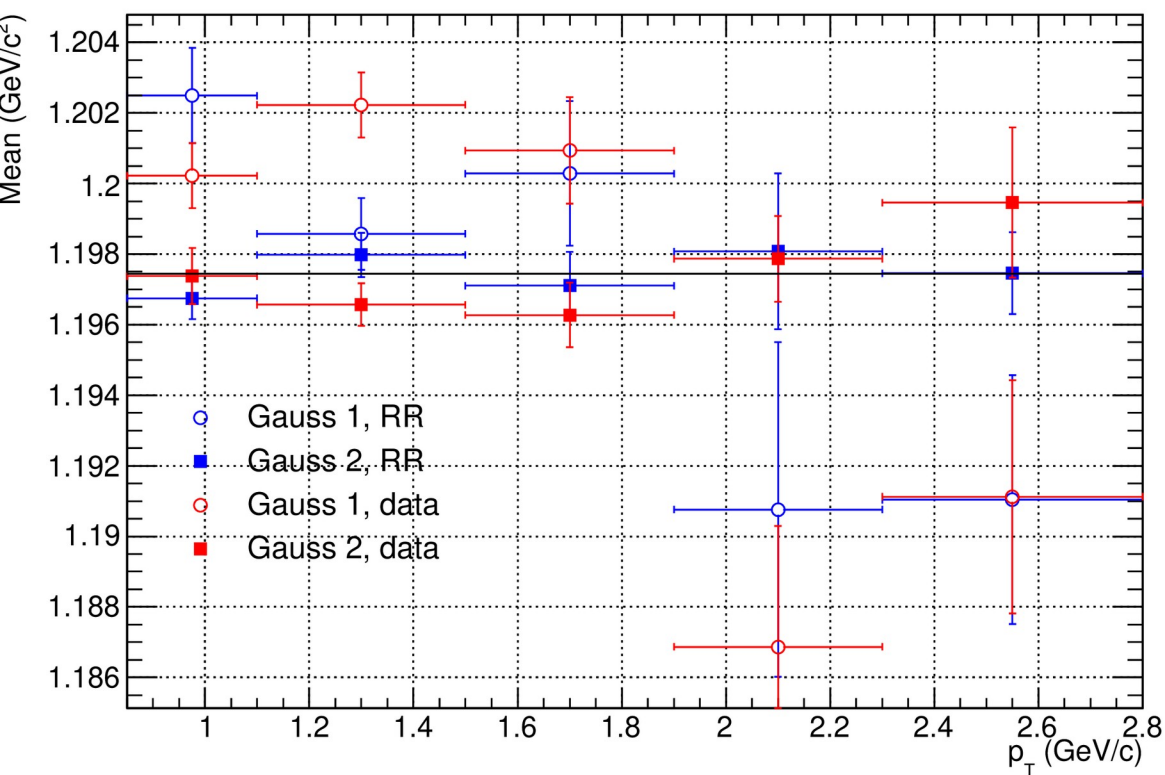
Signal [2.30-2.80] GeV/c



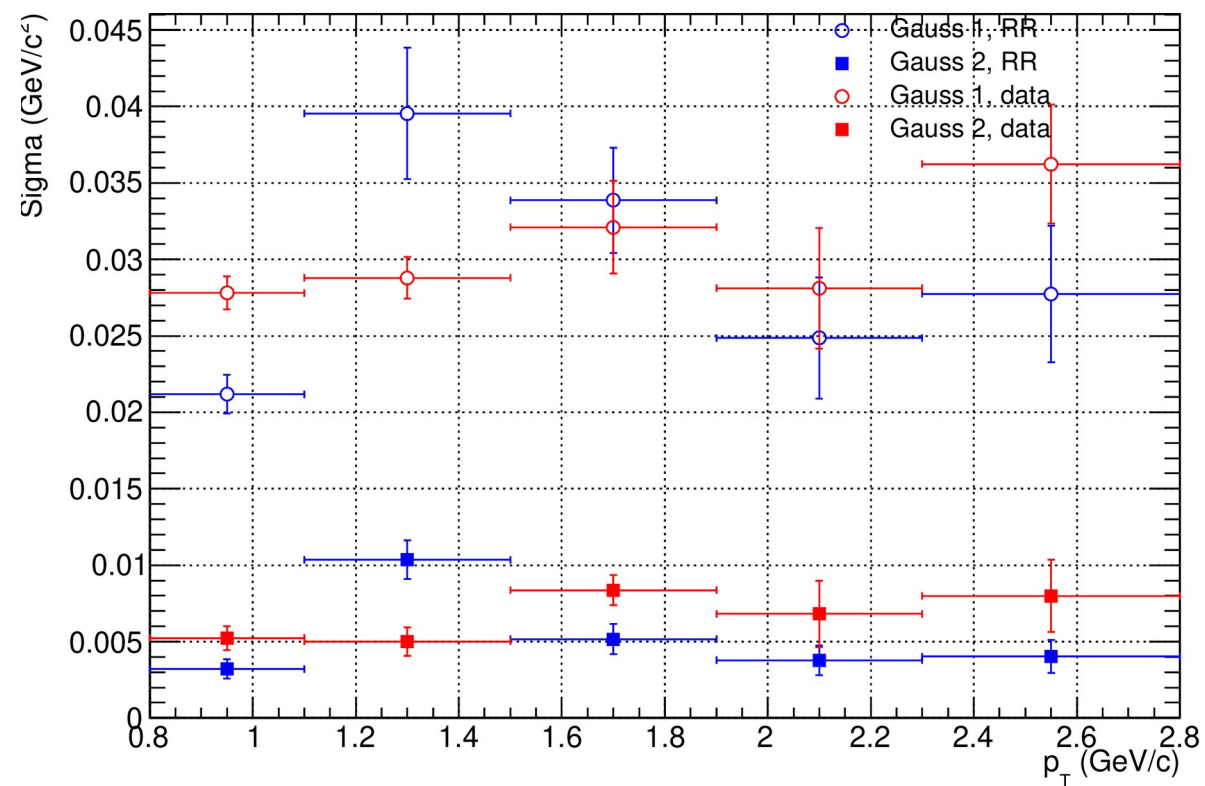
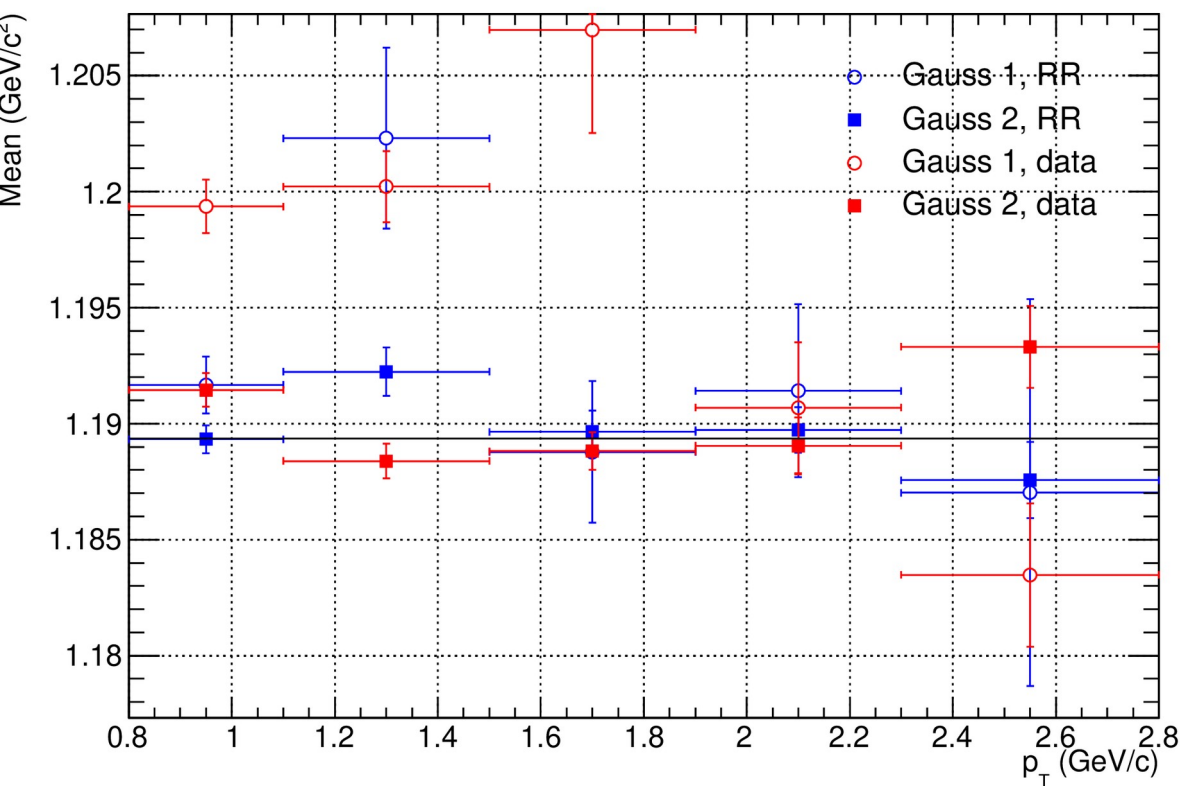
Сигнал для реконструированного импульса кластера Σ^- (данные)



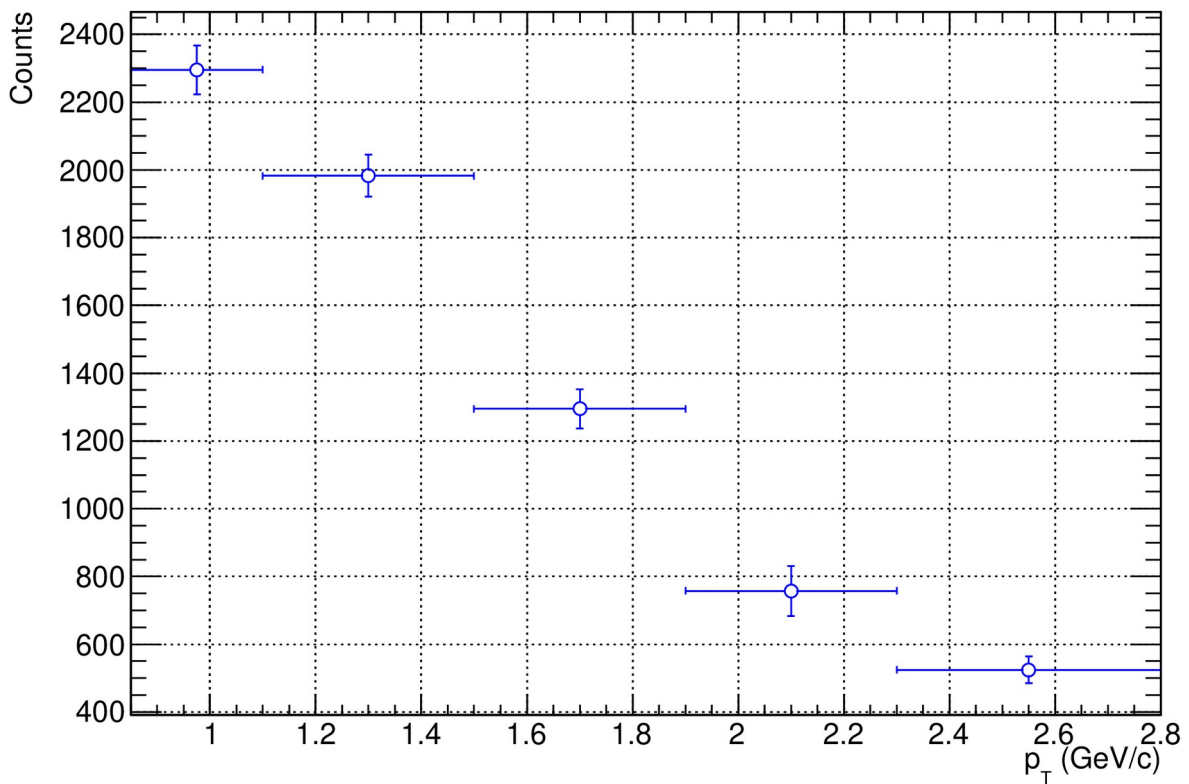
Среднее значение и среднеквадратичное отклонение $\bar{\Sigma}^+$



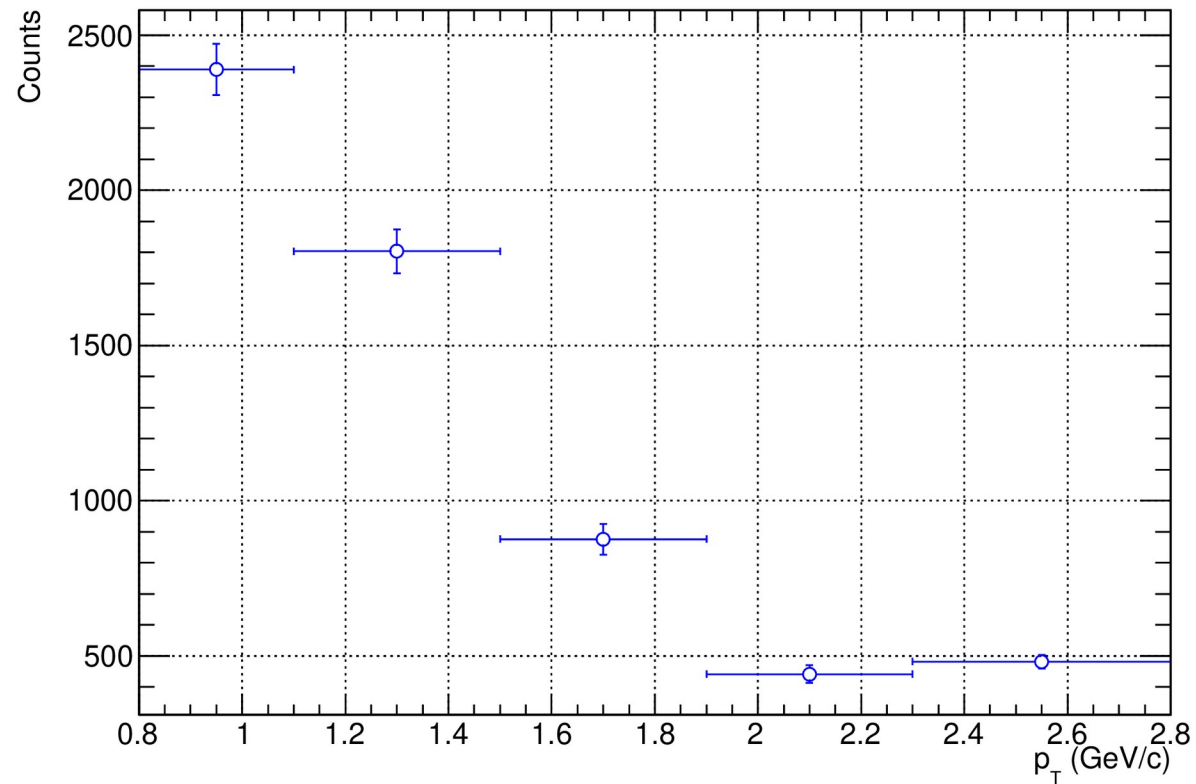
Среднее значение и среднее квадратичное отклонение $\bar{\Sigma}^-$



Сырой выход

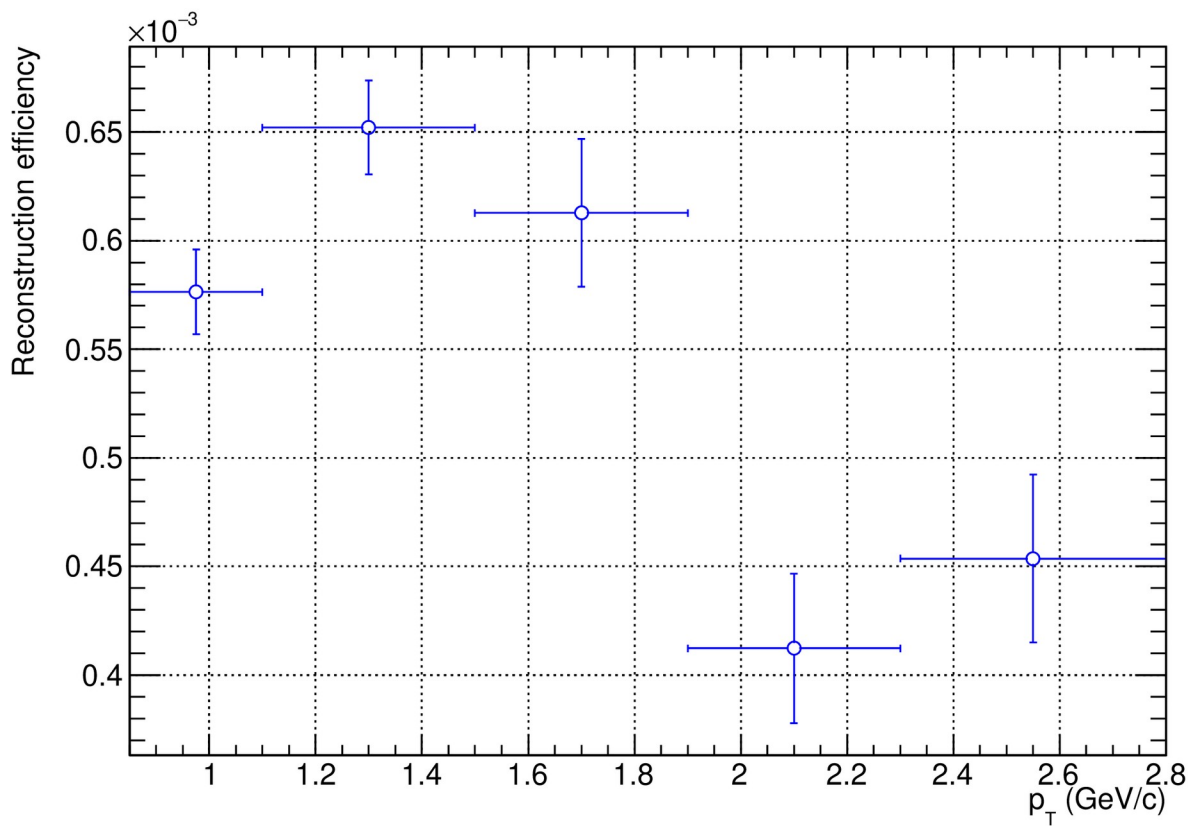


$\bar{\Sigma}^+$

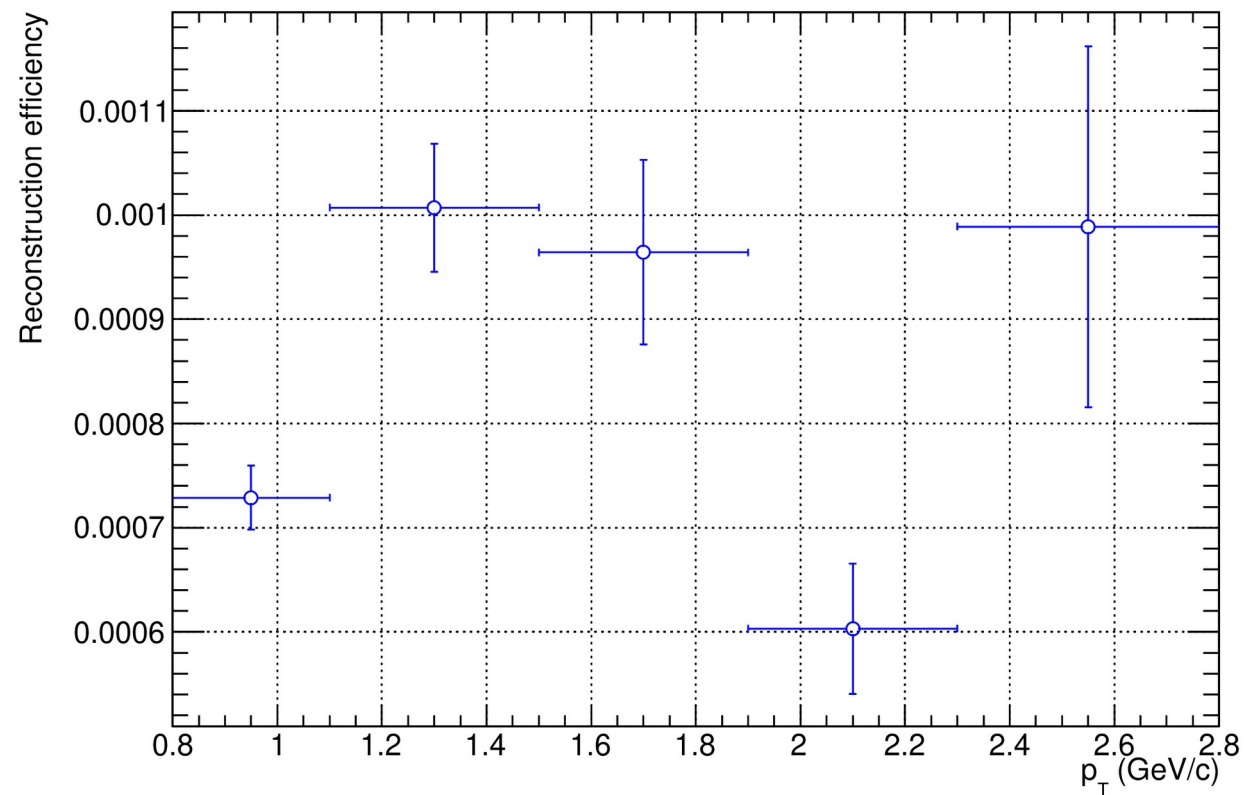


$\bar{\Sigma}^-$

Эффективность реконструкции

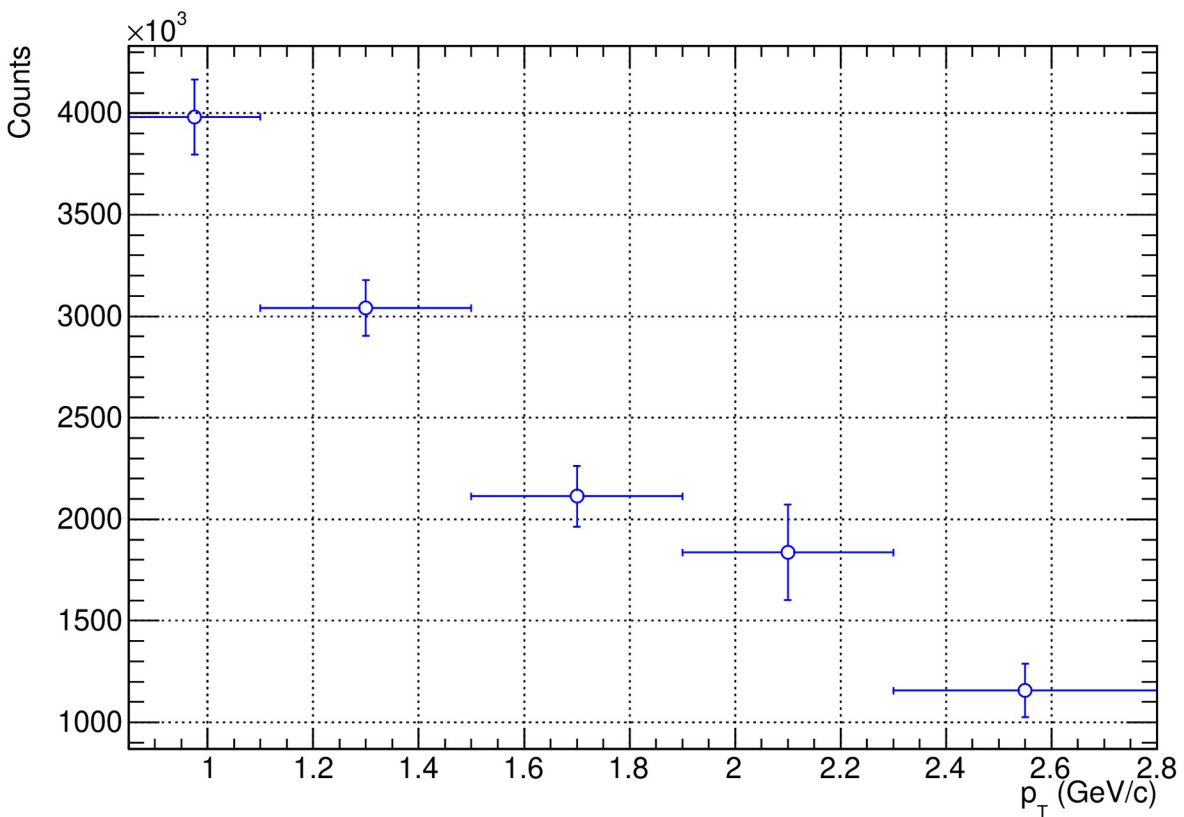


Σ^+

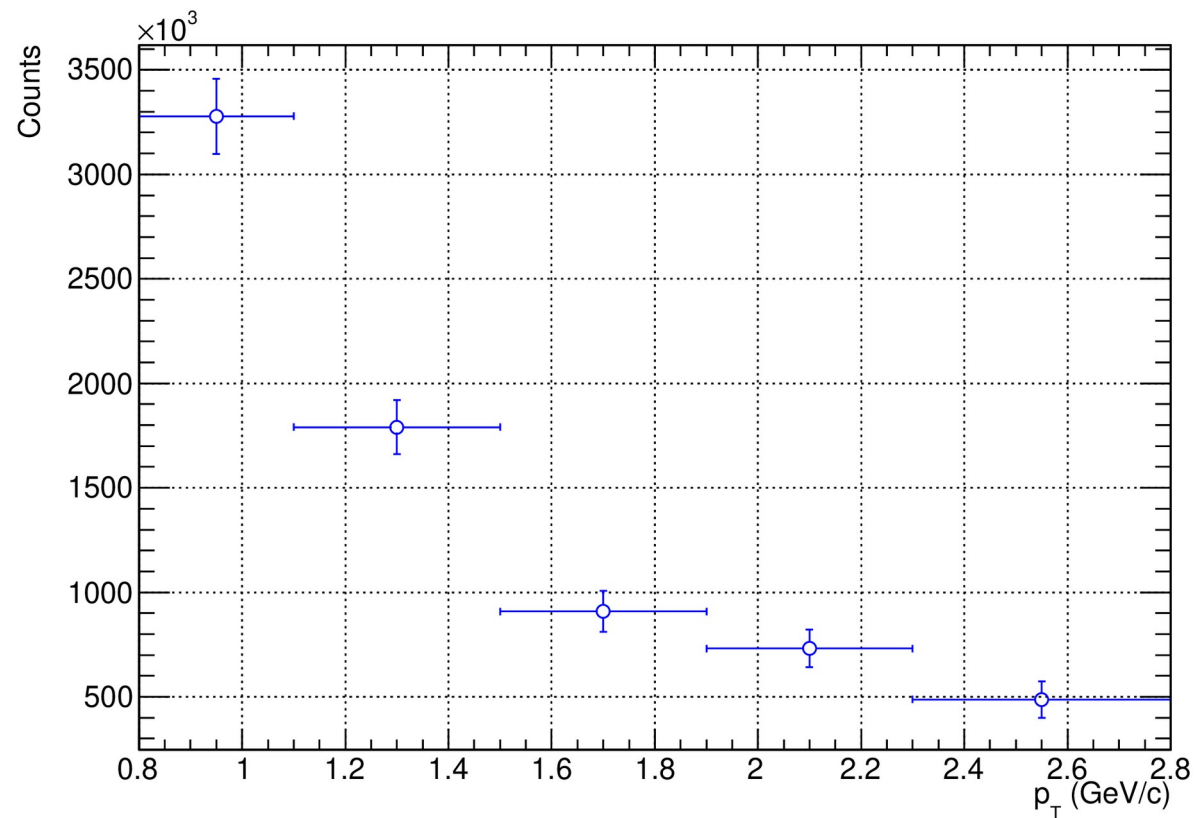


Σ^-

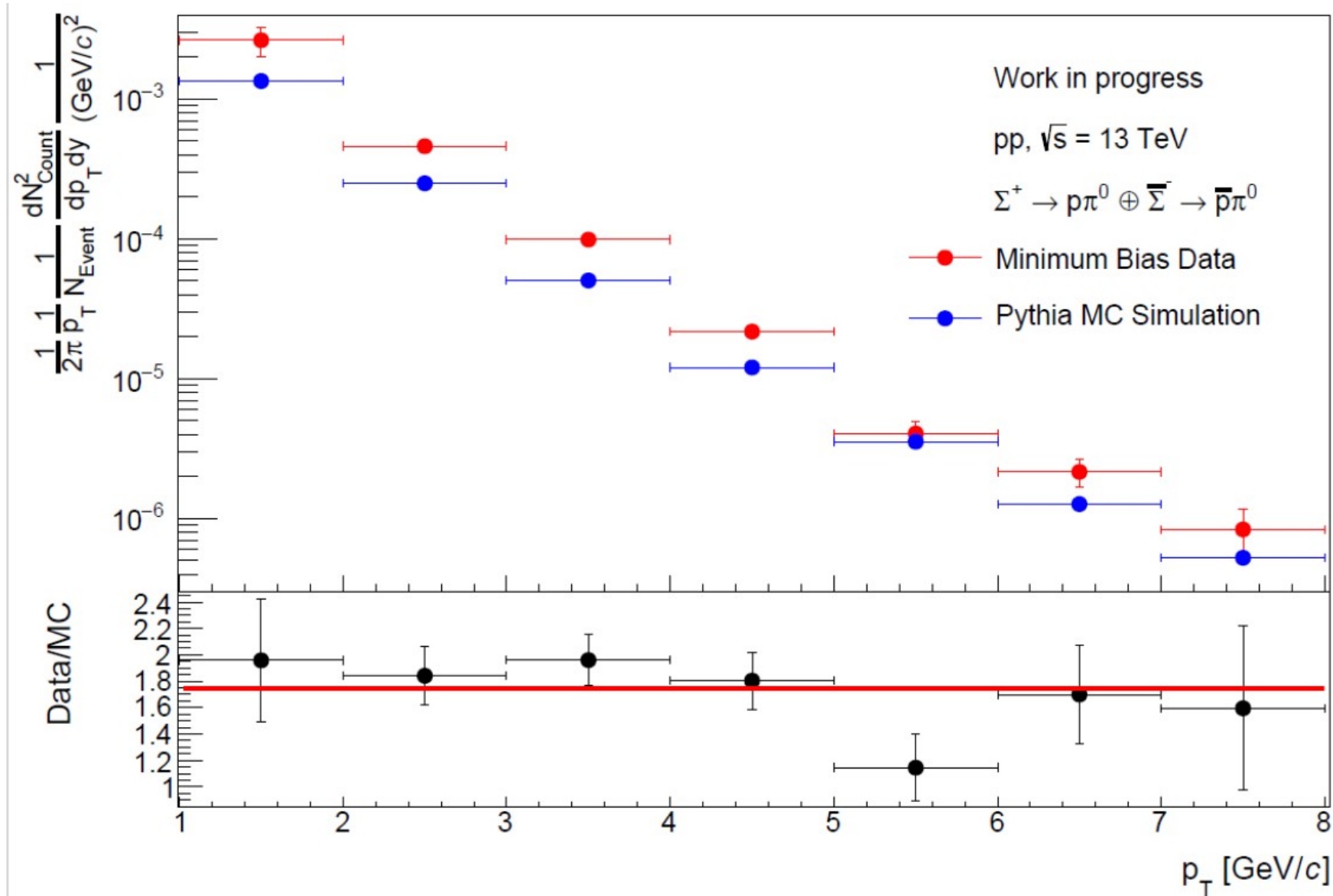
Скорректированный выход



Σ^+



Σ^-



by Benedict Heybeck (Goethe University Frankfurt (DE)) <https://indico.cern.ch/event/1158743/>