

# Сравнение методов определения центральности в столкновениях $\text{Xe}+\text{CsI}$ при энергии $3.8\text{A}$ ГэВ в эксперименте $\text{BM@N}$

Идрисов Дим, Николай Карпушкин, Парфенов Петр, Федор Губер

ИЯИ РАН

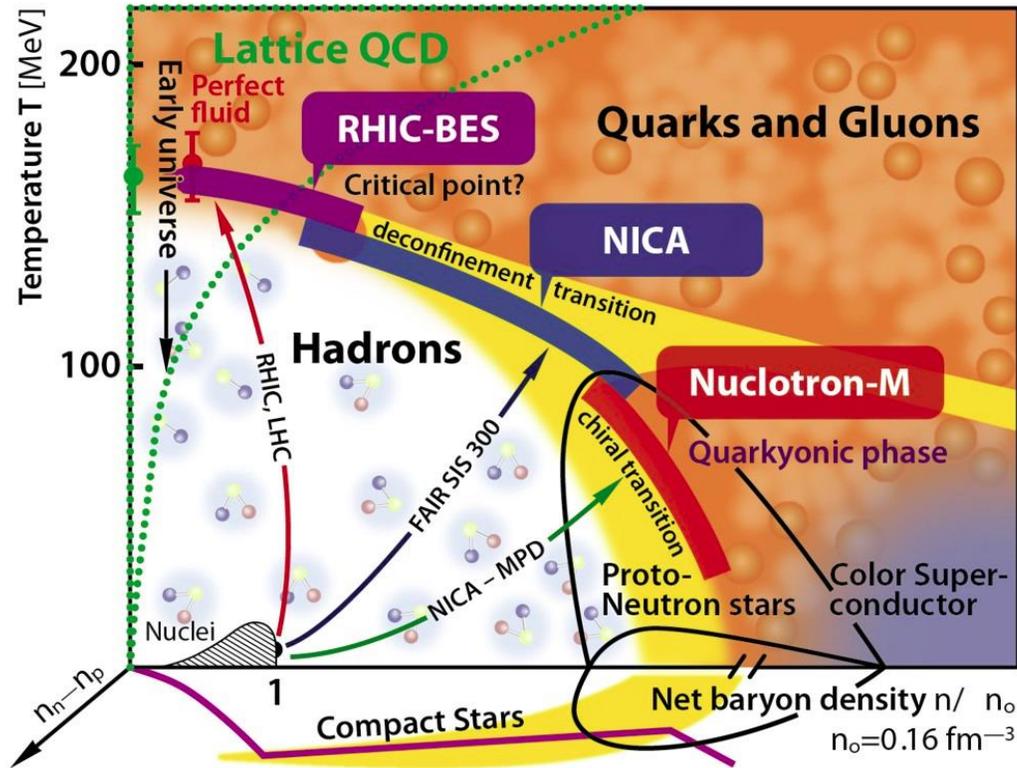


Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН  
РАН, посвященная 70-летию со дня рождения Валерия  
Анатольевича Рубакова



17-21 февраля 2025

# Ускорительный комплекс NICA



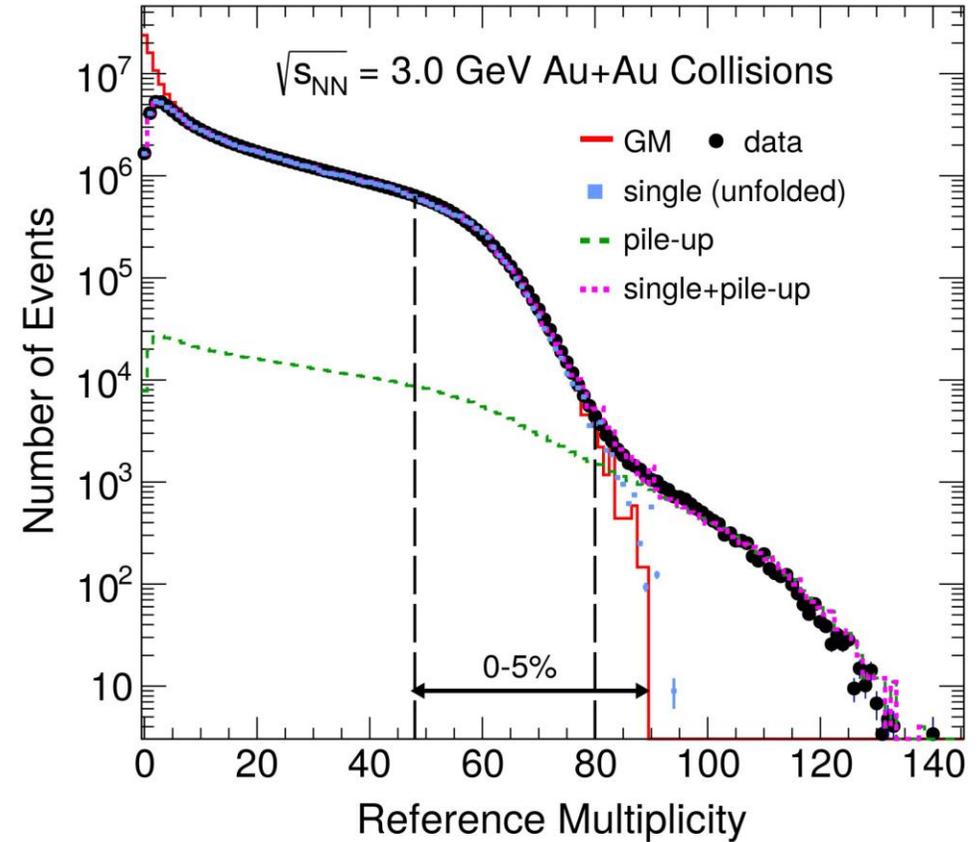
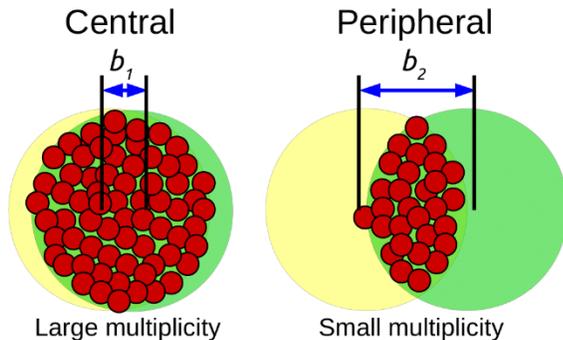
- **Высокие энергии ( $\sqrt{s_{NN}} > 100 \text{ GeV}$ ):**
  - Высокая  $T$ ,  $\mu_B \approx 0$ , Эволюция ранней вселенной
- **Низкие энергии ( $2.4 < \sqrt{s_{NN}} < 11 \text{ GeV}$ ):**
  - Средние  $T$ , высокая  $\mu_B$ , внутренняя структура компактных звезд, слияния нейтронных звезд

- **Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N)** – эксперимент с фиксированной мишенью, первый физический сеанс Xe+Csl 2022-2023
- **Multi-Purpose Detector (MPD)** – запуск 2025-2026
- **Spin Physics Detector (SPD)** – возможность работать с поляризованными пучками дейтронов

# Определение центральности в эксперименте

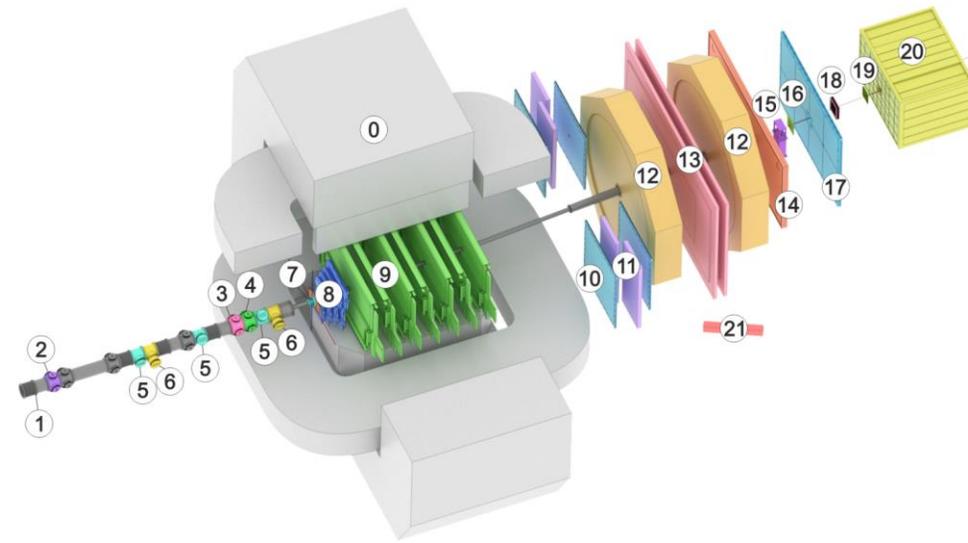
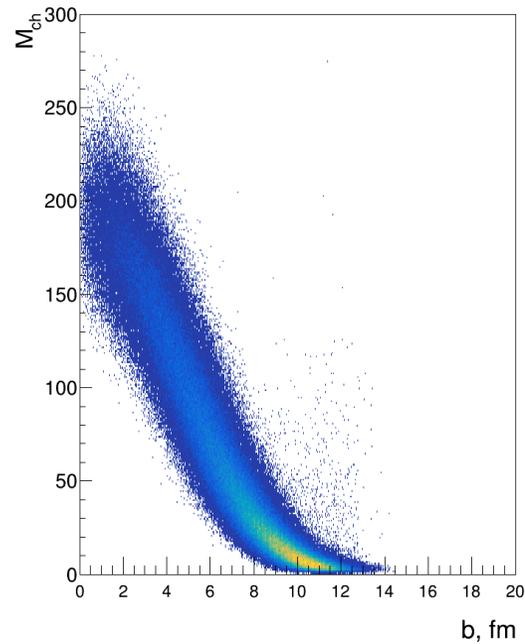
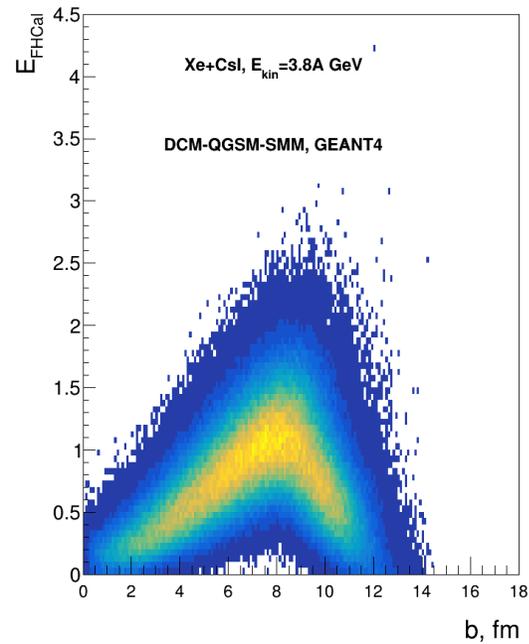
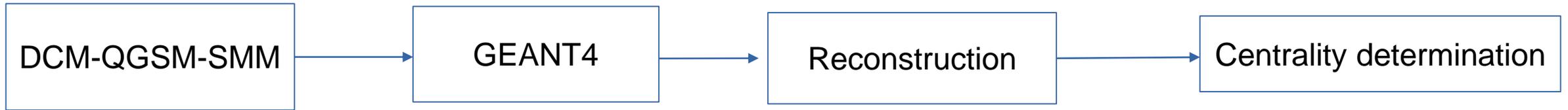
- Эволюция материи, образующейся при столкновениях тяжелых ионов, зависит от ее начальной геометрии
- Процедура определения центральности сопоставляет параметры начальной геометрии с измеряемыми величинами (множественность или энергия нуклонов спектаторов).
- Это позволит сравнить будущие результаты **BM@N** с данными из других экспериментов (STAR BES, NA49/NA61) и теоретическими моделями

$$c(b) = \frac{\int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'}{\int_0^\infty \frac{d\sigma}{db'} db'} = \frac{1}{\sigma_{A-A}} \int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'$$



Распределение множественности (черные маркеры) для области  $-0.5 < y < 0$  и  $0.4 < p_T < 2.0 \text{ ГэВ/с}$ , GM (красная гистограмма), а также результаты для пайлапа и без него.

# Определение центральности в эксперименте BM@N



- 0 Magnet SP-41
- 1 Vacuum Beam Pipe
- 2-4 BC1, VC, BC2
- 5, 6 SiBT, SiProf
- 7 Triggers: BD + SiMD
- 8, 9 FSD, GEM
- 10 CSC 1x1 m<sup>2</sup>
- 11 TOF 400
- 12 DCH
- 13 TOF 700
- 14 ScWall
- 15 FD
- 16 Small GEM
- 17 CSC 2x1.5 m<sup>2</sup>
- 18 Beam Profilometer
- 19 FQH
- 20 FHCAL
- 21 HGN

Корреляция энергии спектров в FHCAL и множественности треков заряженных частиц с прицельным параметром

BM@N setup overview

# Метод прямой реконструкции(Г-fit): основные положения

Флуктуации множественности рожденных частиц при фиксированном прицельном параметре описываются Гамма распределением:

$$P(M | c_b) = \frac{1}{\Gamma(k(c_b))\theta^2} M^{k(c_b)-1} e^{-M/\theta}$$

$$c_b = \int_0^b P(b') db' \quad \text{– центральность по имп. параметру}$$

$$\theta = \frac{D(M)}{\langle M \rangle}, \quad k = \frac{\langle M \rangle}{\theta}$$

$\langle M \rangle, D(M)$  – средние значение и дисперсия множественности

$$\langle M \rangle = m_1 \cdot \langle M' \rangle$$

$$D(M) = m_1^2 \cdot D(M') + m_1 \cdot m_2 \langle M' \rangle$$

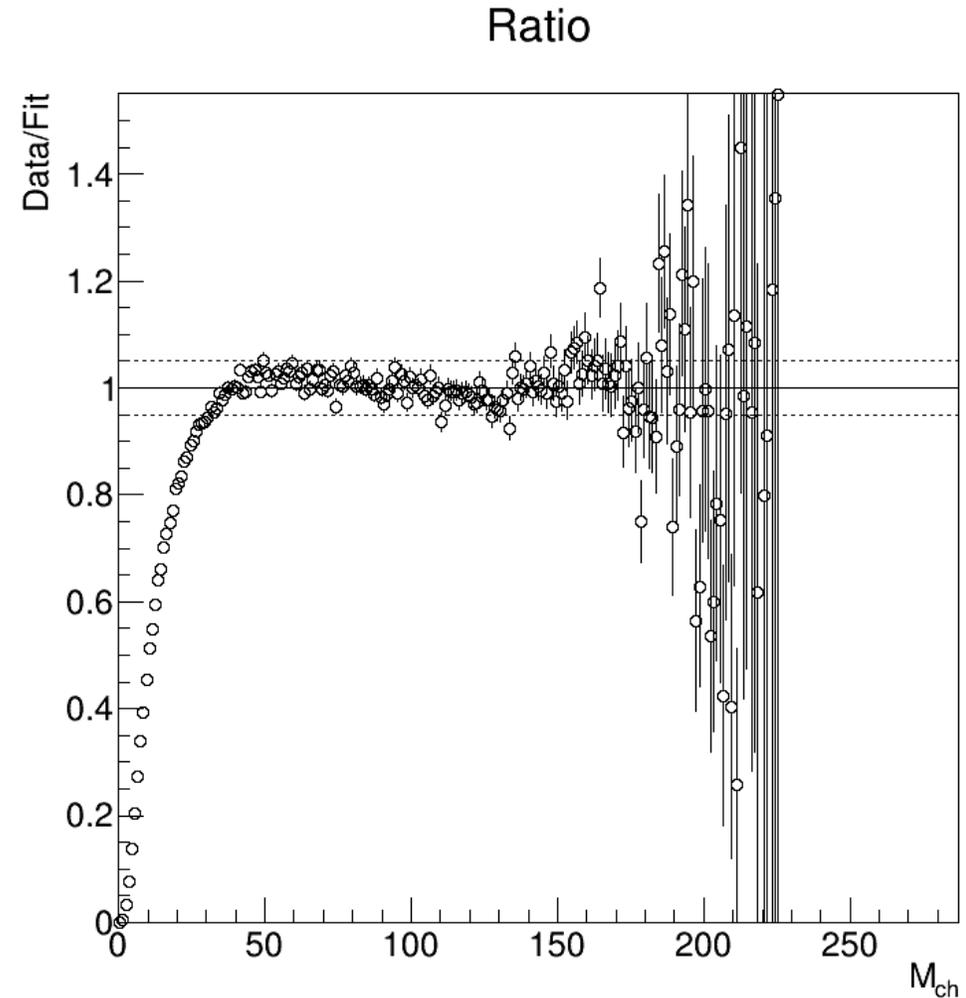
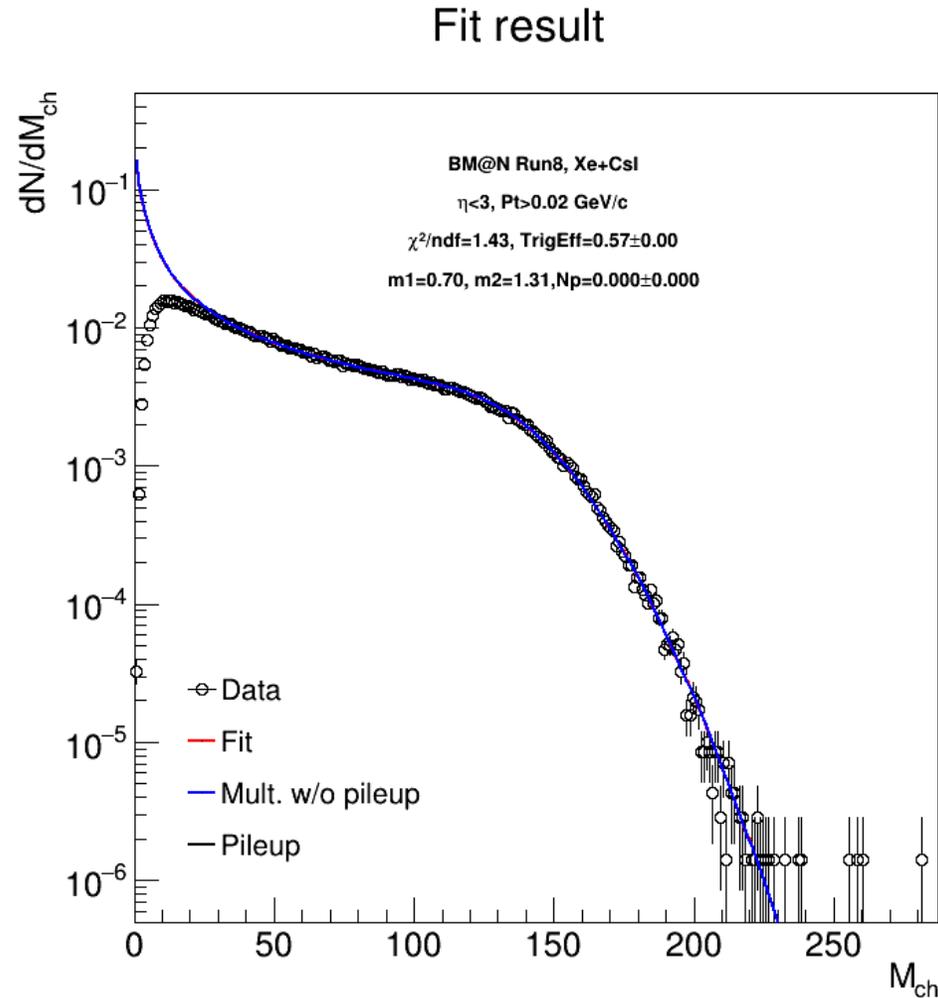
$m_1, m_2$  – Параметры фита

$\langle M'(c_b) \rangle$  – средние значение и дисперсия  
 $D(M'(c_b))$  Множественности из модели

- Аппроксимируются с помощью полиномов или других гладких функций

$$P(M) = \int_0^{b_{\max}} P(M | b) P(b) db = \int_0^1 P(M | c_b) dc_b$$

# Результаты фита



Vertex Cuts:  $CCT2$ ,  $N_{vtXTr} > 1$ ,  $|V_{x,y} - (0.3, 0.14)| < 1$  cm,  $|V_z - 0.07| < 0.1$  cm

Track selection:  $N_{hit} > 4$ ,  $\eta < 3$ ,  $Pt > 0.02$  GeV/c

Хорошее согласие фита с данными

# Метод прямой реконструкции: двумерный случай

- флуктуационное ядро может быть описано двумерным Гамма распределением

$\langle E'(c_b) \rangle$  – средние значение и дисп. энергии  
 $D(E'(c_b))$  из реконструированных данных

$$P(E, M | c_b) = G_{2D}(E, M, \langle E \rangle, \langle M \rangle, D(E), D(M), R)$$

$$\langle E \rangle = \varepsilon_1 \langle E'(c_b) \rangle + \varepsilon_0, \quad D(E) = \varepsilon_2 D(E'(c_b))$$

$$\langle M \rangle = m_1 \langle M'(c_b) \rangle, \quad D(M) = m_1^2 \cdot D(M') + m_1 \cdot m_2 \langle M' \rangle$$

$$c_b = \int_0^b P(b') db' \quad \text{– центр. на основе приц. параметра}$$

$\langle E \rangle, D(E)$  – средние значение и дисп. энергии

$\langle E'(c_b) \rangle, D(E'(c_b))$  - может быть описано полиномом.

$\langle M \rangle, D(M)$  – средние значение и дисп. множественности

$$\langle E'(c_b) \rangle = \sum_{j=1}^{12} a_j c_b^j, \quad D(E'(c_b)) = \sum_{j=1}^{19} b_j c_b^j$$

$R(E, M)$  – коэффициент корреляции

$$\langle M'(c_b) \rangle = \sum_{j=1}^{12} a_j c_b^j, \quad D(M'(c_b)) = \sum_{j=1}^6 b_j c_b^j$$

$$R(E, M) = \varepsilon_1 \cdot m_1 \cdot R(E', M') \sqrt{\frac{D(E')D(M')}{D(E)D(M)}}$$

$\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, m_1, m_2$   
 - Параметры подгонки

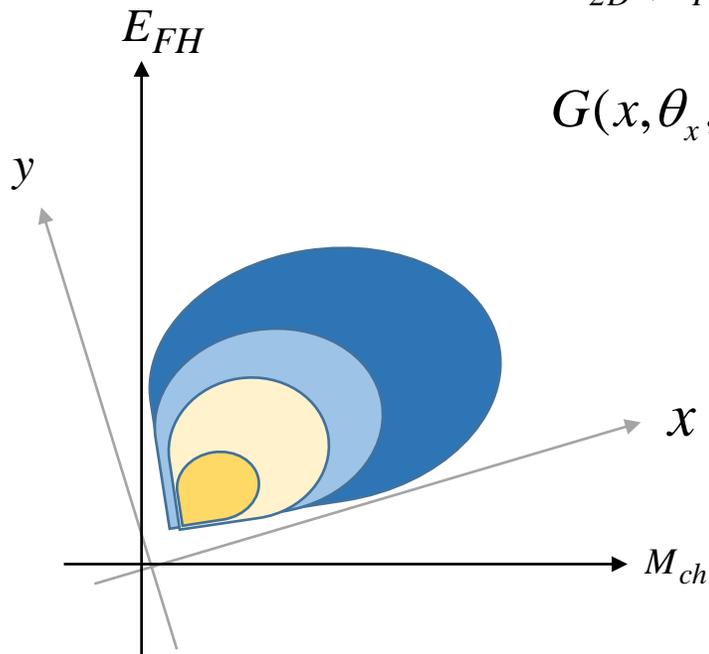
# Двумерное Гамма распределение

С помощью поворота осей, можно найти такую систему координат  $\text{cov}(x, y) = 0$

Тогда двумерное Гамма распределение в новой с.к находится как

$$G_{2D}(E_{FH}, M_{ch}, \langle E \rangle, \langle M \rangle, D(E), D(M), R) = G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y)$$

$$G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y) = \frac{(x)^{k_x(c_b)-1} e^{-x/\theta_x}}{\Gamma(k_x(c_b))\theta_x^2} \cdot \frac{(y)^{k_y(c_b)-1} e^{-y/\theta_y}}{\Gamma(k_y(c_b))\theta_y^2}$$



$$\theta_x = \frac{D(x)}{\langle x \rangle}, \quad k_x = \frac{\langle x \rangle^2}{D(x)}, \quad \theta_y = \frac{D(y)}{\langle y \rangle}, \quad k_y = \frac{\langle y \rangle^2}{D(y)}$$

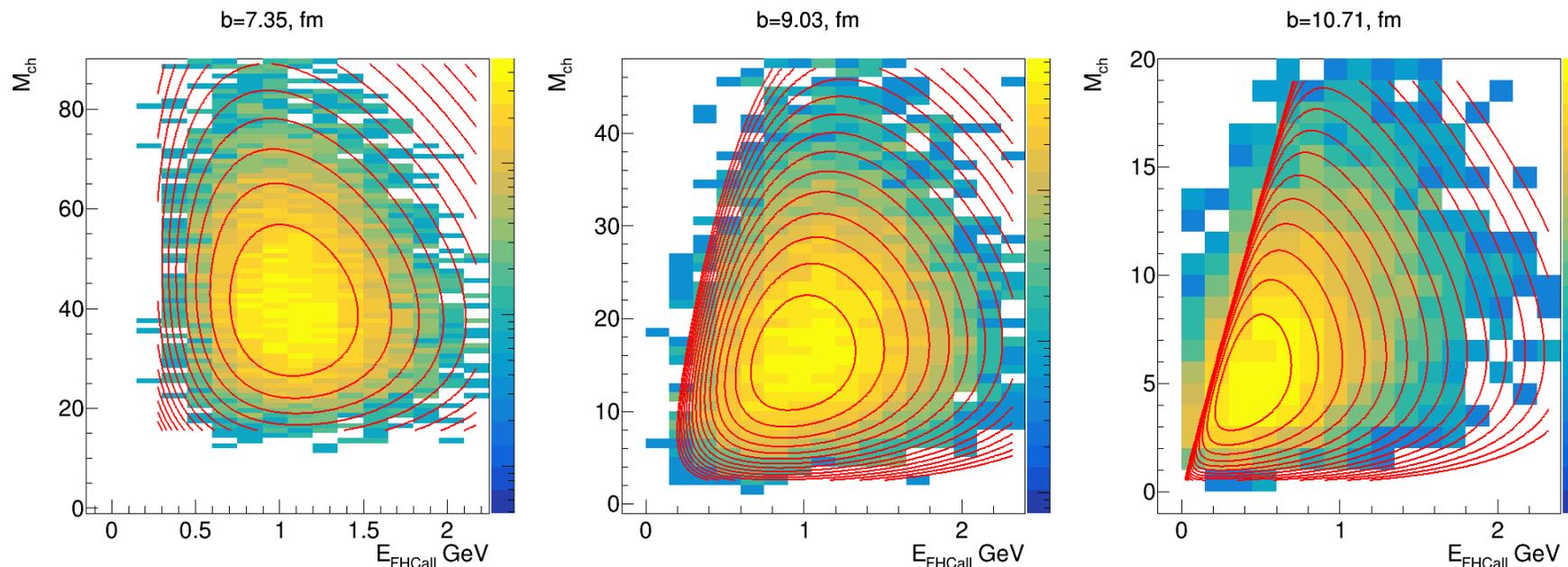
$$\alpha = \arctan\left(\frac{2\sqrt{D(E)D(M)}R(E, M)}{D(E) - D(M)}\right)$$

Средние значение и дисперсия в новой системе координат

$$\langle x \rangle = \cos(\alpha)\langle E \rangle + \sin(\alpha)\langle M \rangle \quad D(x) = D(E)\cos(\alpha)^2 + R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\sin(\alpha)^2$$

$$\langle y \rangle = -\sin(\alpha)\langle E \rangle + \cos(\alpha)\langle M \rangle \quad D(y) = D(E)\sin(\alpha)^2 - R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\cos(\alpha)^2$$

# Флуктуации множественности и энергии при фиксированном значении прицельного параметра

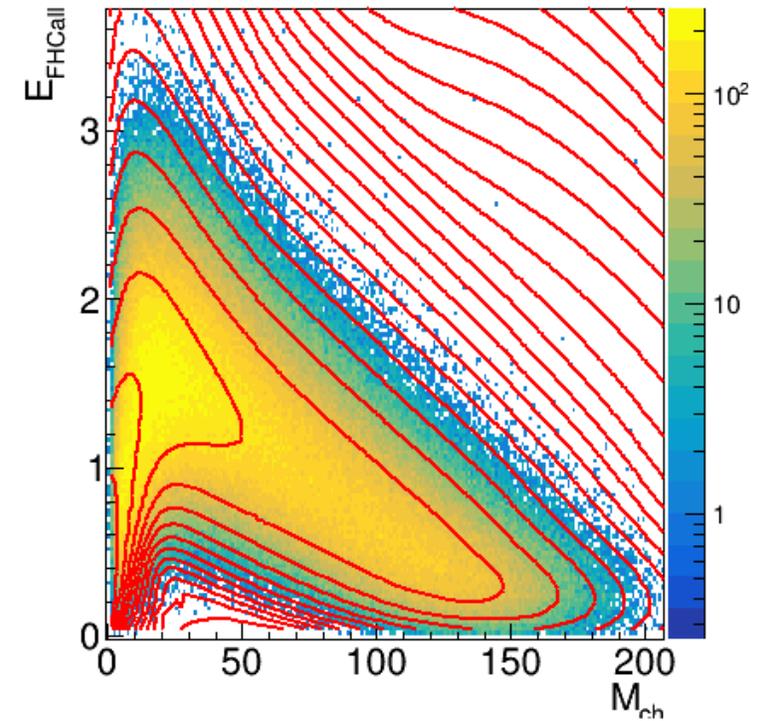
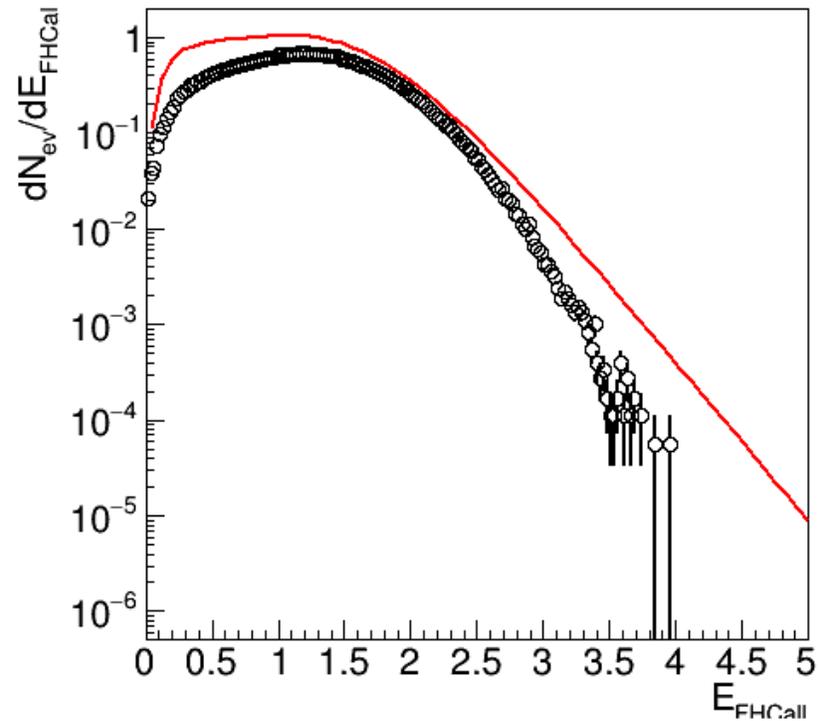
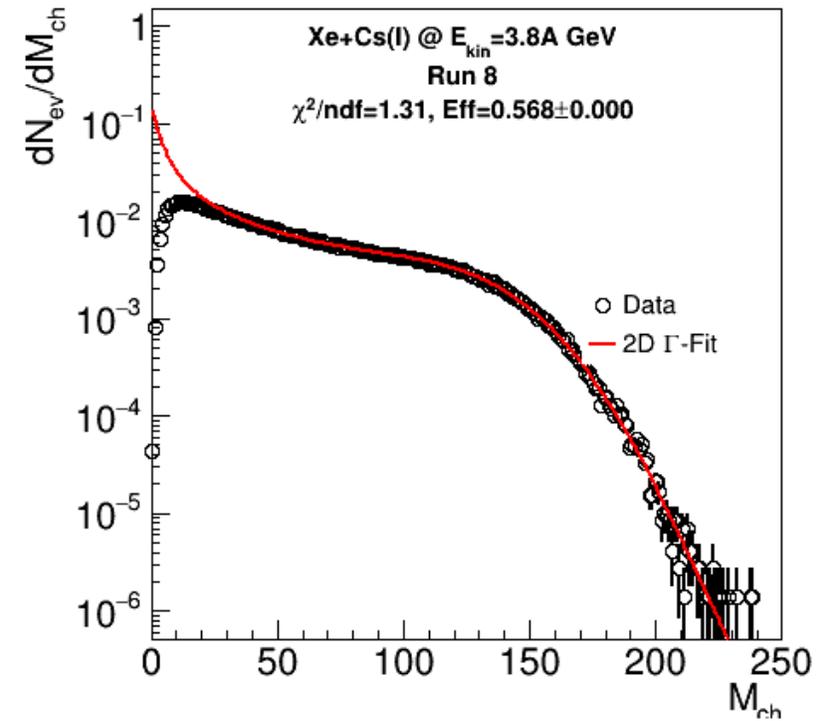


Распределение энергии и множественности при фиксированном значении  $b$

- Распределение прицельного параметра для фиксированного диапазона  $E$  и  $M$  может быть получен с помощью теоремы Байеса:

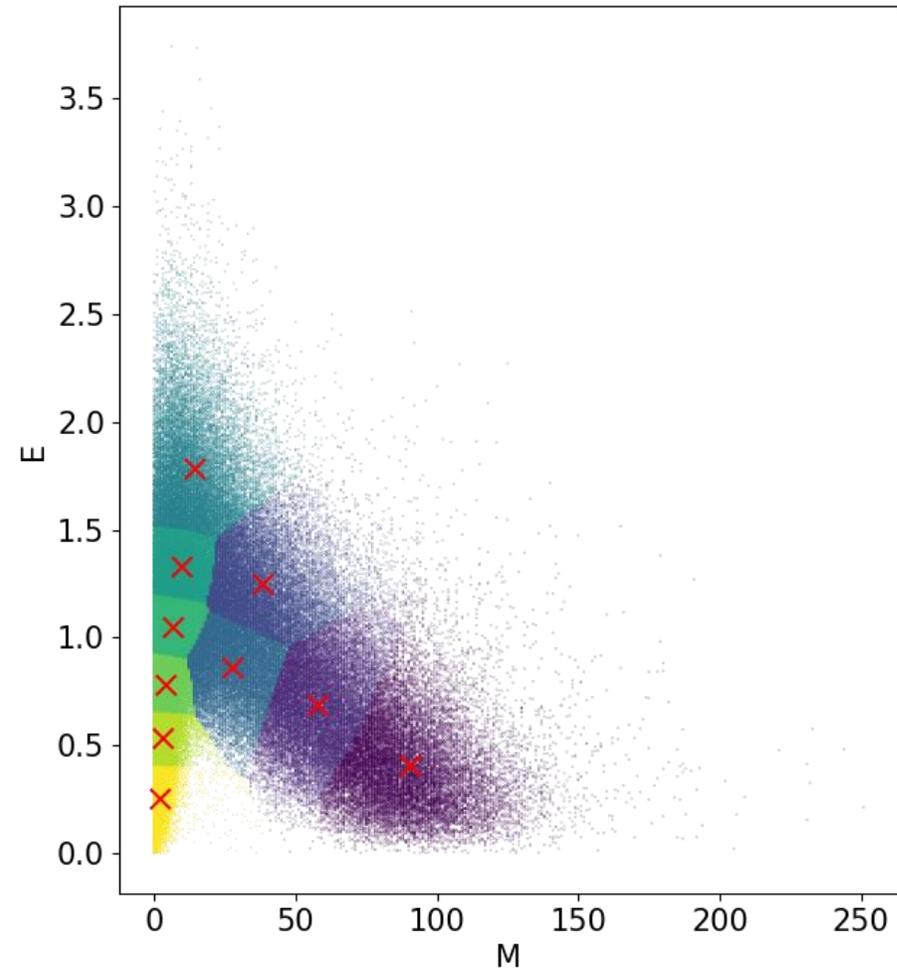
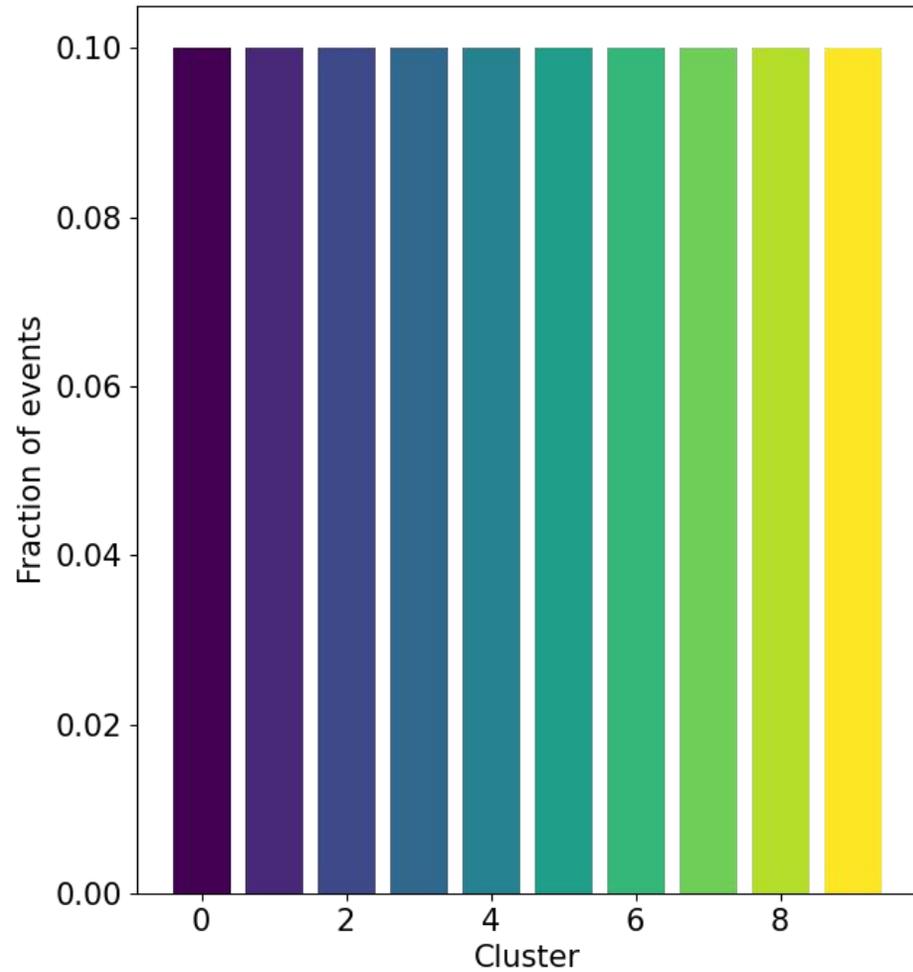
$$P(b | E_1 < E < E_2, M_1 < M < M_2) = P(b) \frac{\int_{E_1}^{E_2} \int_{M_1}^{M_2} P(E, M | c_b) dM dE}{\int_{E_1}^{E_2} \int_{M_1}^{M_2} \int_0^1 P(E, M | c_b) dM dE dc_b}$$

# Результаты двумерного фита



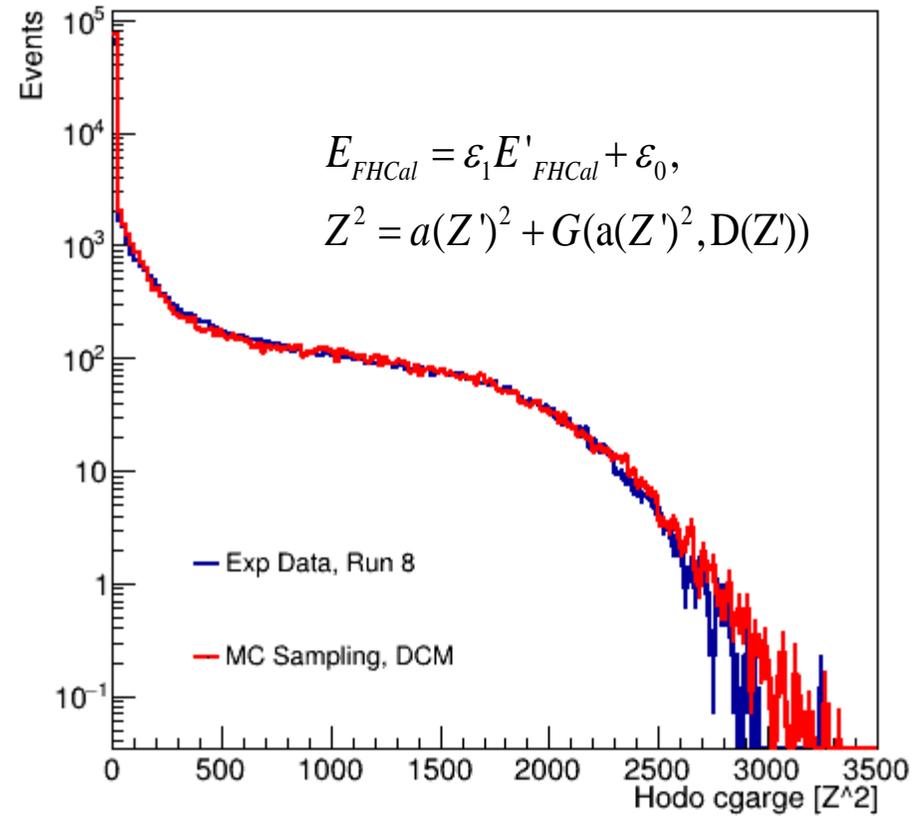
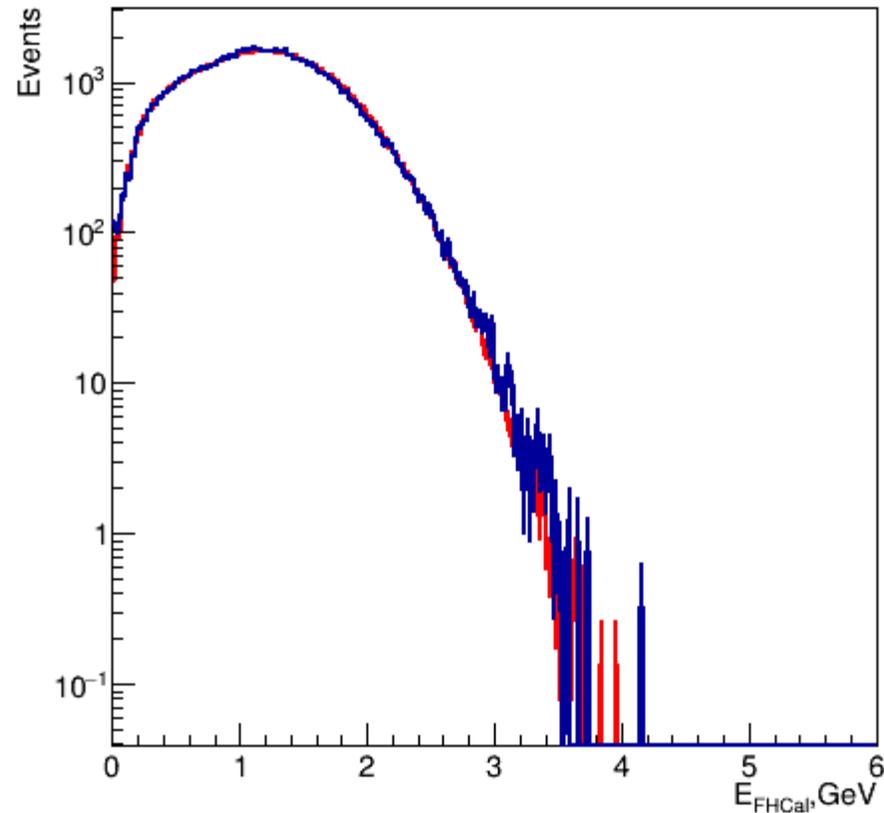
Функция фита качественно воспроизводит корреляцию множественности и энергии из FHCal

# Деление на классы центральности с помощью k-means



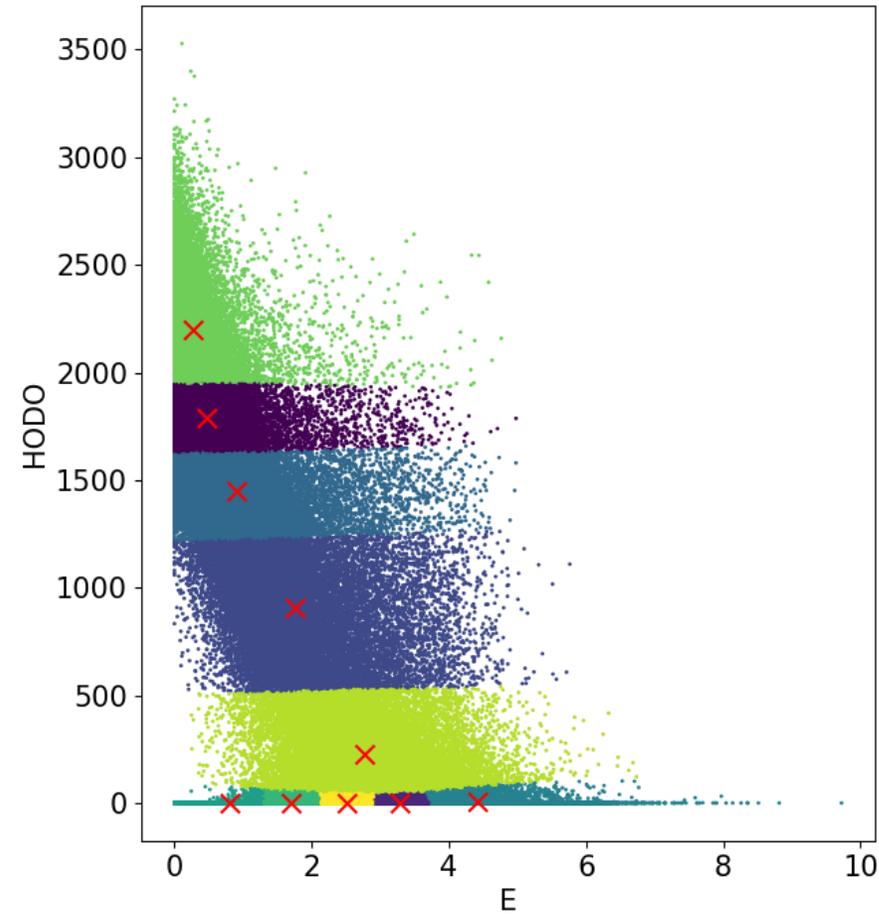
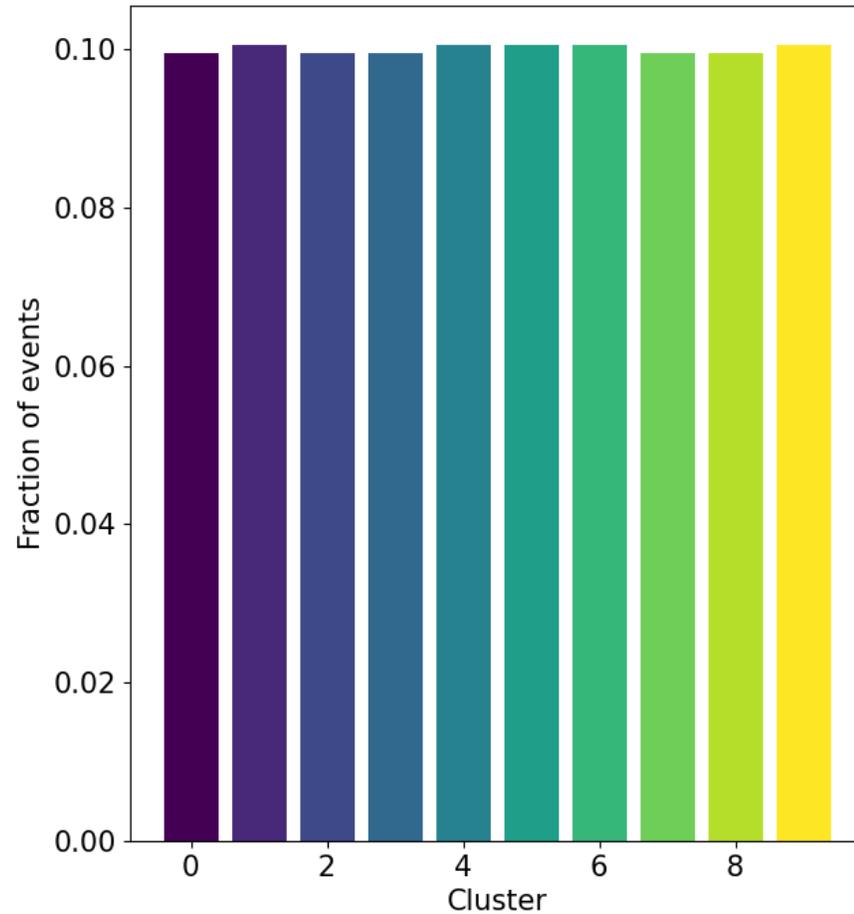
Двумерное распределение поделено на 10 классов центральности

# Результаты фита сигналов из калориметра и годоскопа



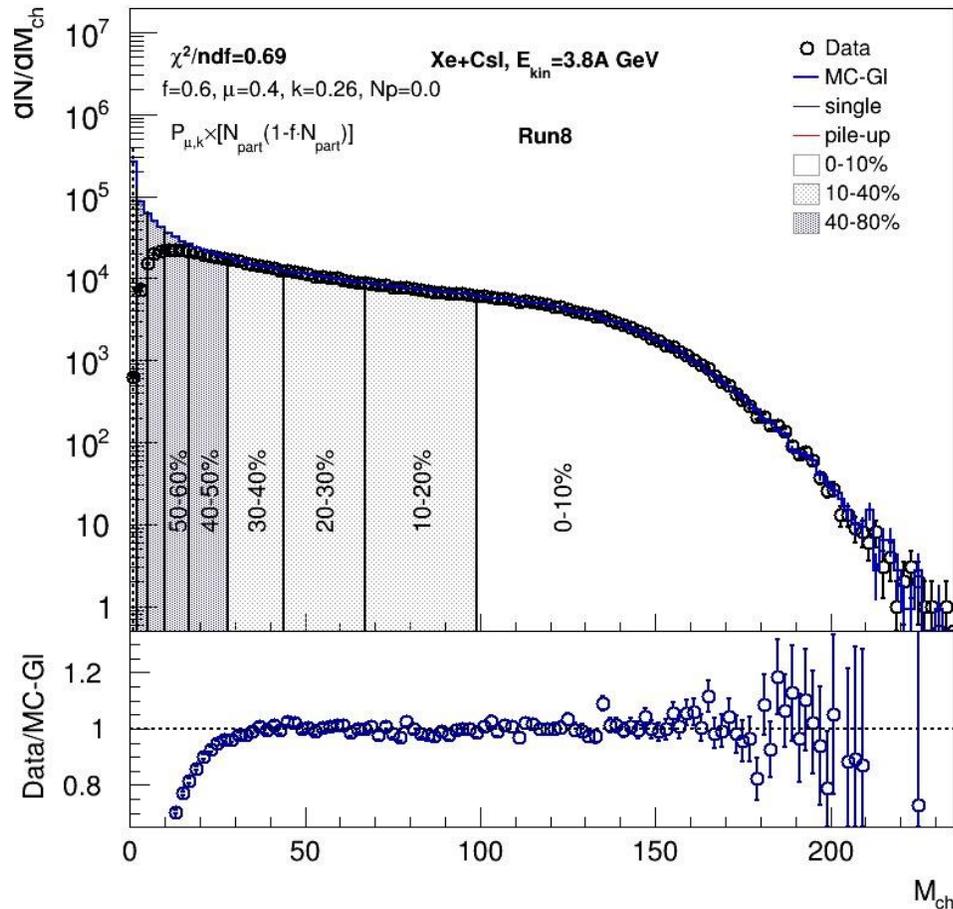
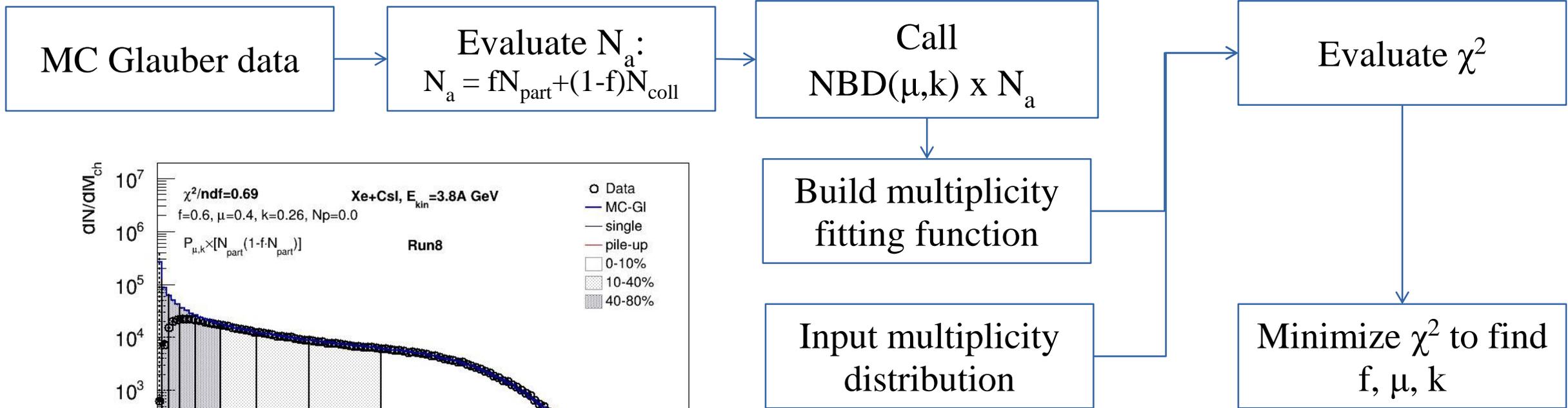
Хорошие согласие результатов фита для калориметра  
Процедура фита для годоскопа находится в процессе доработки

# Определение центральности с помощью переднего калориметра и годоскопа



Метод К-средних позволяет разбить двумерное распределение на классы центральности. Что бы корректно применить границы классов необходимо согласовать результаты симуляций с экспериментом

# Процедура определения центральности на основе MC-Glauber



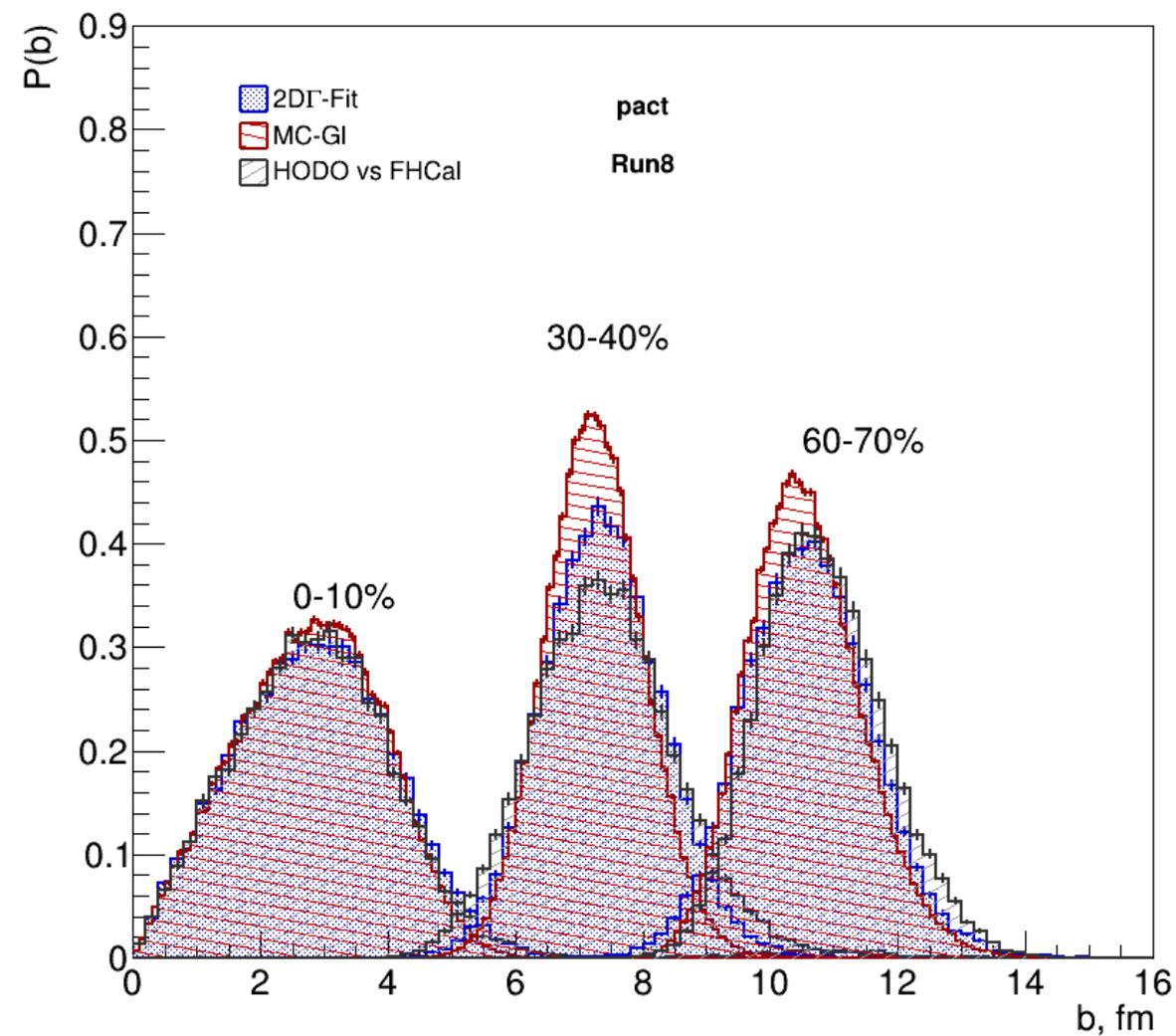
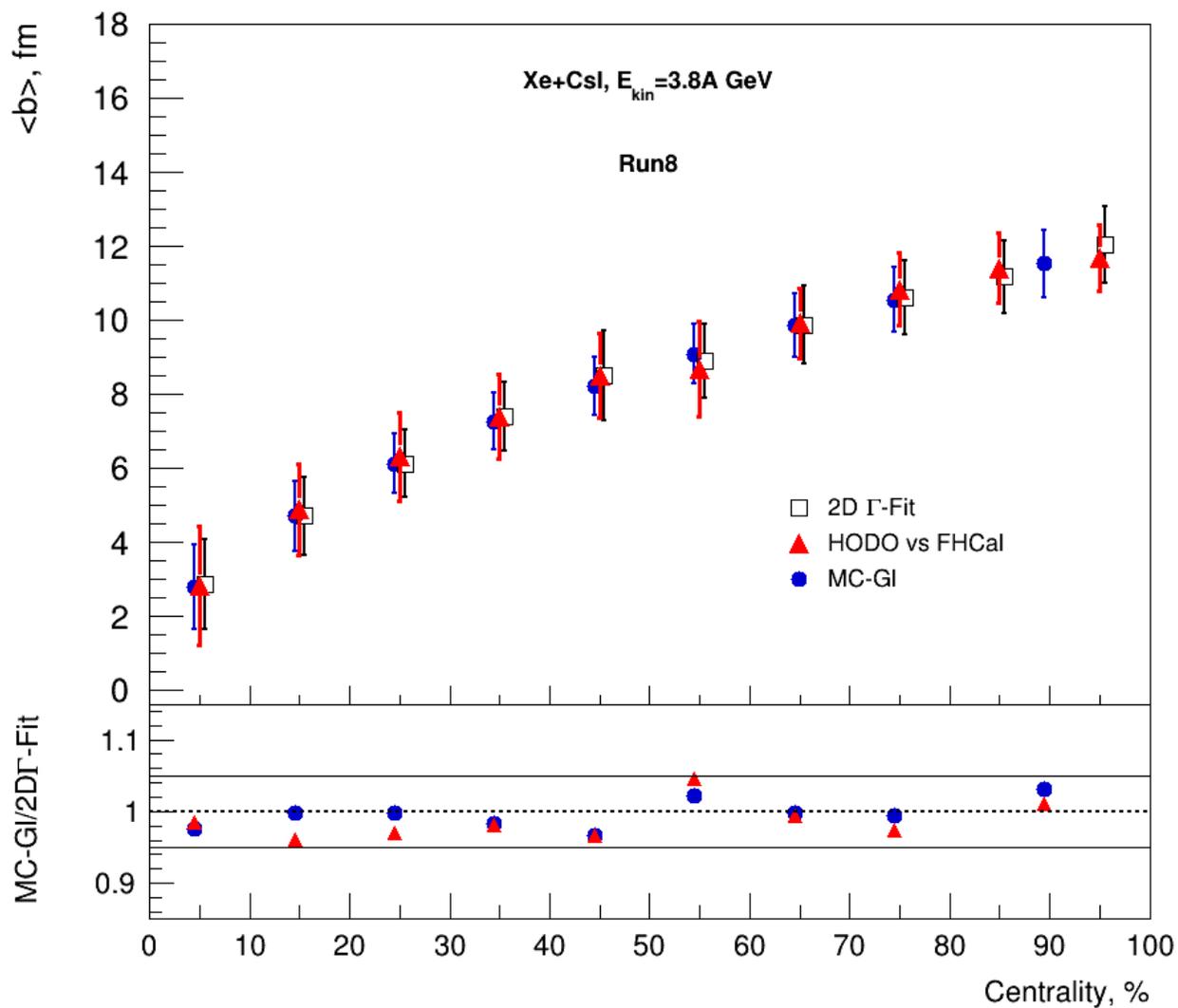
NBD – negative binomial distribution

Parameters of the fit:

- **f** – доля жестких событий
- **$\mu$**  – средняя множественность
- **k** – параметр характер. ширину распределения

Implementation for MPD: <https://github.com/FlowNICA/CentralityFramework>  
 P. Parfenov, et al., *Particles*. 2021; 4(2):275-287

# Сравнение результатов



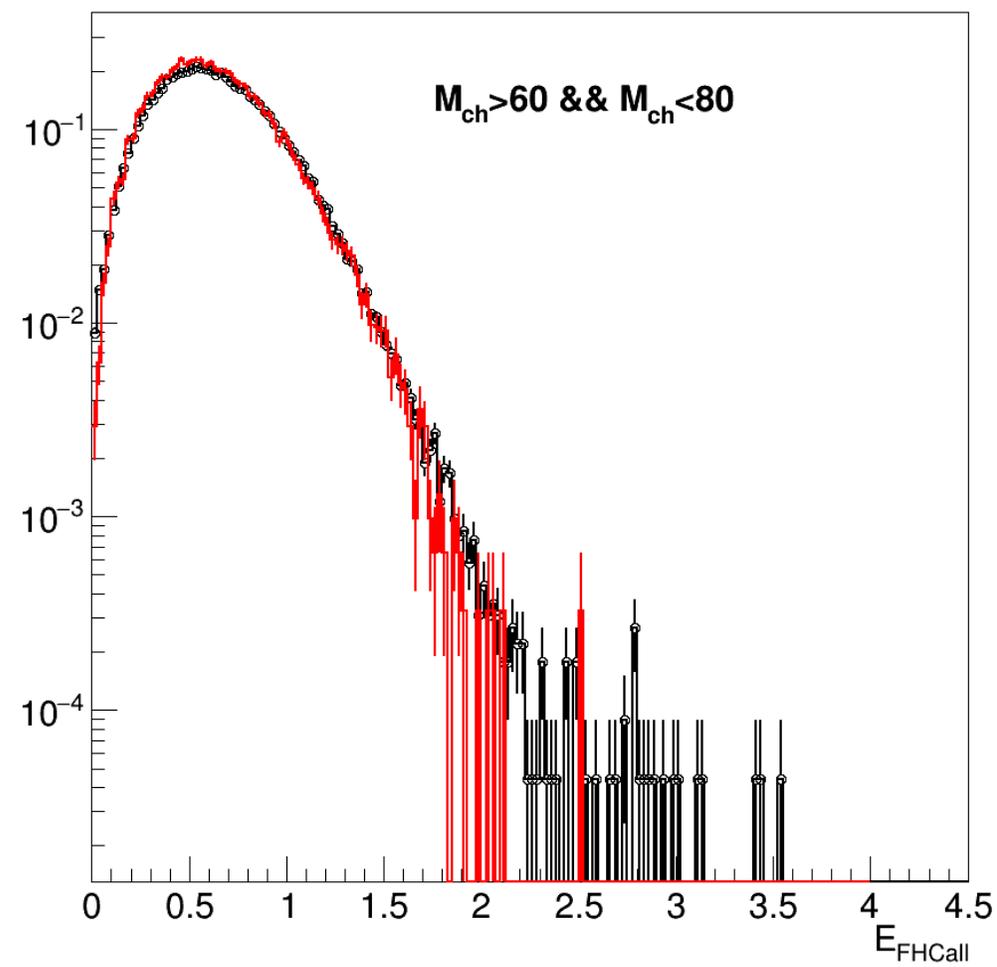
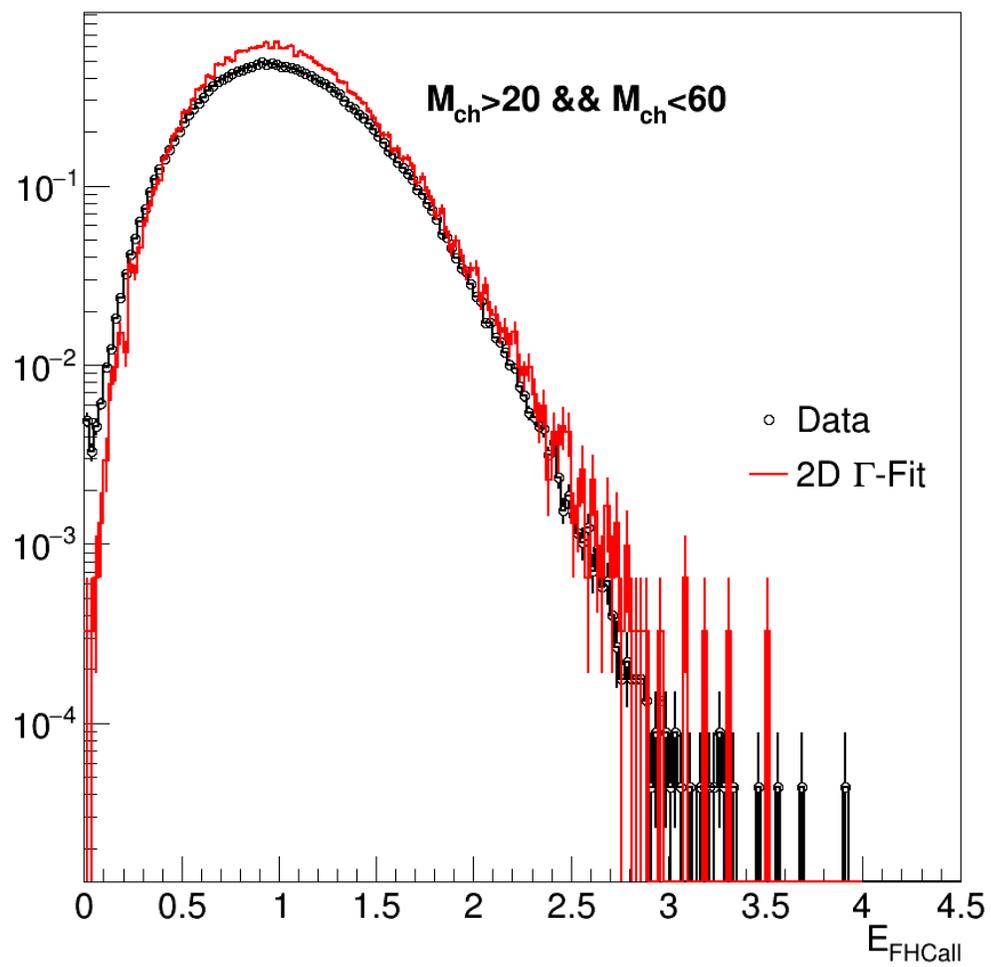
Согласие в пределах 5%.

# Заключение

- Предложен новый подход для определения центральности на основе теоремы Байеса и модели DCM-QSM-SMM
- Разработан новый подход для определения центральности на основе двумерного распределения энергии спектаторов и множественности заряженных частиц
- Предложенный метод был протестирован на данных эксперимента  $ВМ@N$ 
  - Результаты в хорошем согласии с классическим подходом MC-Glauber
- Предложен метод для согласования результатов симуляции откликов годоскопа и калориметра с экспериментальными данными
  - Полученное двумерное распределение было использовано для определения центральности, полученные классы находятся в согласии с другими методами

**Спасибо за внимание!**

# Распределение энергии спектаторов



Хорошие согласие между фитом и данными

# Вероятностная модель пайлапа

$M_{pu}(b_1, b_2) = M_1(b_1) + M_2(b_2)$  - Пайлап можно представить как два не зависимых события с  $b_1, b_2$

$$\langle M_{pu}(b_1, b_2) \rangle = \langle M_1(b_1) \rangle + \langle M_2(b_2) \rangle, \quad D(M_{pu}(b_1, b_2)) = D(M_1(b_1)) + D(M_2(b_2))$$

$$P_{pu}(M_{pu} | b_1, b_2) = \frac{1}{\Gamma(k_p)\theta_p^{k_p}} M_{pu}^{k_p-1} e^{-M_{pu}/\theta_p}$$

- Флуктуации так же описываются Гамма распределением

$$\theta_p = \frac{D(M(b_1, b_2))}{\langle M(b_1, b_2) \rangle}, \quad k_p = \frac{\langle M(b_1, b_2) \rangle}{\theta_p}$$

- Параметры Гамма распределения

$P_{pu}(M_{pu})$  – Плотность вероятности пайлапа

$$P_{pu}(M_{pu}) = \int_0^{b_{\max}} \int_0^{b_{\max}} P(M_{pu} | b_1, b_2) P(b_1) P(b_2) db_1 db_2 = \int_0^{c_{b1}} \int_0^{c_{b2}} P_{pu}(M_{pu} | c_{b1}, c_{b2}) dc_{b1} dc_{b2}$$

# Коррекция на эффективность и пайлап

- **Коррекция на эффективность распределения множественности P(M)**

$$P(M) = \frac{dN}{dM} / N_{ideal}^{ev} = \frac{N_{raw}^{ev}}{N_{ideal}^{ev}} \cdot \frac{1}{N_{raw}^{ev}} \frac{dN_r}{dM} = \frac{1}{K} \cdot Norm.Histogr$$

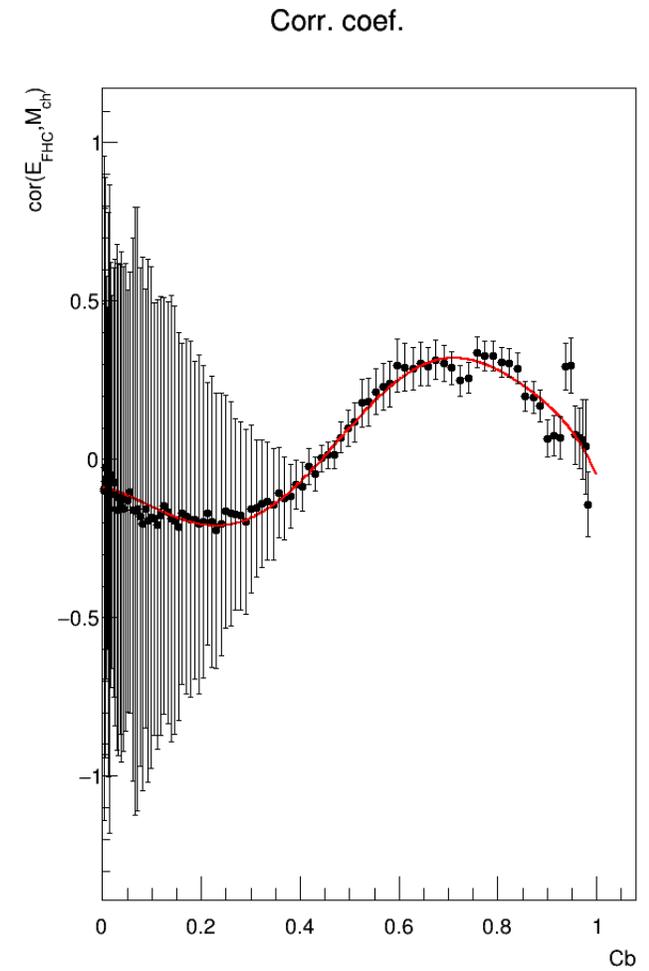
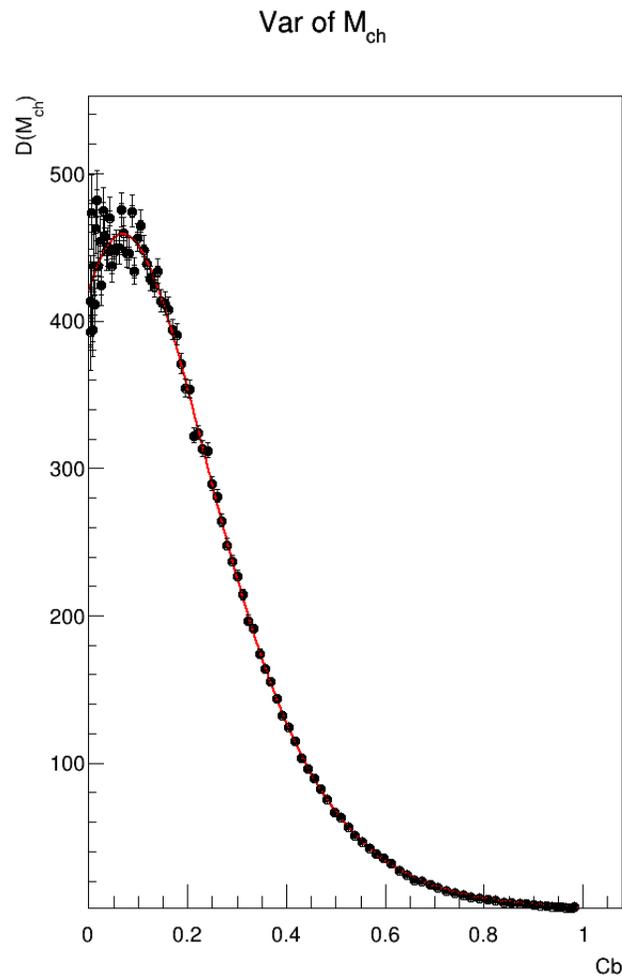
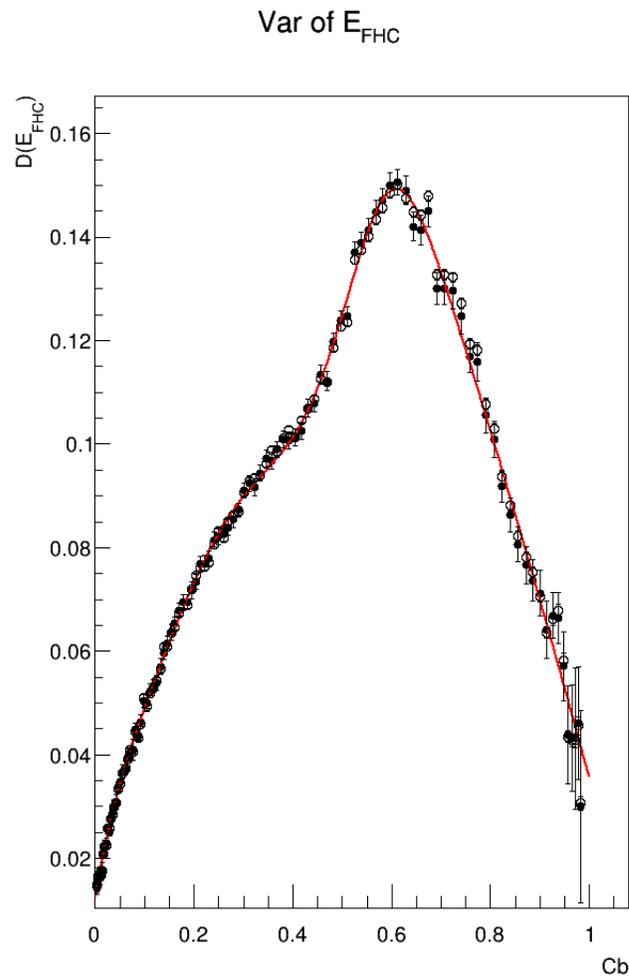
$$Eff = \frac{N_{raw}^{ev}}{N_{ideal}^{ev}} = \frac{1}{K} \quad \text{integral efficiency}$$

- **Функция фита для распределения множественности F(M)**

$$F(M) = K \cdot P_{total}(M), \quad P_{total}(M) = N_p \cdot P_{pu}(M) + (1 - N_p) \cdot P(M)$$

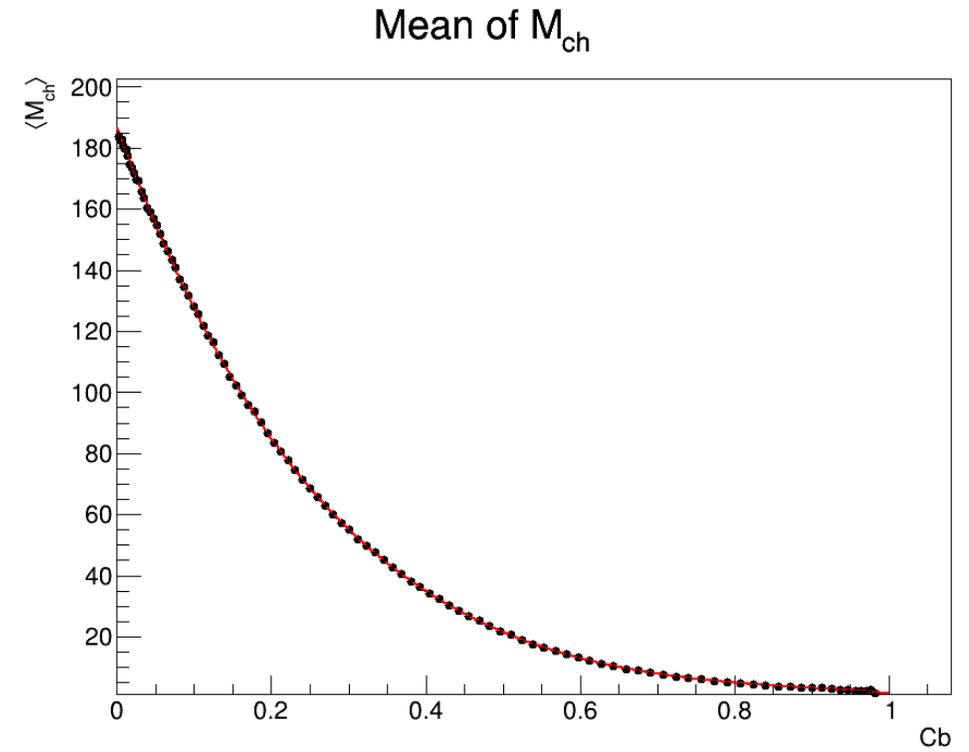
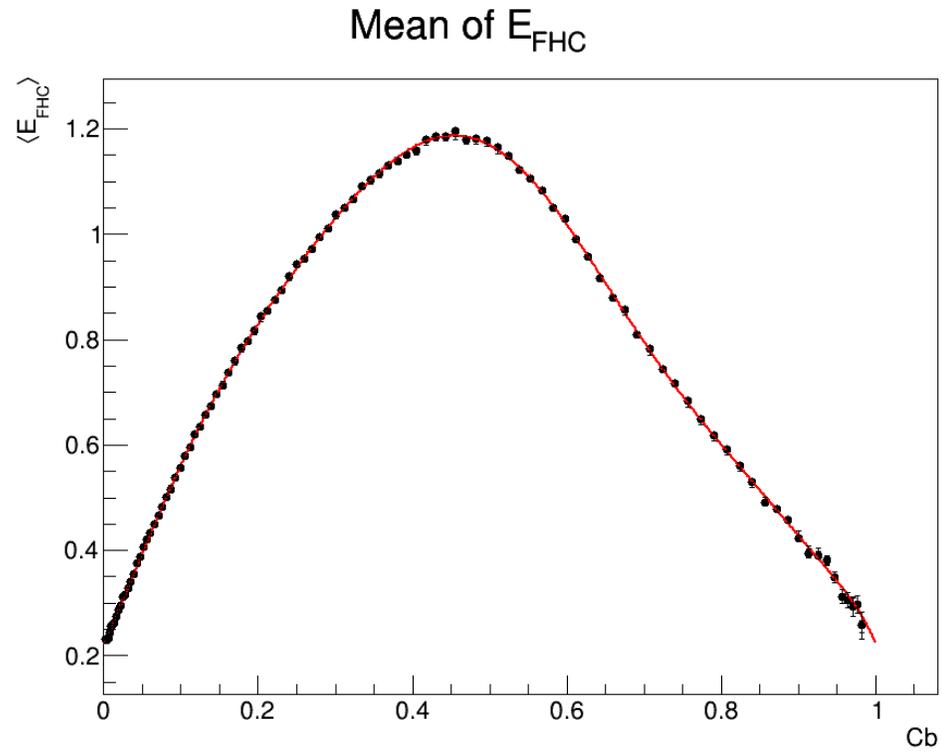
$m_1, m_2, K, N_p$  - fit parameters,  $F(M)$  – fit function, corrected for efficiency and pileup

# Dependence of the variance of multiplicity and energy on centrality



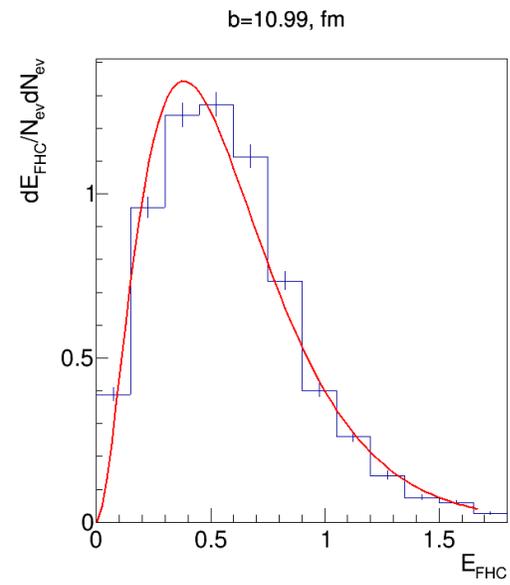
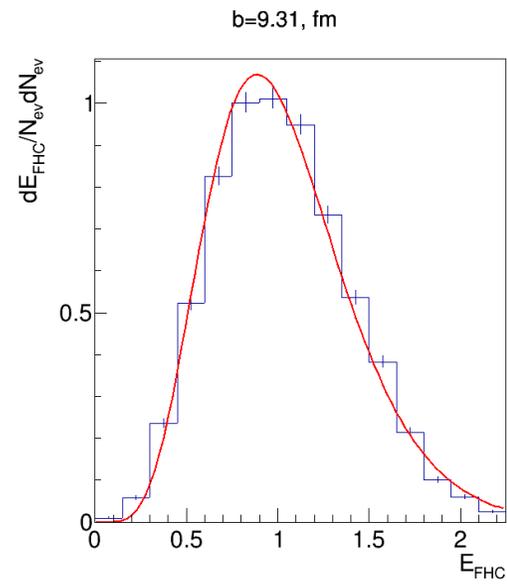
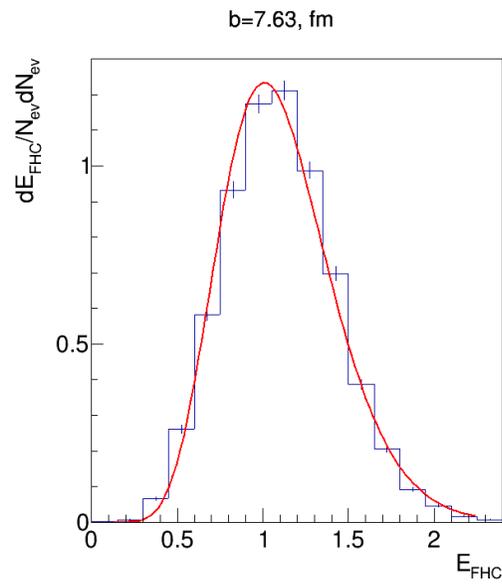
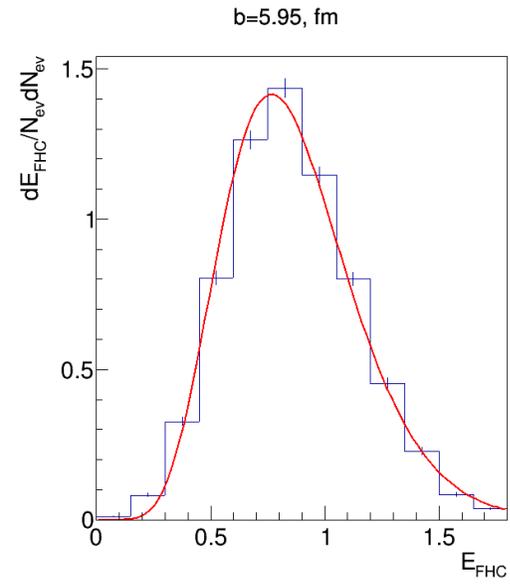
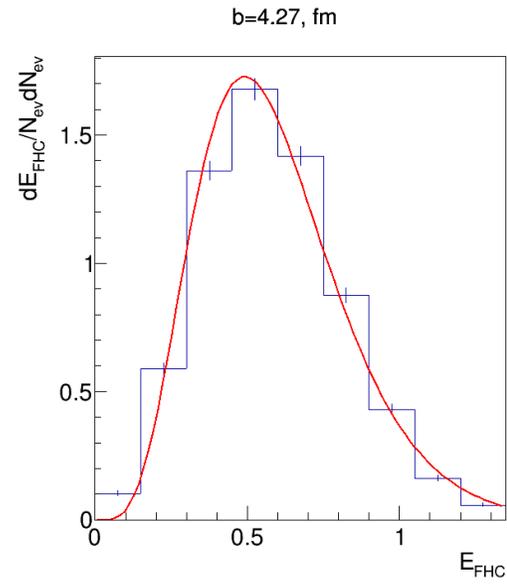
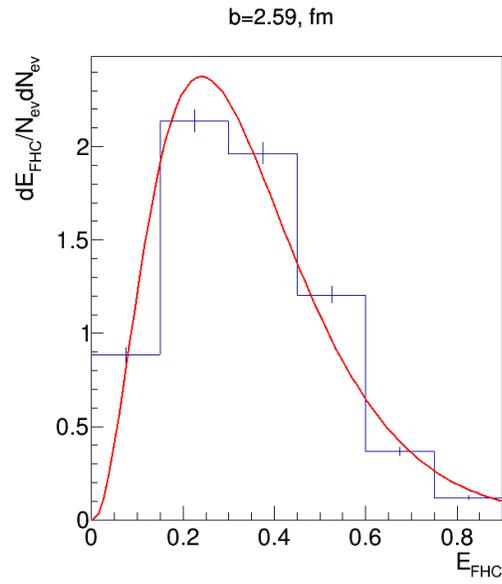
Good fit quality

# Dependence of the average value of multiplicity and energy on centrality

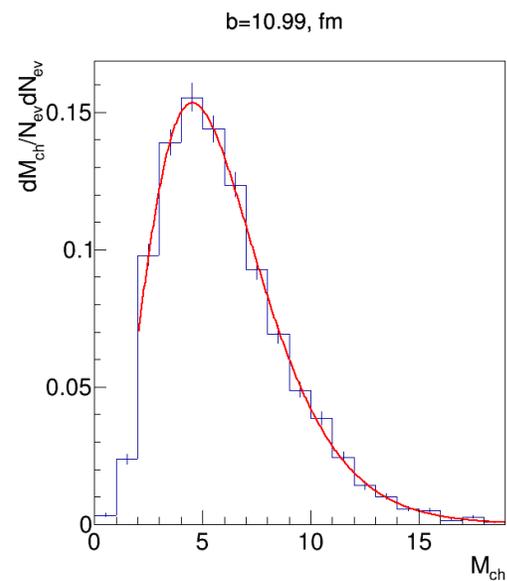
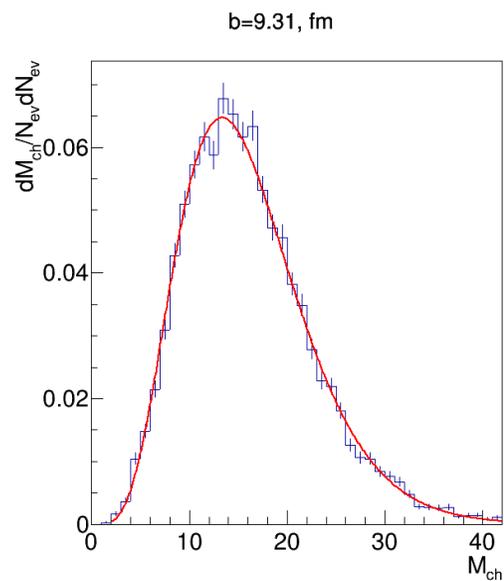
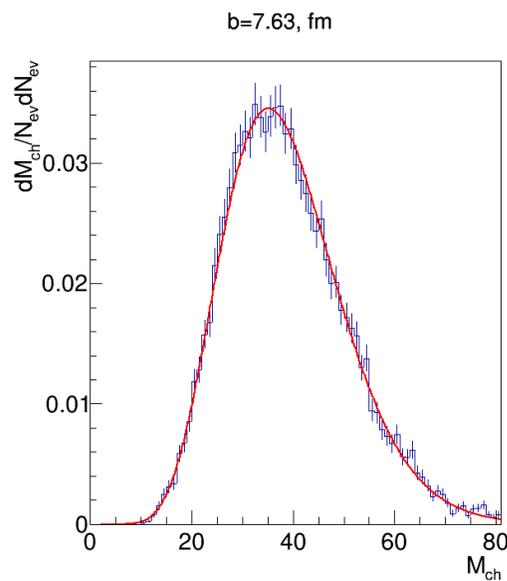
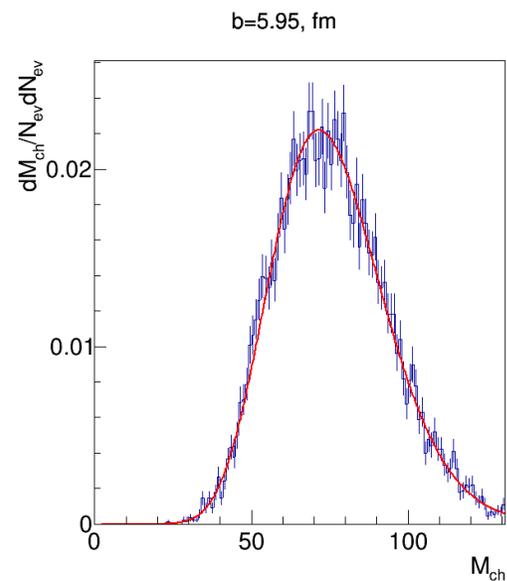
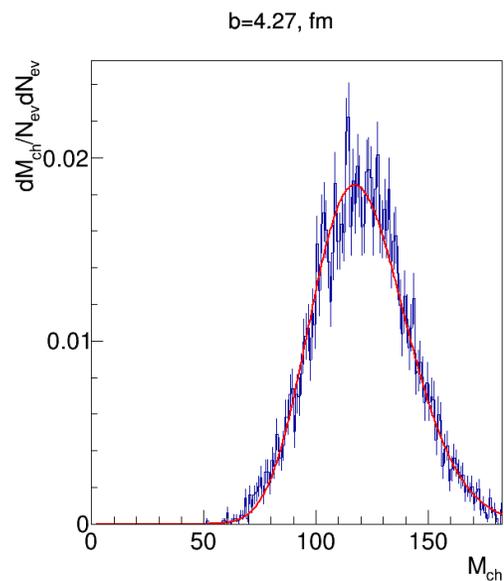
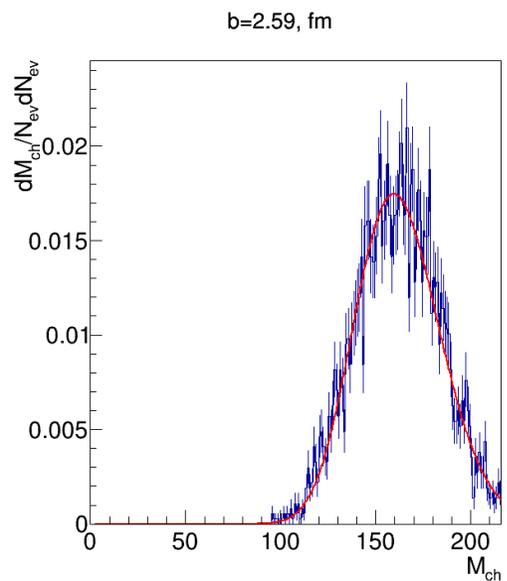


Good fit quality

# Energy distr. fit

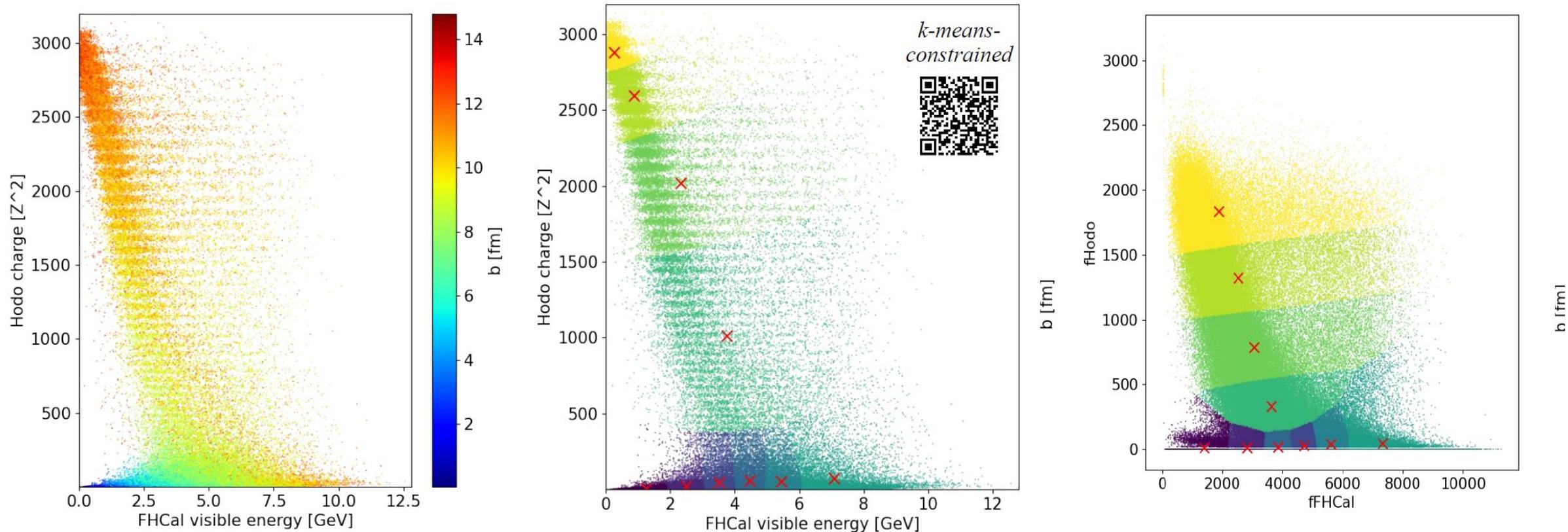


# Mult distr. fit



# Определение центральности с помощью переднего калориметра и годоскопа

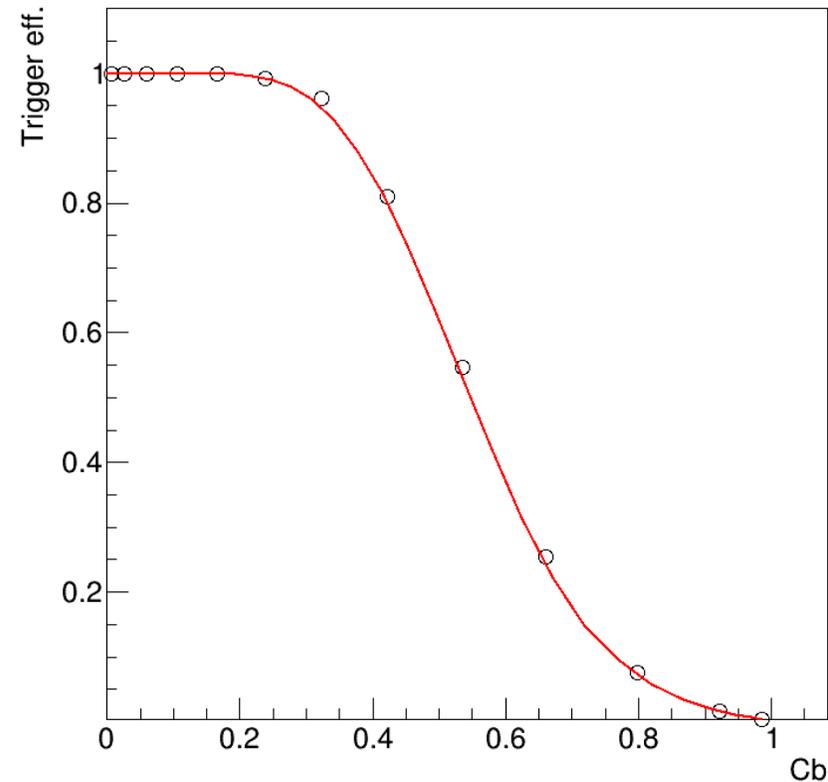
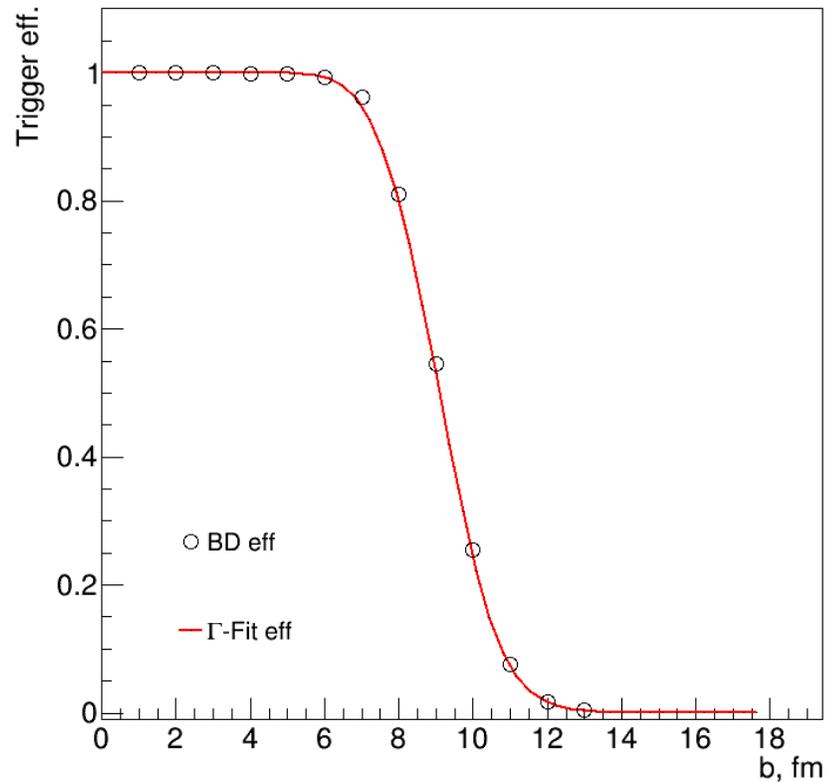
XeCs@3.8A GeV. DCM-QGSM-SMM 100k minbias



Метод К-средних позволяет разбить двумерное распределение на классы центральности. Что бы корректно применить границы классов необходимо согласовать результаты симуляций с экспериментом

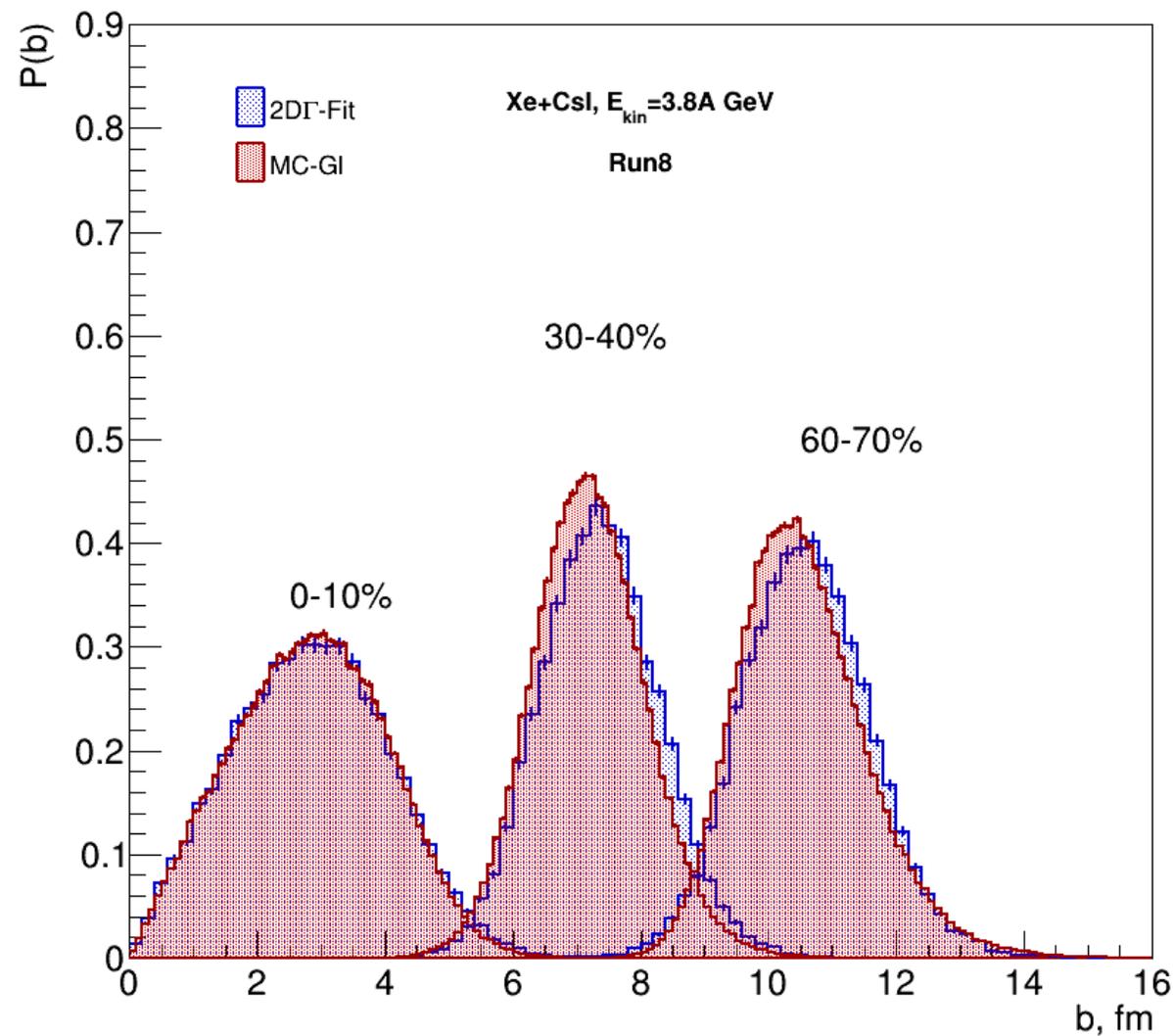
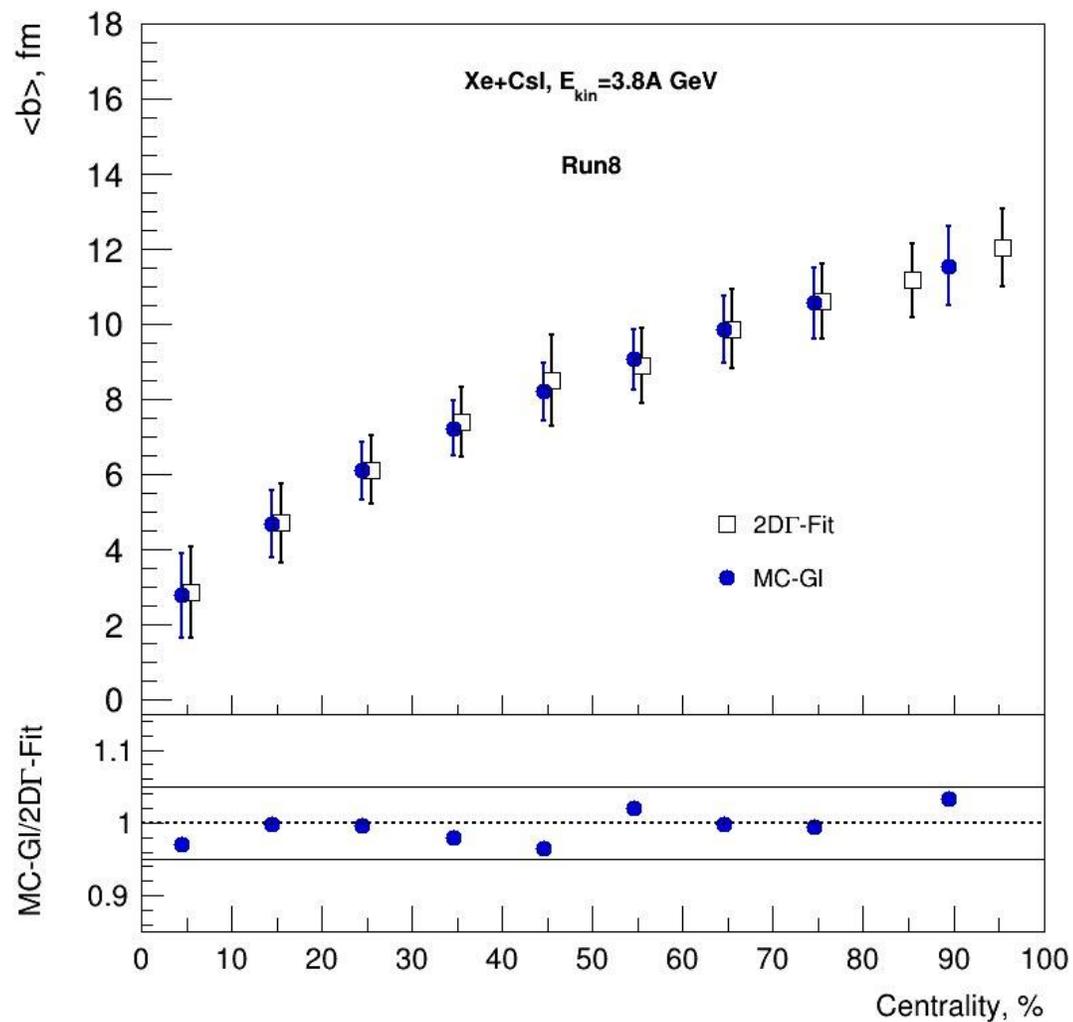
# Эффективность триггерной системы

$$P_{eff}(b) = \int_0^{M_{max}} P_{eff}(M)P(M|b)dM$$



Эффективность триггерной системы, полученная из Байесовского подхода, согласуется с результатами, полученными на основе симмуляций

# Сравнение результатов



Согласие в пределах 5%.

# Коррекция на эффективность и пайлап

$M_{pu}(b_1, b_2) = M_1(b_1) + M_2(b_2)$  - Пайлап можно представить как два не зависимых события с  $b_1, b_2$

$$\langle M_{pu}(b_1, b_2) \rangle = \langle M_1(b_1) \rangle + \langle M_2(b_2) \rangle, \quad D(M_{pu}(b_1, b_2)) = D(M_1(b_1)) + D(M_2(b_2))$$

$$P_{pu}(M_{pu}) = \int_0^{c_{b1}} \int_0^{c_{b2}} P_{pu}(M_{pu} | c_{b1}, c_{b2}) dc_{b1} dc_{b2} \quad - \text{Плотность вероятности пайлапа}$$

- **Коррекция на эффективность распределения множественности P(M)**

$$P(M) = \frac{dN}{dM} / N_{ideal}^{ev} = \frac{N_{raw}^{ev}}{N_{ideal}^{ev}} \cdot \frac{1}{N_{raw}^{ev}} \frac{dN_r}{dM} = \frac{1}{K} \cdot \text{Norm.Histogr} \quad \text{Eff} = \frac{N_{raw}^{ev}}{N_{ideal}^{ev}} = \frac{1}{K} \quad \text{integral efficiency}$$

- **Функция фита для распределения множественности F(M)**

$$F(M) = K \cdot P_{total}(M), \quad P_{total}(M) = N_p \cdot P_{pu}(M) + (1 - N_p) \cdot P(M)$$

$m_1, m_2, K, N_p$  - fit parameters,  $F(M)$  – fit function, corrected for efficiency and pileup

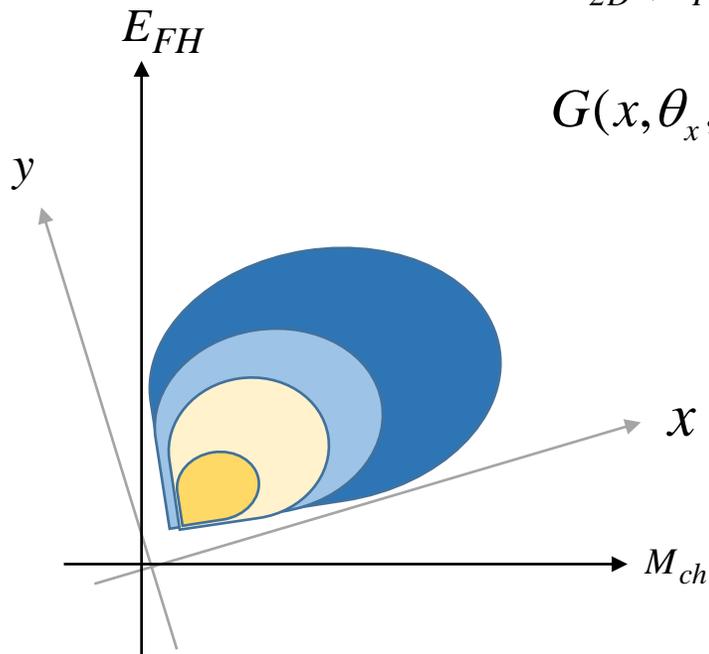
# Двумерное Гамма распределение

С помощью поворота осей, можно найти такую систему координат  $\text{cov}(x, y) = 0$

Тогда двумерное Гамма распределение в новой с.к находится как

$$G_{2D}(E_{FH}, M_{ch}, \langle E \rangle, \langle M \rangle, D(E), D(M), R) = G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y)$$

$$G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y) = \frac{(x)^{k_x(c_b)-1} e^{-x/\theta_x}}{\Gamma(k_x(c_b))\theta_x^2} \cdot \frac{(y)^{k_y(c_b)-1} e^{-y/\theta_y}}{\Gamma(k_y(c_b))\theta_y^2}$$



$$\theta_x = \frac{D(x)}{\langle x \rangle}, \quad k_x = \frac{\langle x \rangle^2}{D(x)}, \quad \theta_y = \frac{D(y)}{\langle y \rangle}, \quad k_y = \frac{\langle y \rangle^2}{D(y)}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2\sqrt{D(E)D(M)}R(E, M)}{D(E) - D(M)}\right)$$

Средние значение и дисперсия в новой системе координат

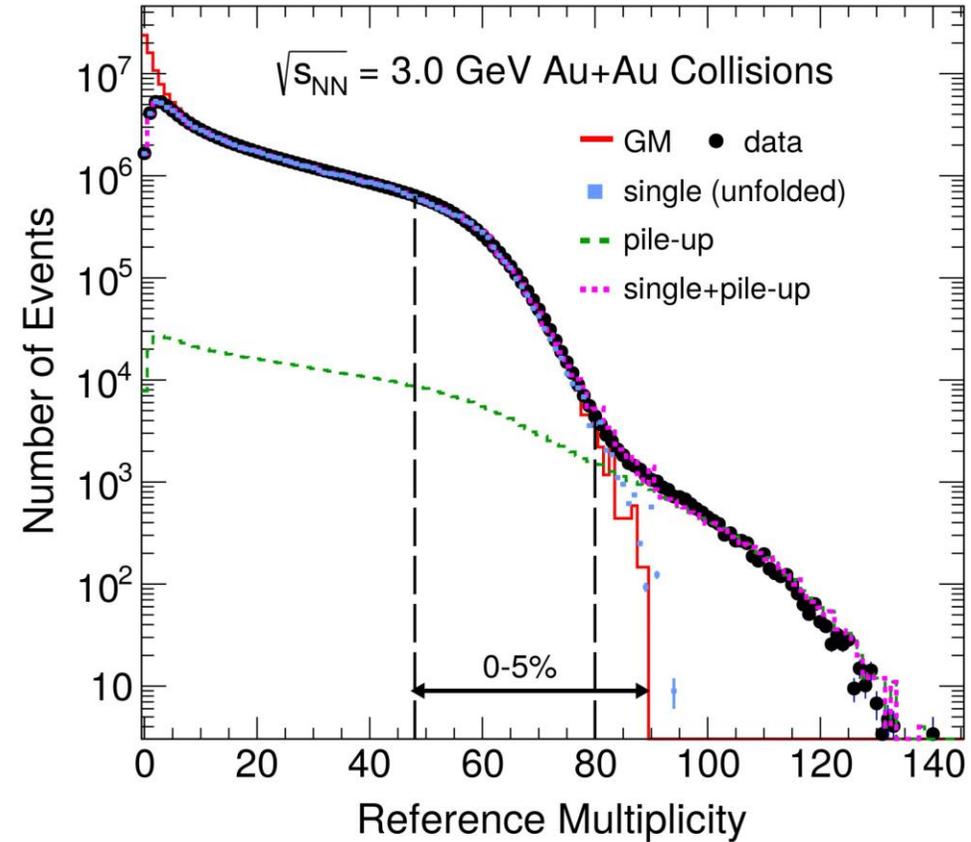
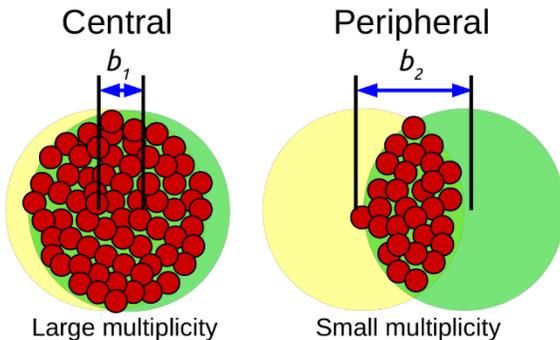
$$\langle x \rangle = \cos(\alpha)\langle E \rangle + \sin(\alpha)\langle M \rangle \quad D(x) = D(E)\cos(\alpha)^2 + R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\sin(\alpha)^2$$

$$\langle y \rangle = -\sin(\alpha)\langle E \rangle + \cos(\alpha)\langle M \rangle \quad D(y) = D(E)\sin(\alpha)^2 - R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\cos(\alpha)^2$$

# Определение центральности в эксперименте

- Эволюция материи, образующейся при столкновениях тяжелых ионов, зависит от ее начальной геометрии
- Процедура определения центральности сопоставляет параметры начальной геометрии с измеряемыми величинами (множественность или энергия нуклонов спектаторов).
- Это позволит сравнить будущие результаты **BM@N** с данными из других экспериментов (STAR BES, NA49/NA61) и теоретическими моделями

$$c(b) = \frac{\int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'}{\int_0^\infty \frac{d\sigma}{db'} db'} = \frac{1}{\sigma_{A-A}} \int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'$$



Распределения множественности (черные маркеры) для области  $-0.5 < y < 0$  и  $0.4 < p_T < 2.0 \text{ ГэВ/с}$ , GM (красная гистограмма), а также результаты для пайлапа и без него.

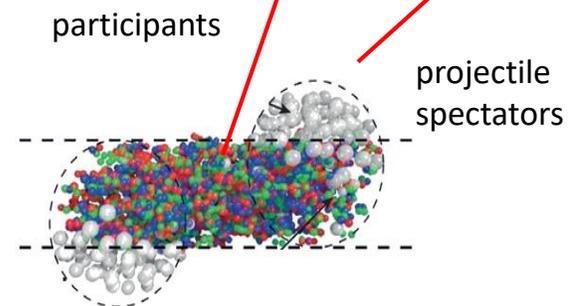
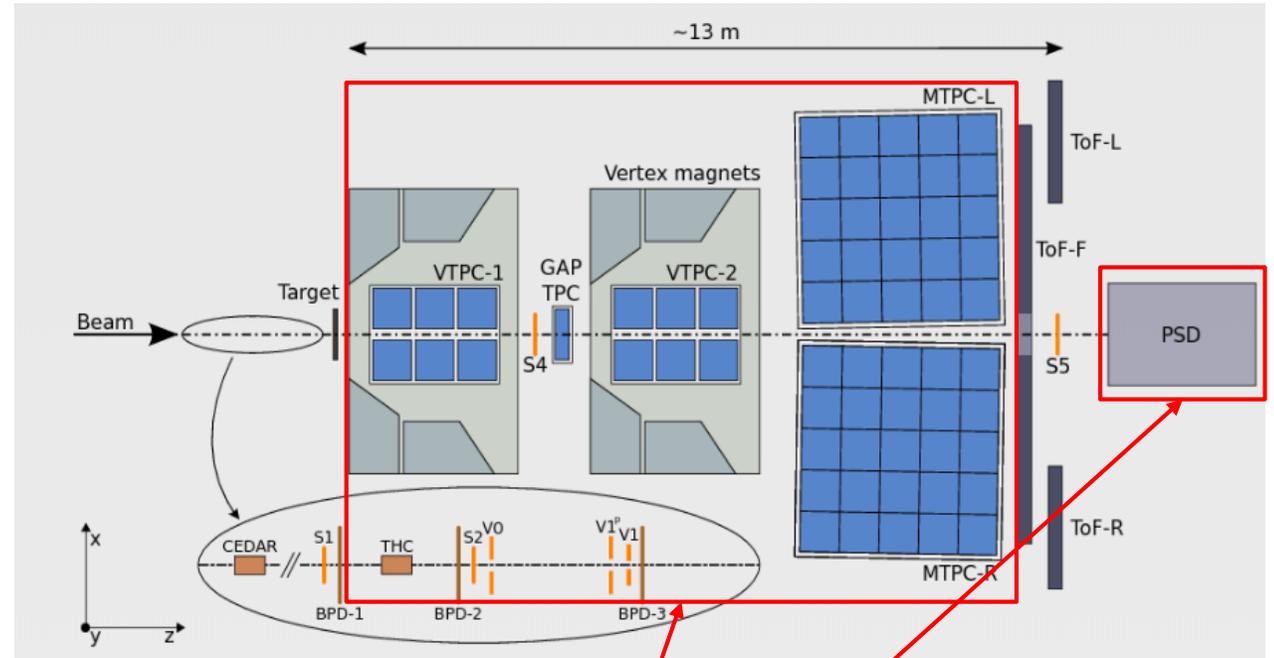
# NA61/SHINE experimental setup

## Data samples:

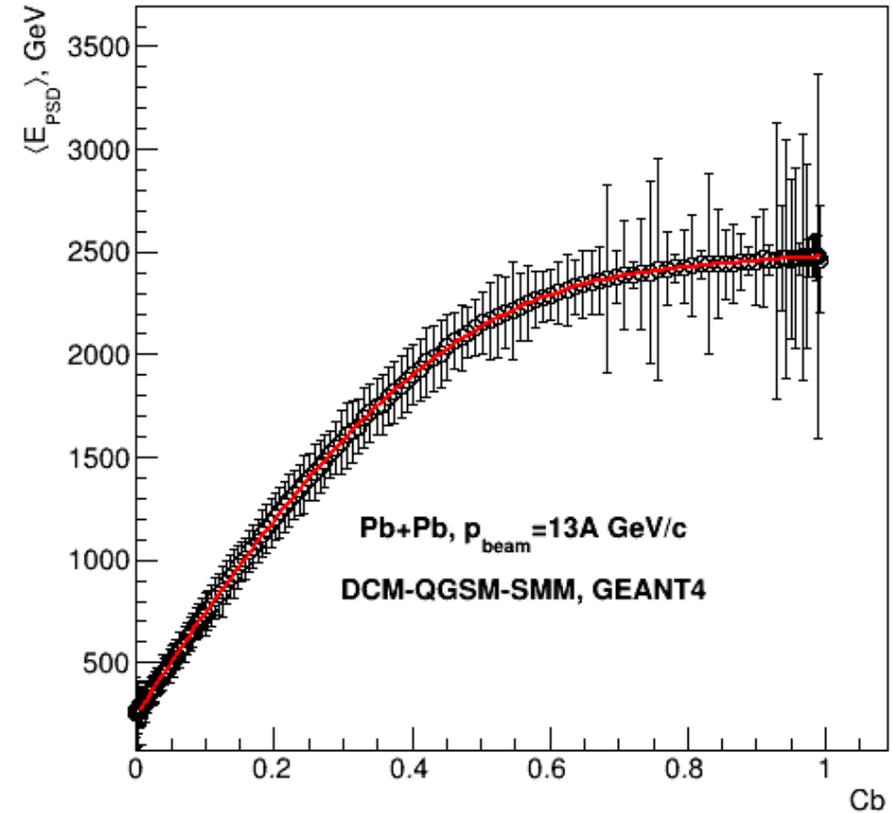
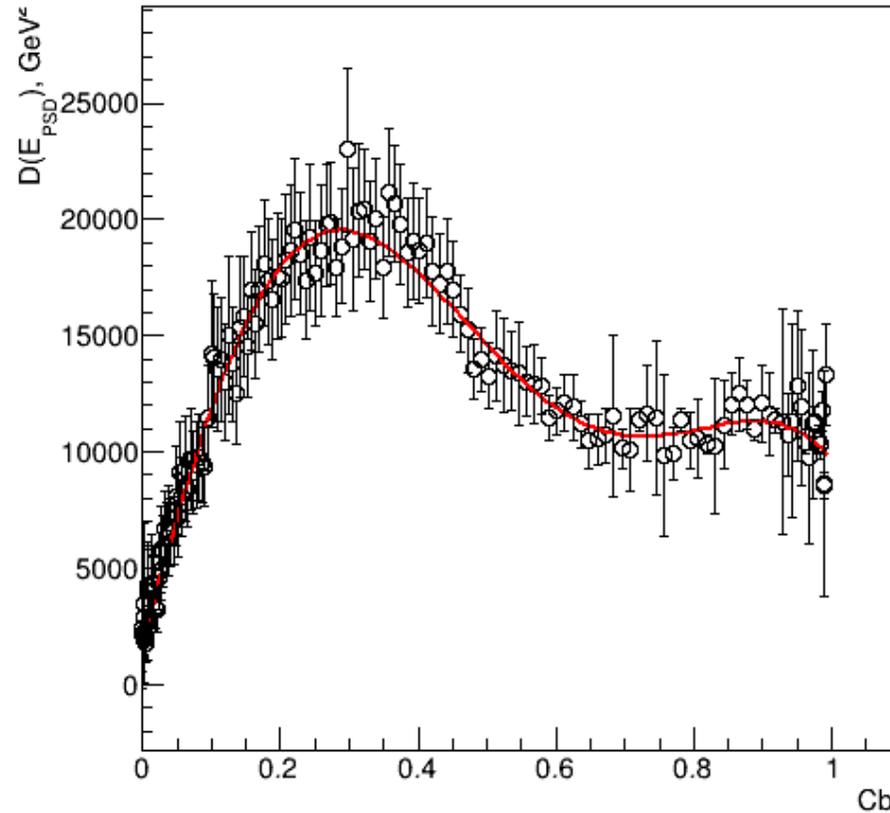
- Pb-Pb @  $p_{\text{beam}} = 13A \text{ GeV}/c$
- data from 2016 physics run
- DCM-QGSM-SMM x Geant4  
[M.Baznat et al. PPNL 17 \(2020\) 3, 303](#)

## Subsystems

- Multiplicity: TPCs
- Spectators energy: PSD

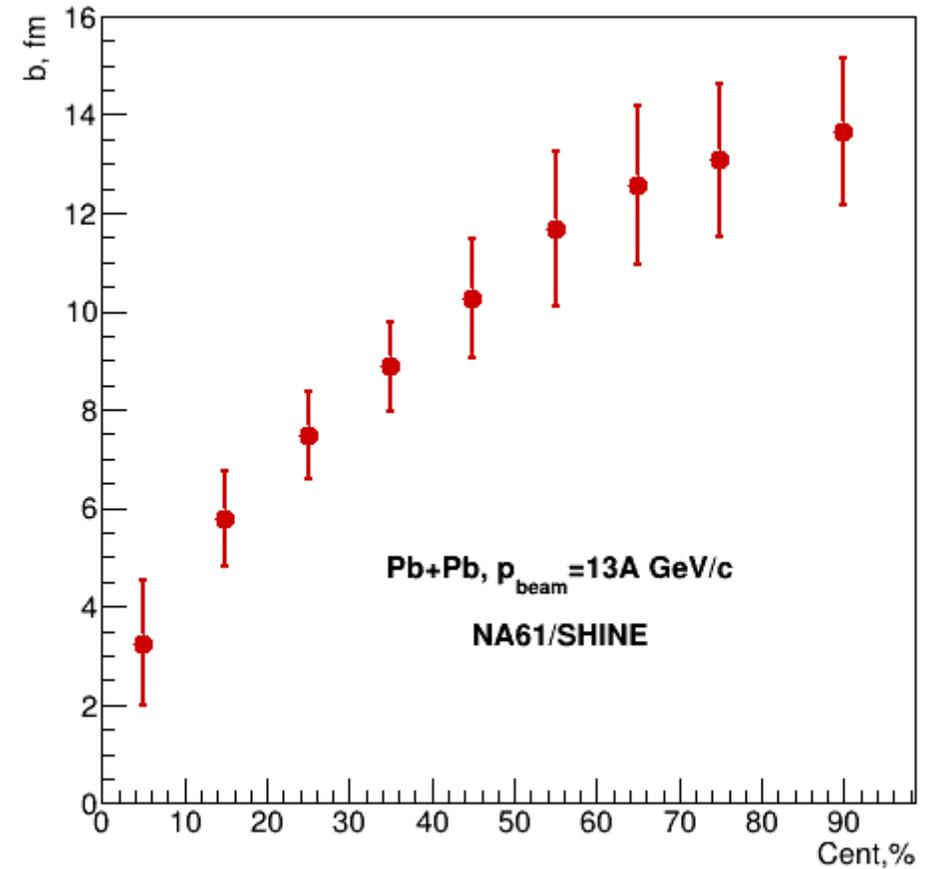
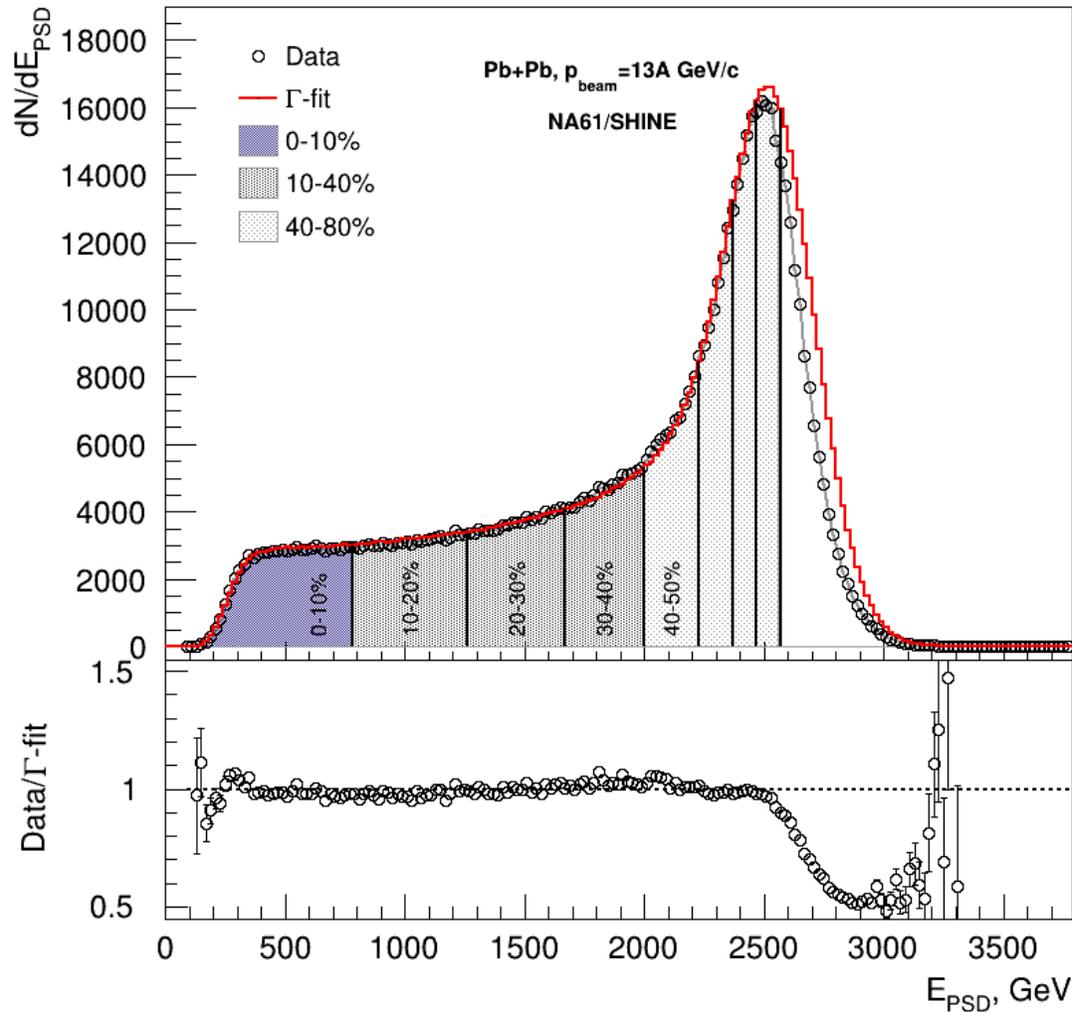


# Dependence of the average value and variance of energy on centrality



The average value and dispersion of energy from the DCM-QGSM-SMM model are well described by polynomials

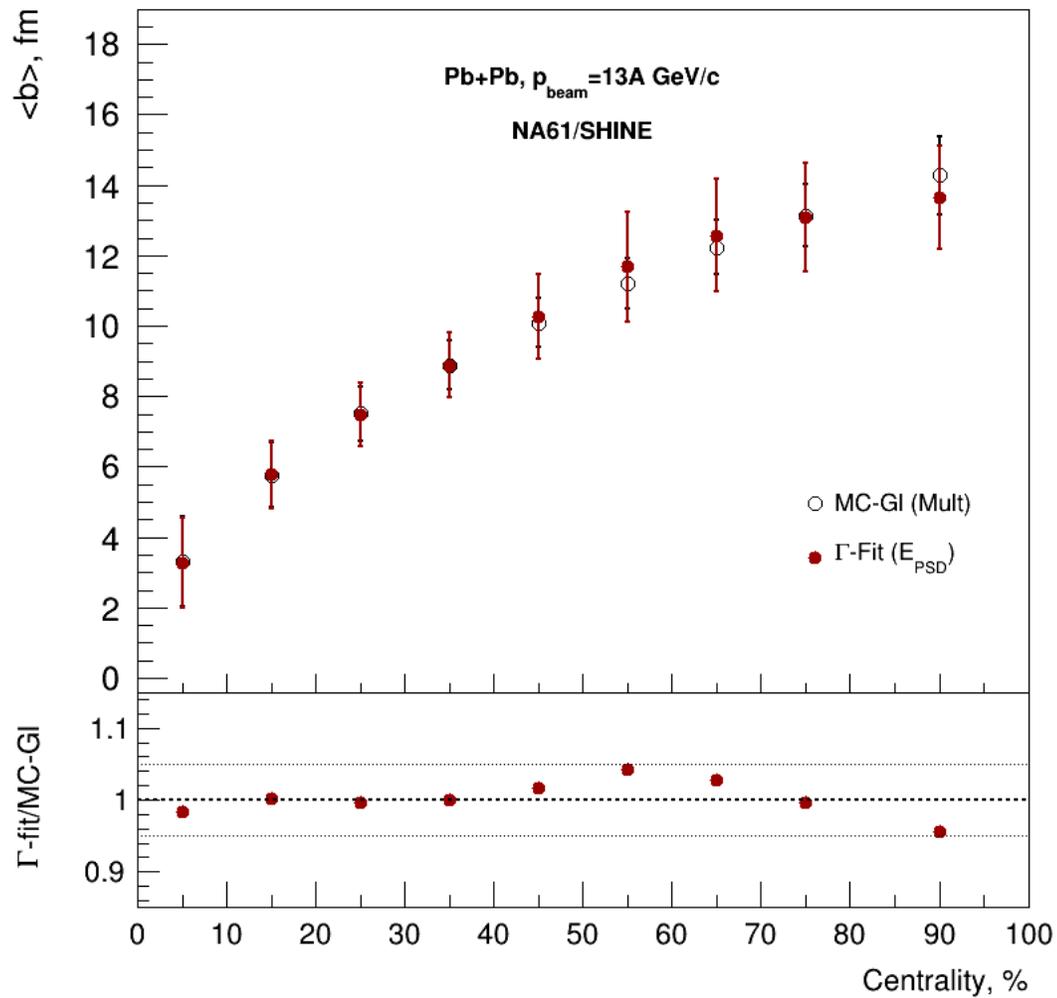
# Fit results for NA61



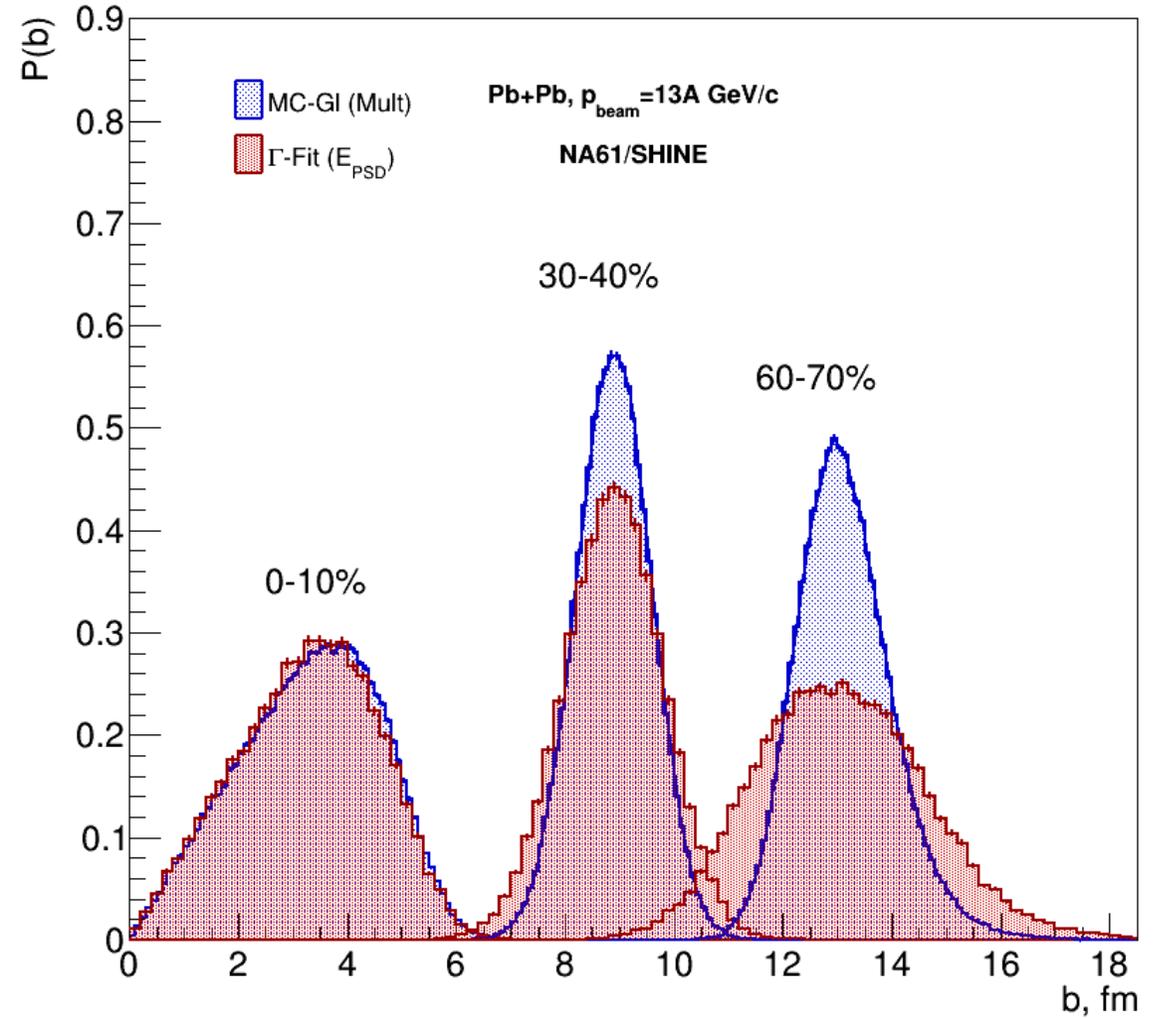
The distribution width of the impact parameter increases in the peripheral region

The method reproduces the energy distribution well.  
The difference in the peripheral region is due to the trigger efficiency

# Comparison with MC-Glauber fit



Good agreement between fit and data.



There is agreement within 5%.

# Reconstruction of $b$

- Normalized energy distribution  $P(E)$

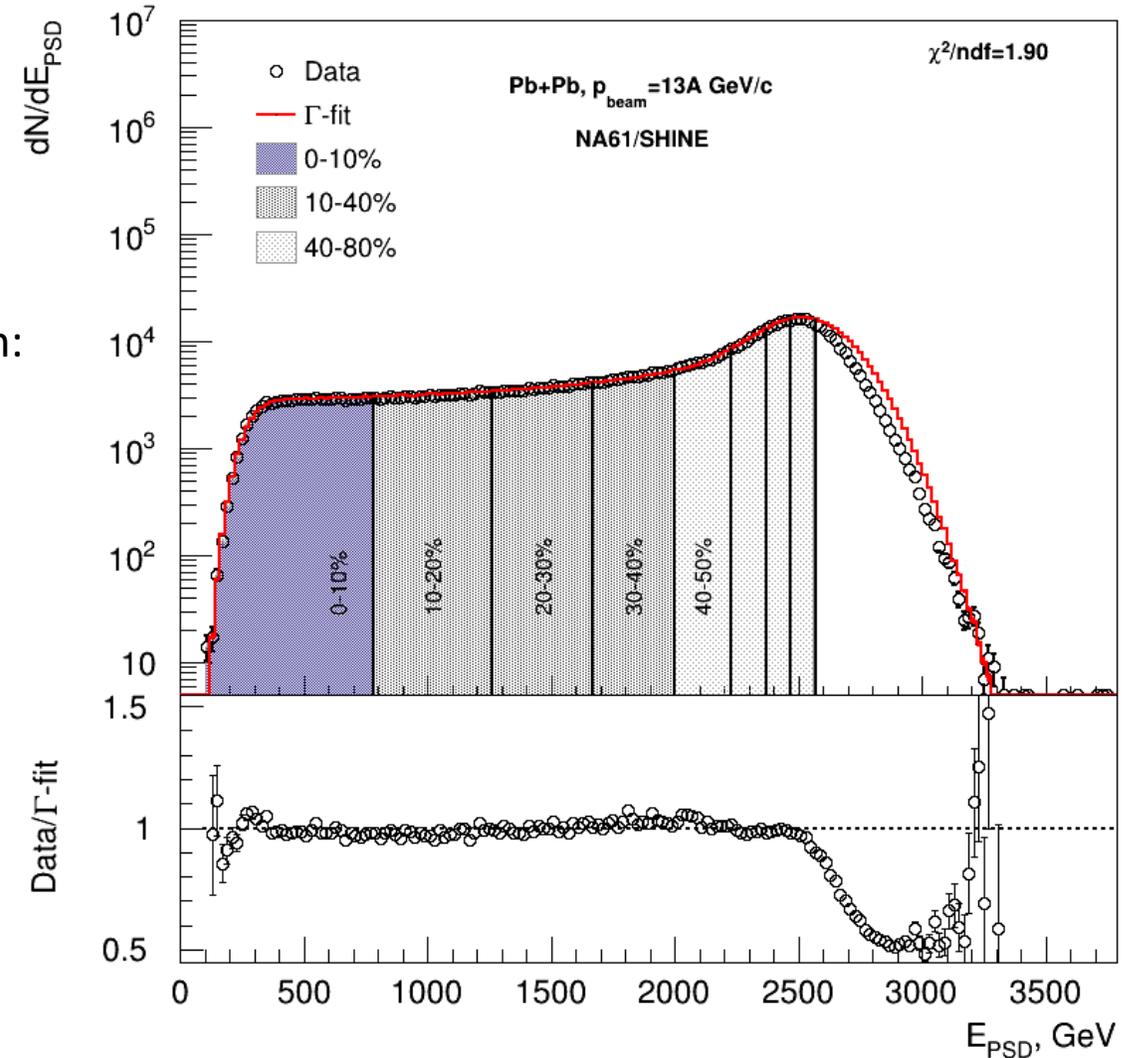
$$P(E) = \int_0^1 P(E | c_b) dc_b$$

- Find probability of  $b$  for fixed range of  $E$  using Bayes' theorem:

$$P(b | E_1 < E < E_2) = P(b) \frac{\int_{E_1}^{E_2} P(b | E) dE}{\int_{E_1}^{E_2} P(E) dE}$$

- The Bayesian inversion method consists of 2 steps:**

- Fit normalized energy distribution with  $P(E)$
- Construct  $P(b | E)$  using Bayes' theorem with parameters from the fit



Good agreement between fit and data in wide energy range

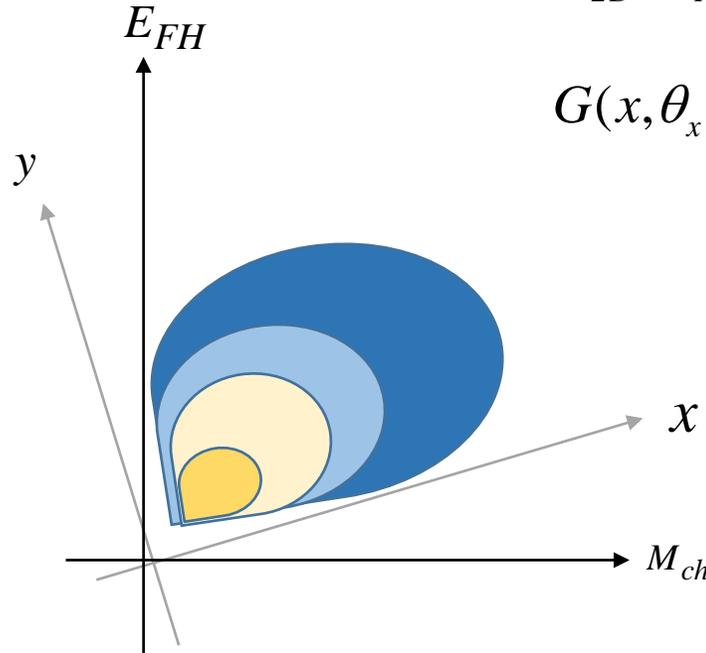
# 2D Gamma distribution

It is possible to find such a rotation angle of the system that  $\text{cov}(x, y) = 0$

Then the two-dimensional distribution in the new coordinate system will be

$$G_{2D}(E_{FH}, M_{ch}, \langle E \rangle, \langle M \rangle, D(E), D(M), R) = G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y)$$

$$G(x, \theta_x, k_x) \cdot G(y, \theta_y, k_y) = \frac{(x)^{k_x(c_b)-1} e^{-x/\theta_x}}{\Gamma(k_x(c_b))\theta_x^2} \cdot \frac{(y)^{k_y(c_b)-1} e^{-y/\theta_y}}{\Gamma(k_y(c_b))\theta_y^2}$$



$$\theta_x = \frac{D(x)}{\langle x \rangle}, \quad k_x = \frac{\langle x \rangle^2}{D(x)}, \quad \theta_y = \frac{D(y)}{\langle y \rangle}, \quad k_y = \frac{\langle y \rangle^2}{D(y)}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2\sqrt{D(E)D(M)R(E,M)}}{D(E) - D(M)}\right)$$

mean value and variance in the new coordinate system

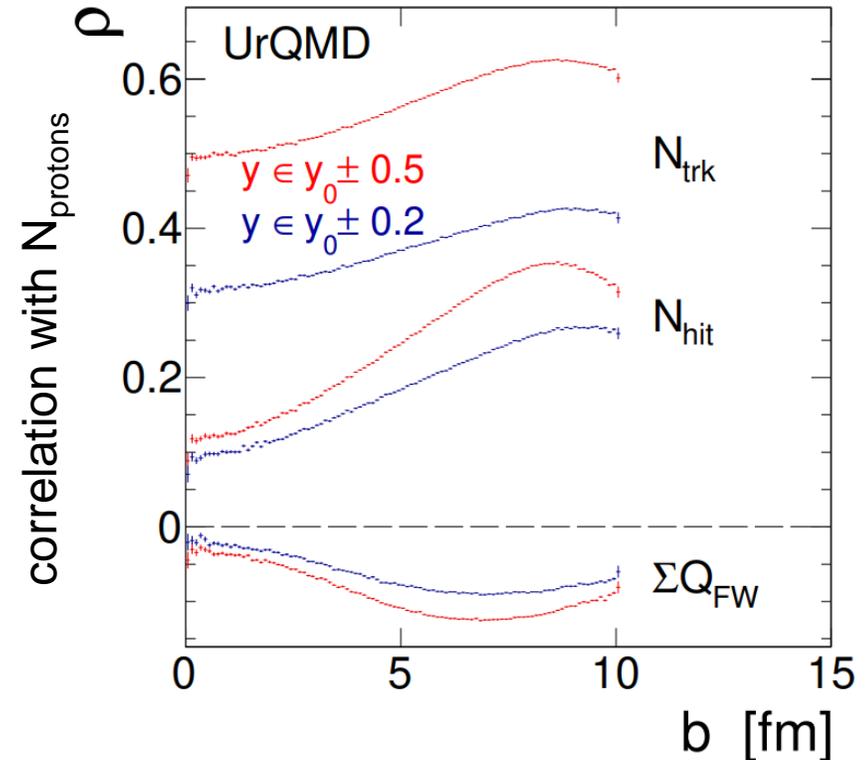
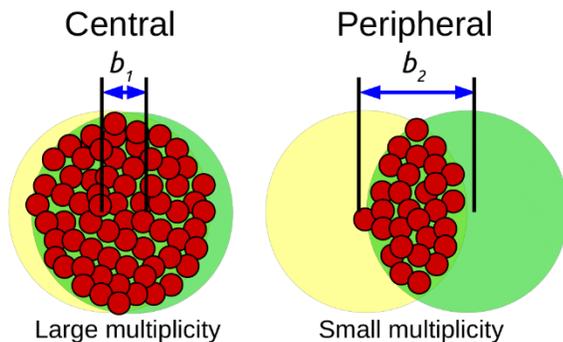
$$\langle x \rangle = \cos(\alpha)\langle E \rangle + \sin(\alpha)\langle M \rangle \quad D(x) = D(E)\cos(\alpha)^2 + R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\sin(\alpha)^2$$

$$\langle y \rangle = -\sin(\alpha)\langle E \rangle + \cos(\alpha)\langle M \rangle \quad D(y) = D(E)\sin(\alpha)^2 - R(E, M)\sqrt{D(E)D(M)}\sin(2\alpha) + D(M)\cos(\alpha)^2$$

# Определение центральности в эксперименте

- Эволюция материи, образующейся при столкновениях тяжелых ионов, зависит от ее начальной геометрии
- Процедура определения центральности сопоставляет параметры начальной геометрии с измеряемыми величинами (множественность или энергия нуклонов спектаторов).
- Это позволяет сравнить будущие результаты **BM@N** с данными из других экспериментов (STAR BES, NA49/NA61) и теоретическими моделями

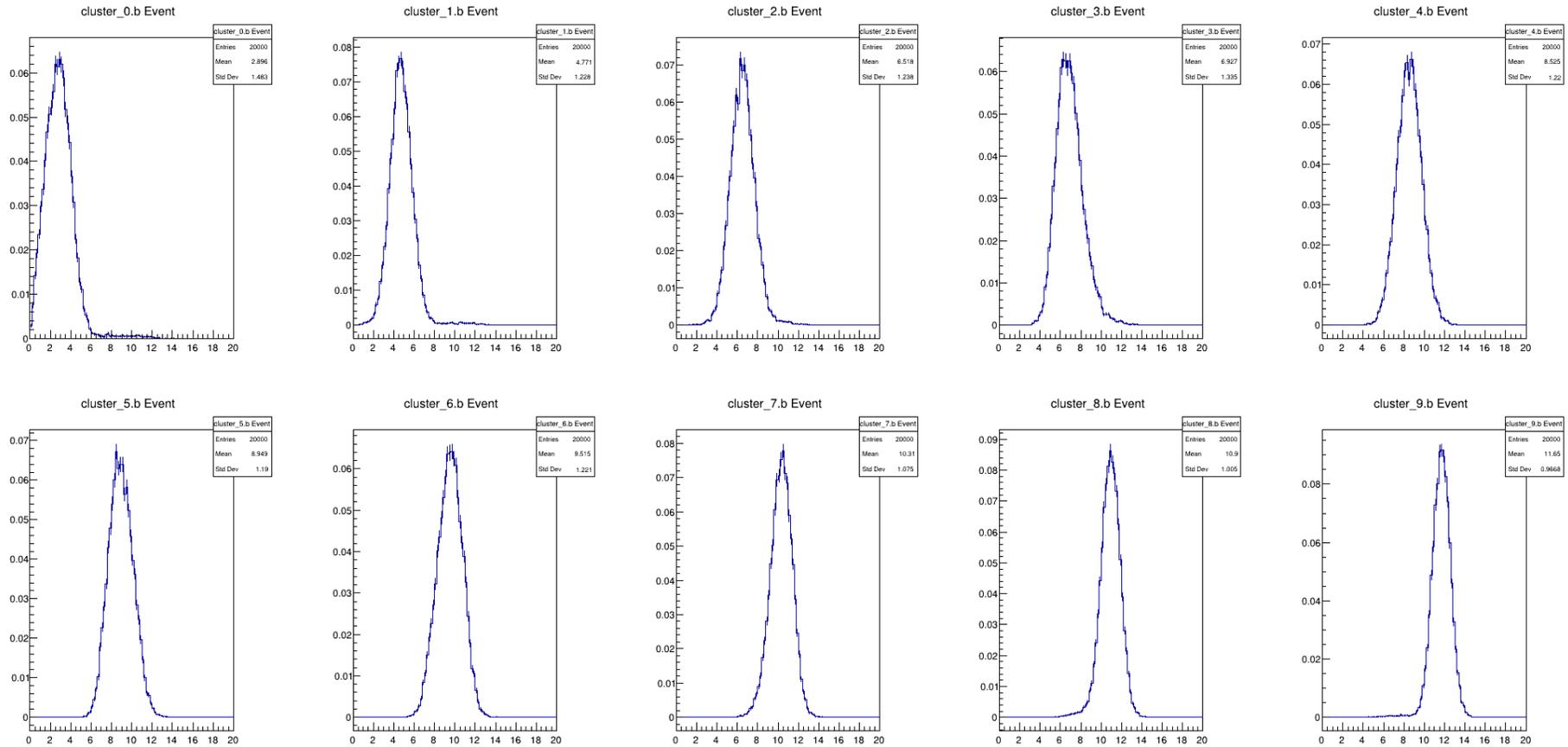
$$c(b) = \frac{\int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'}{\int_0^\infty \frac{d\sigma}{db'} db'} = \frac{1}{\sigma_{A-A}} \int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'$$



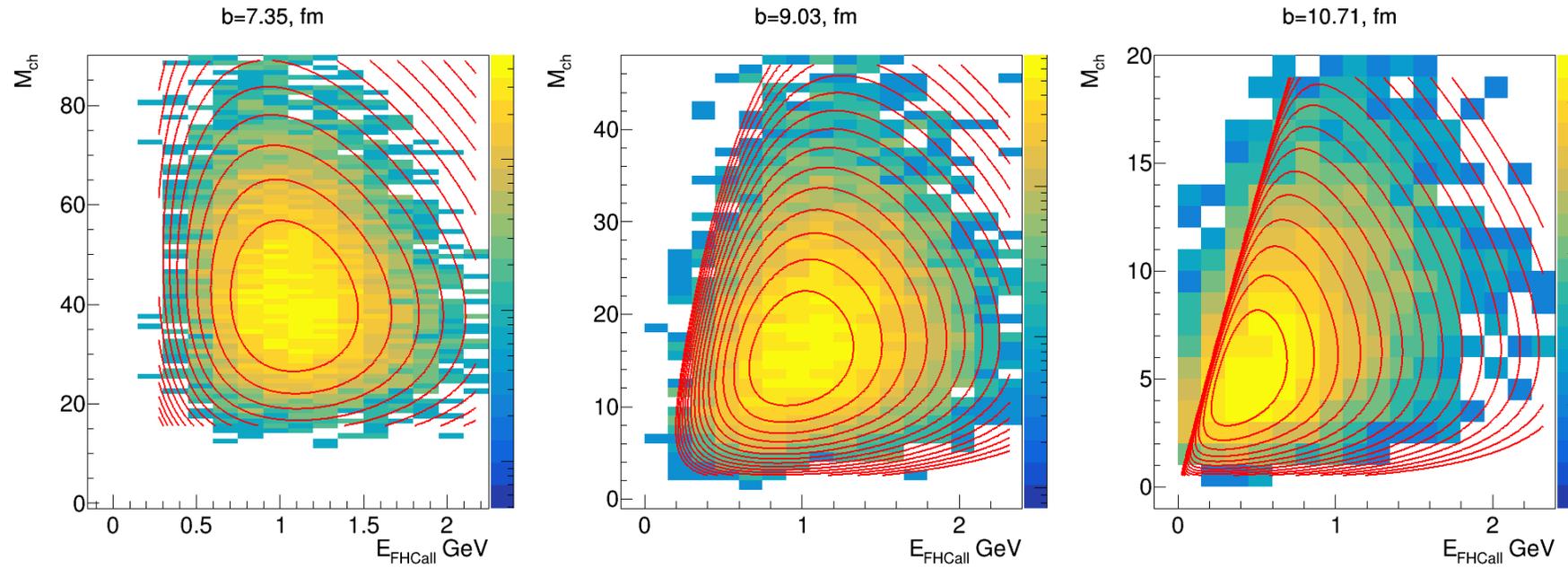
HADES; Phys.Rev.C 102 (2020) 2, 024914

- Множественность рожденных протонов сильнее коррелирует с множественностью заряженных частиц (треки в RPC+TOF хиты), чем с суммарным зарядом фрагментов-спектров (FW)
- для подавления эффекта автокорреляции необходимо использовать спектаторы для оценки центральности

# Impact parameter distribution for centrality classes



# The fluctuation of energy and multiplicity at fixed impact

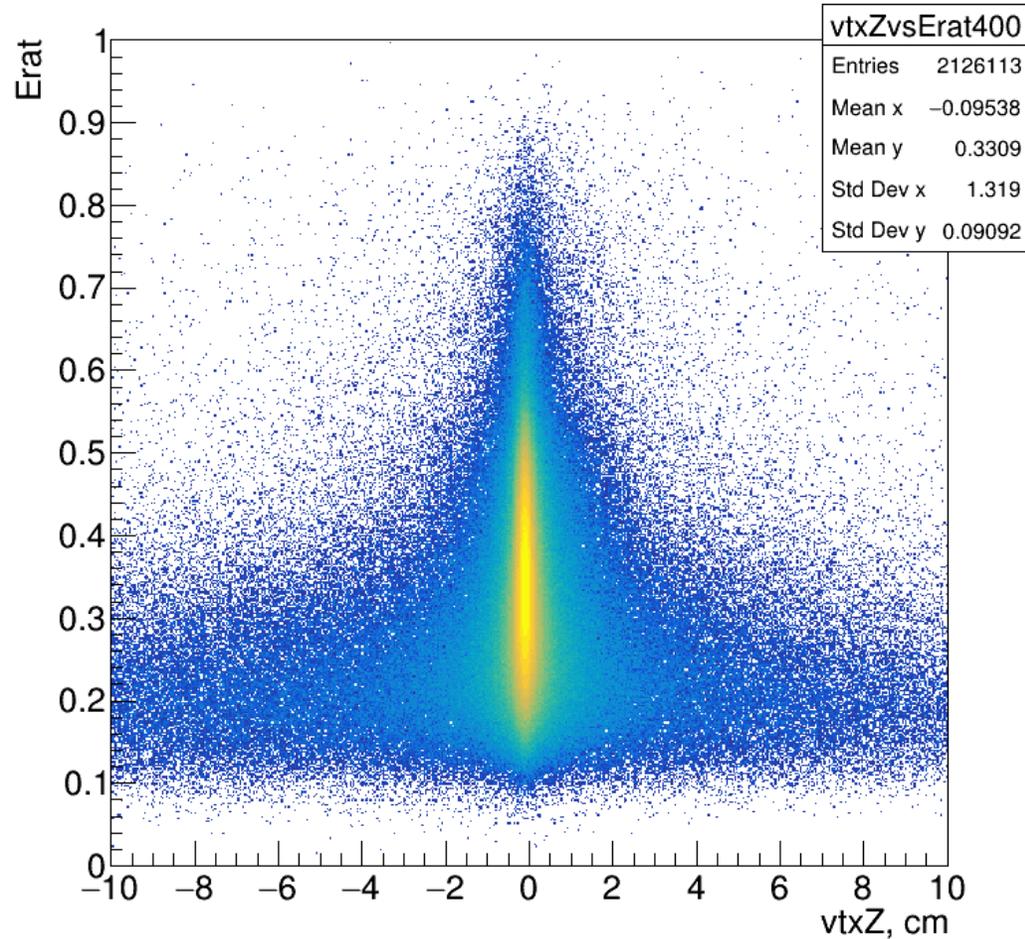


The distribution of energy and multiplicity at a fixed impact parameter is well described by the gamma distribution

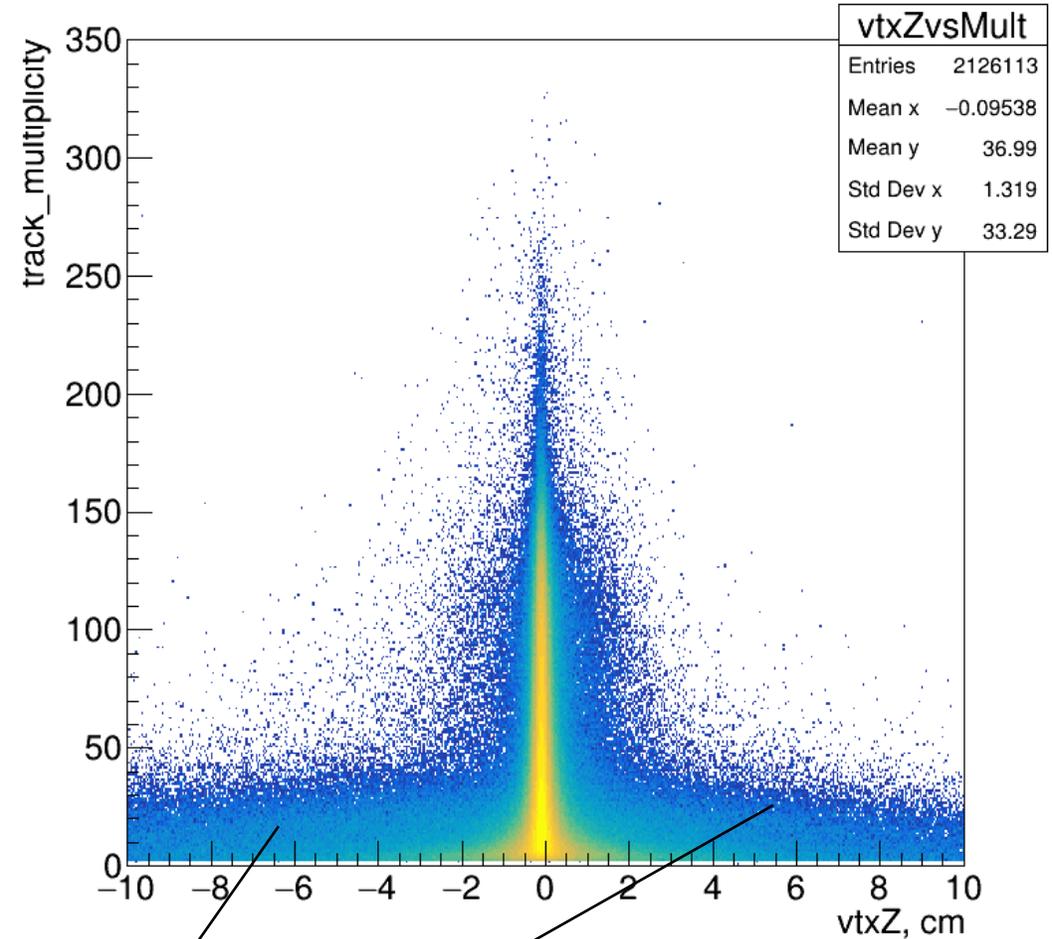
- Find probability of  $b$  for fixed range of  $E$  and  $M$  using Bayes' theorem:

$$P(b | E_1 < E < E_2, M_1 < M < M_2) = P(b) \frac{\int_{E_1}^{E_2} \int_{M_1}^{M_2} P(E, M | c_b) dM dE}{\int_{E_1}^{E_2} \int_{M_1}^{M_2} \int_0^1 P(E, M | c_b) dM dE dc_b}$$

# Event cleaning

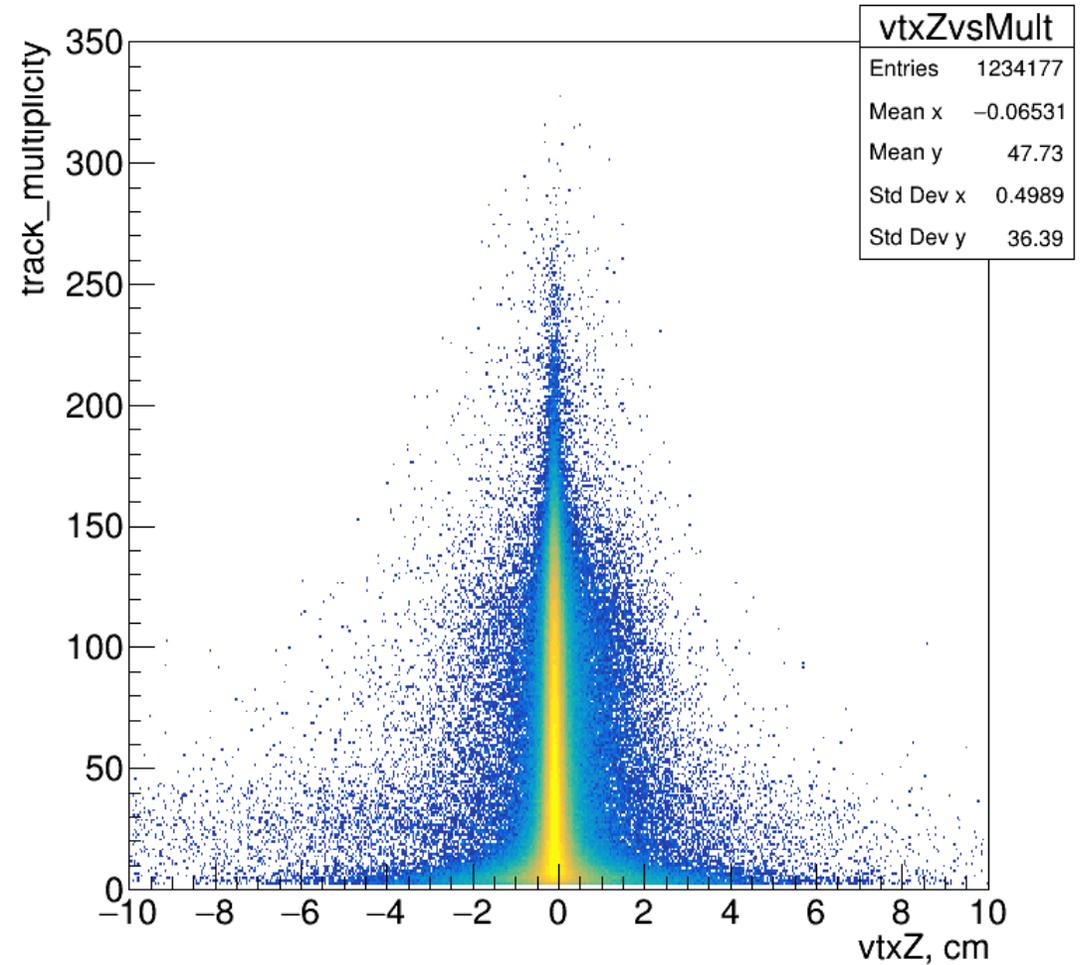
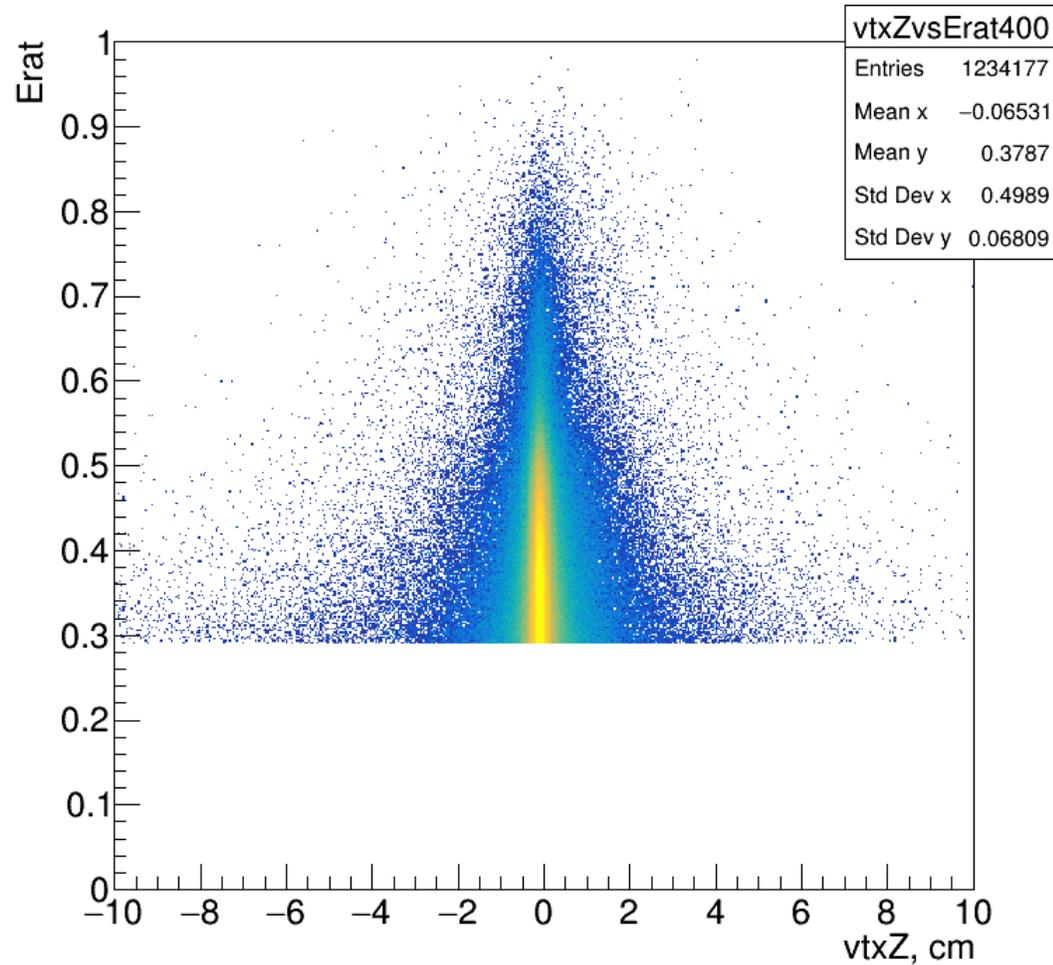


$Erat = \sum E_t / \sum E_l$  – ratio of transverse energy to longitudinal



background due to the interaction with a pipe or kapton

# Event cleaning

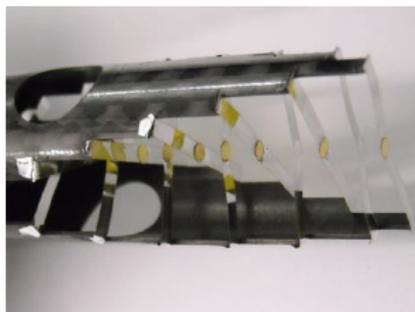


The most of the background has been suppressed after cuts for  $E_{rat} > 0.29$  and vertex position  $(V_x - 0.3)^2 + (V_y - 0.14)^2 < 1$  cm

# Event cleaning in HADES

## Segmented gold target:

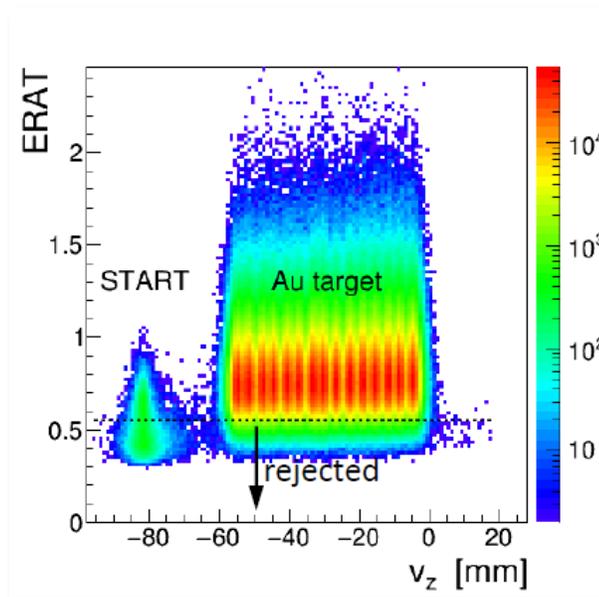
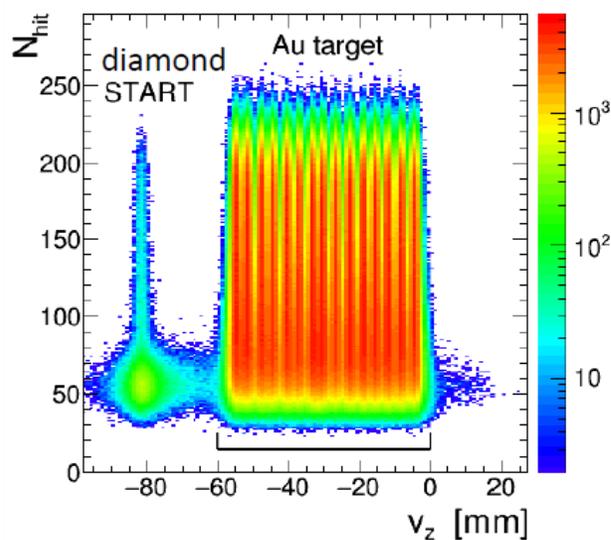
- $^{197}\text{Au}$  material
- 15 discs of  $\varnothing = 2.2$  mm mounted on kapton strips
- $\Delta z = 3.6$  mm
- 2.0% interaction prob.



Kindler et al.,  
NIM A 655 (2011) 95

Remove Au+C bkgd on the kapton with a cut on  $ERAT = \sum E_t / \sum E_l$

Event vertex cut on target region



beam direction →

# Reconstruction of $b$

- Normalized multiplicity distribution  $P(N_{ch})$

$$P(N_{ch}) = \int_0^1 P(N_{ch}|c_b)dc_b$$

- Find probability of  $b$  for fixed range of  $N_{ch}$  using Bayes' theorem:

$$P(b|n_1 < N_{ch} < n_2) = P(b) \frac{\int_{n_1}^{n_2} P(N_{ch}|b)dN_{ch}}{\int_{n_1}^{n_2} P(N_{ch})dN_{ch}}$$

- The Bayesian inversion method consists of 2 steps:**

–Fit normalized multiplicity distribution with  $P(N_{ch})$

–Construct  $P(b|N_{ch})$  using Bayes' theorem with parameters from the fit

