

Байесовский подход в определении центральности с помощью переднего адронного калориметра

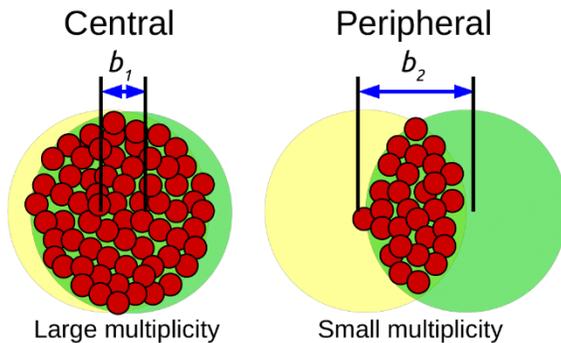
Дим Идрисов, Олег Голосов, Илья Сегаль, Аркадий Тараненко,
(НИЯУ МИФИ)

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН
1 - 5 апреля 2024

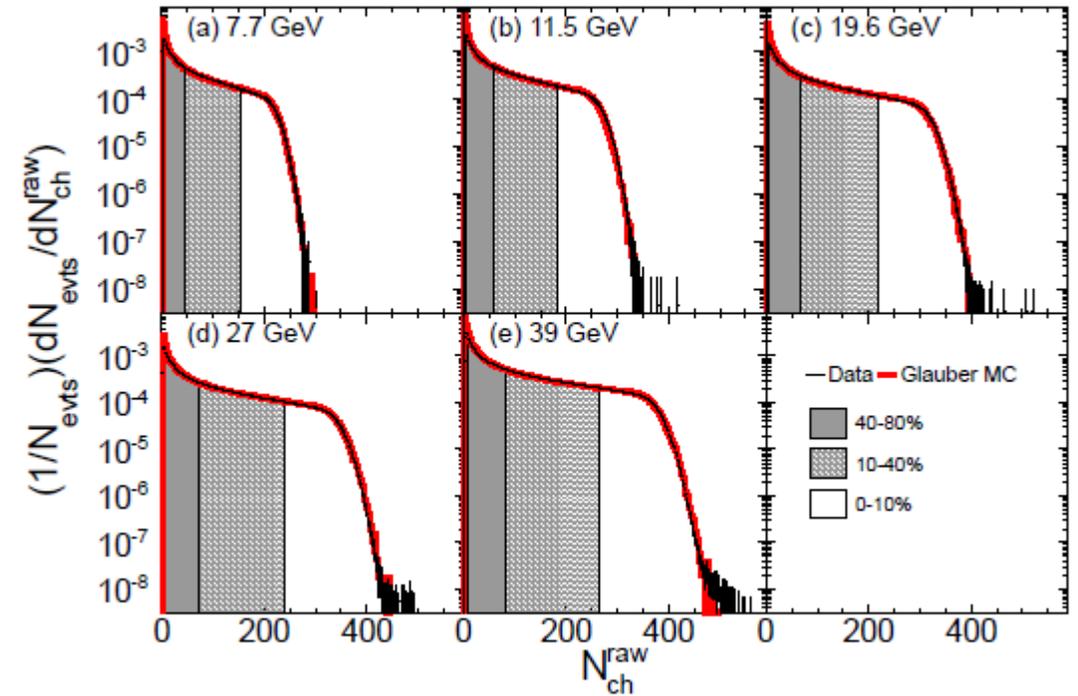
Дубна, Россия

Определение центральности в эксперименте

- Эволюция сильно-взаимодействующей материи, образующегося при столкновениях тяжелых ионов, зависит от его начальной геометрии
- Прицельный параметр не может быть определен напрямую из эксперимента.
- Связь между прицельным параметром и распределением множественности, в эксперименте, находится с помощью метода Монте Карло Глаубера

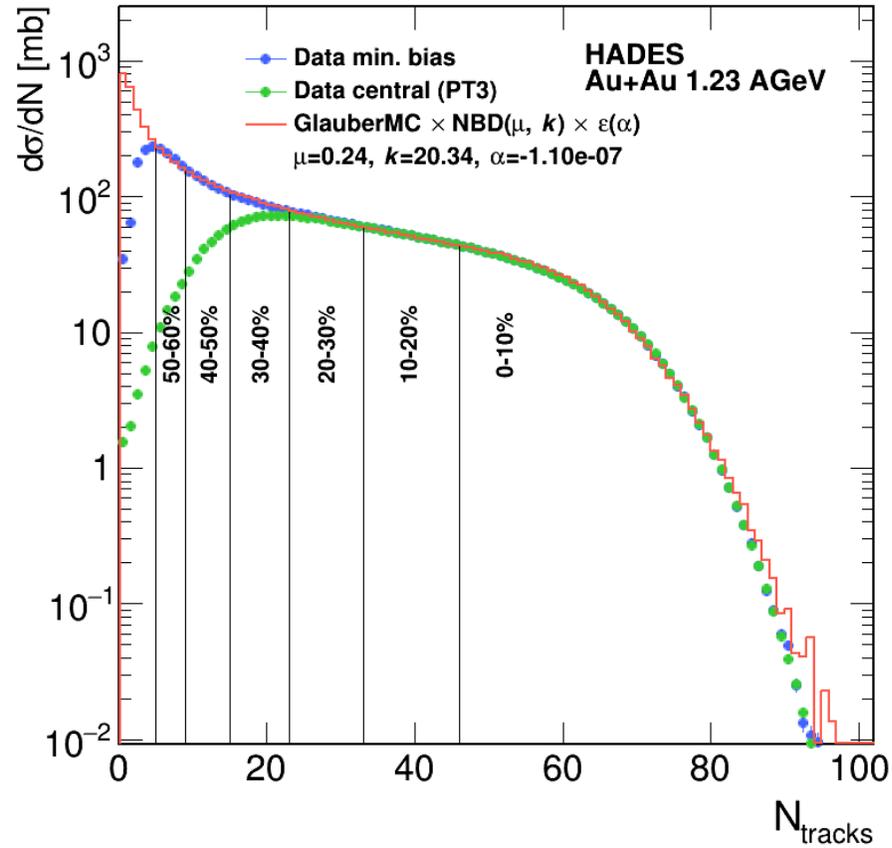


Phys. Rev. C 86 (2012) 54908



Результаты фитирования распределения множественности заряженных частиц в эксперименте STAR

Определение центральности в эксперименте с фиксированной мишенью



The cross section as a function of N_{tracks} for minimum bias (blue symbols) and central (PT3 trigger, green symbols) data in comparison with a fit using the Glauber MC model (red histogram).

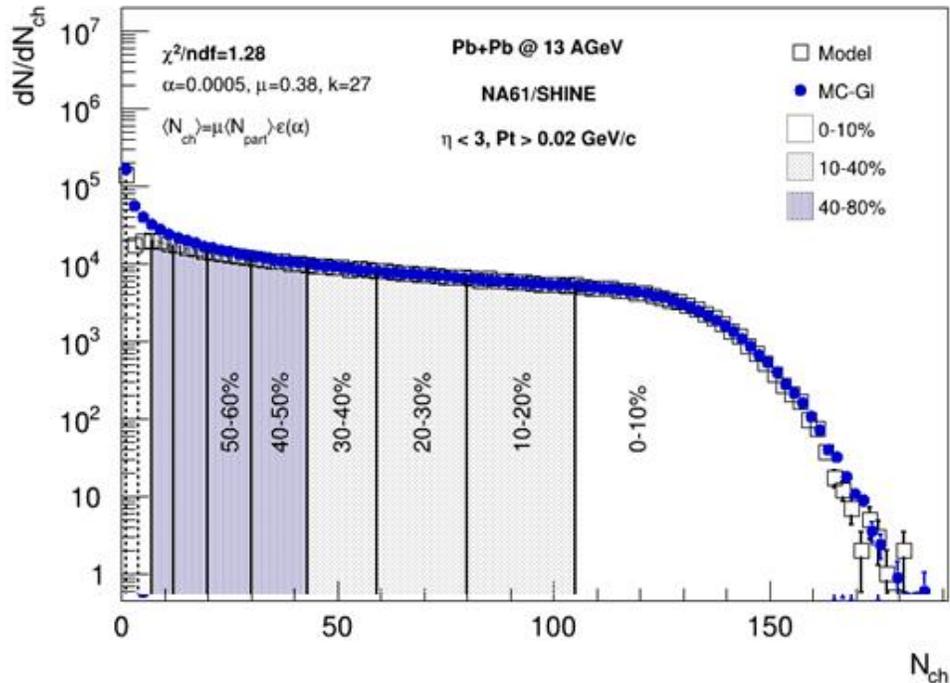
Для учета эффективности детекторной системы используется феноменологическая функция

$$\epsilon(\alpha) = 1 - \alpha \cdot N_{\text{part}}^2.$$

Вид этой функции был получен в результате симуляции отклика детекторной системе на основе пакета GEANT3.3 и модели UrQMD.

<https://arxiv.org/abs/1712.07993>

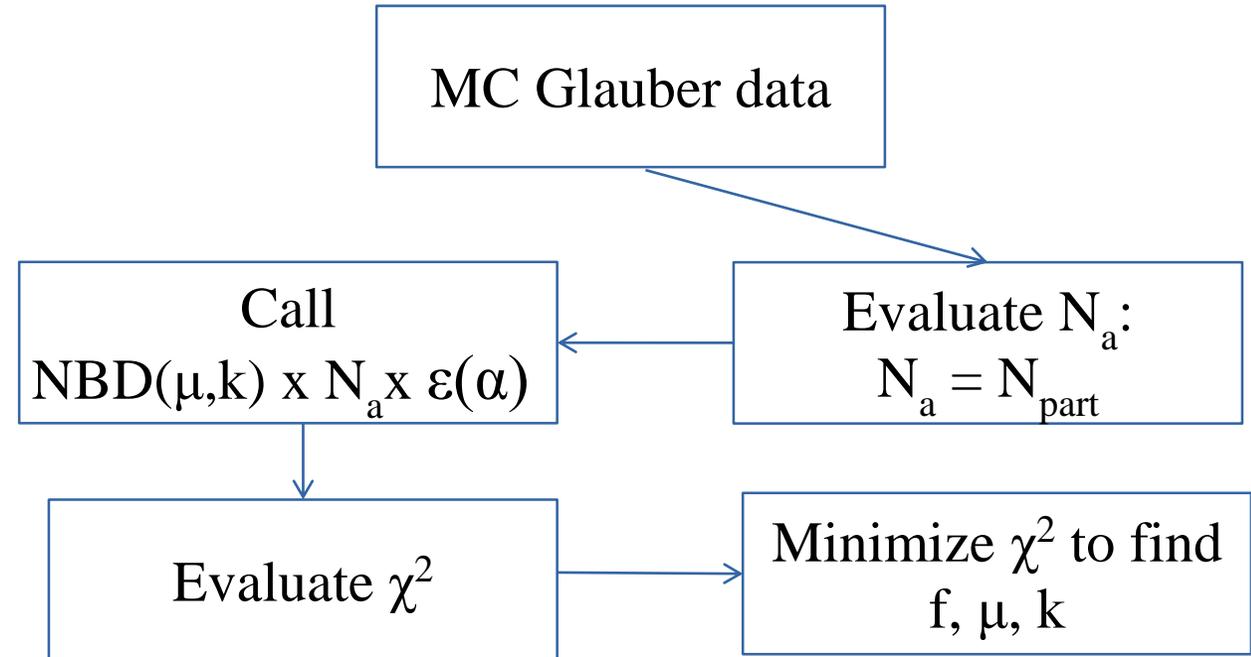
Процедура определения центральности на основе модели Глаубера



Распределение Вудса-Саксона

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

R-радиус ядра, a-коэффициент диффузии



NBD – отрицательное биномиальное распределение

Параметры фита:

α – коэффициент в функции эффективности

μ – среднее значение множественности

k – ширина распределения множественности

This centrality procedure was used in CBM, NA49, and NA61/SHINE:

•I. Segal, I. Selyuzhenkov et al., J.Phys.Conf.Ser. 1690 (2020) 1, 012107

Implementation for MPD: <https://github.com/FlowNICA/CentralityFramework>

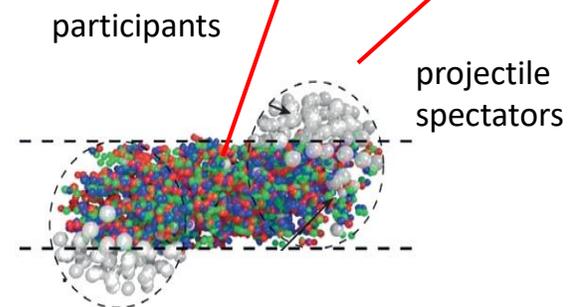
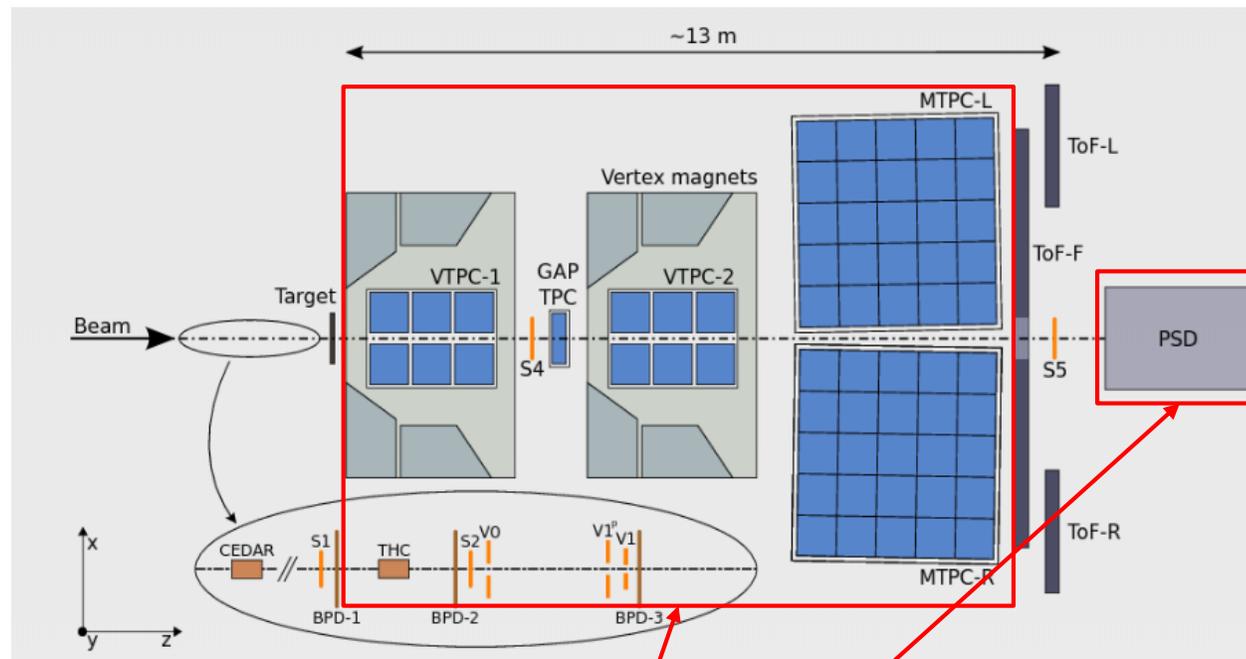
Экспериментальная установка NA61/SHINE

Данные использованный в анализе:

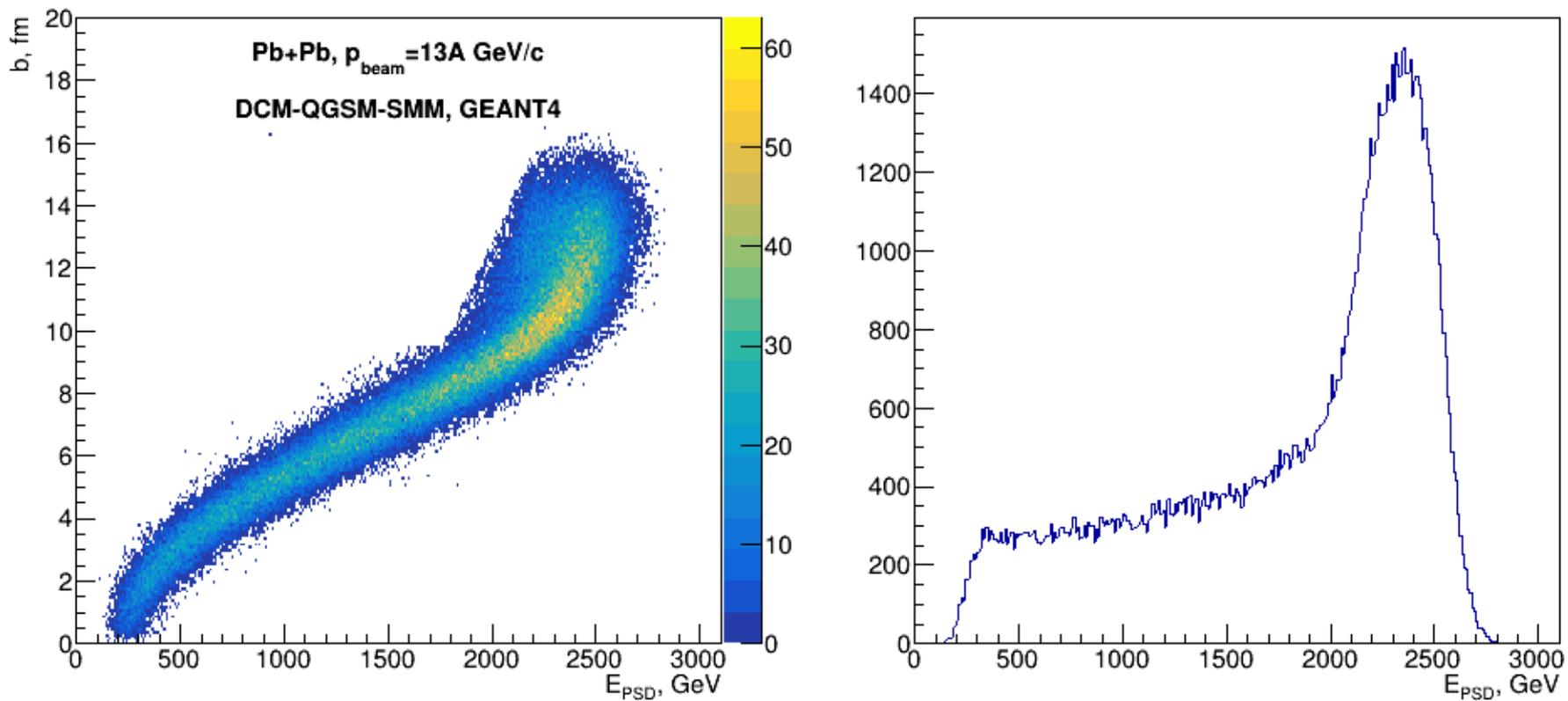
- Pb-Pb @ $p_{\text{beam}} = 13A \text{ GeV}/c$
- data from 2016 physics run
- DCM-QGSM-SMM x Geant4
[M.Baznat et al. PPNL 17 \(2020\) 3, 303](#)

Подсистемы используемые для определения
центральности

- Множественность: TPCs
- Энергия спектаторов: PSD



Корреляция между энергиями спектаторов и прицельным параметром



Результаты симуляций показывают сильную корреляцию между прицельным параметром и энергиями спектаторов, измеренных в переднем адронном калориметре

Основные положения метода прямой реконструкции

- Распределение E при фиксированном b может быть описано Гамма распределением:

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

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

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

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

$$\langle E \rangle = \mu_1 \langle E'(c_b) \rangle + \lambda_1, \quad D(E) = \mu_2 D(E'(c_b))$$

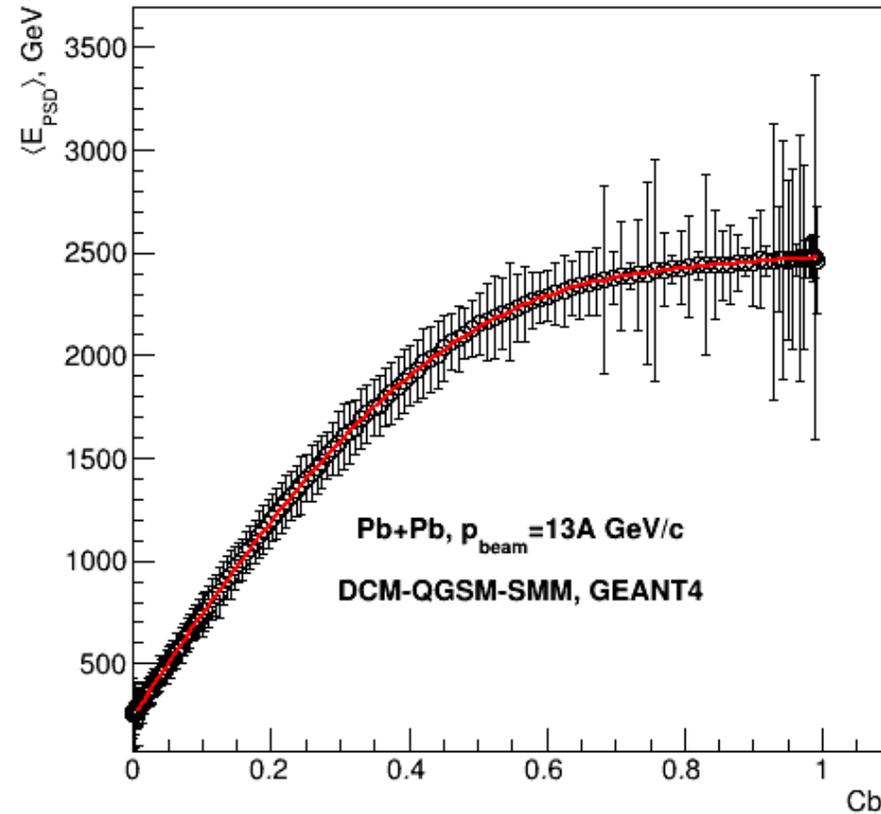
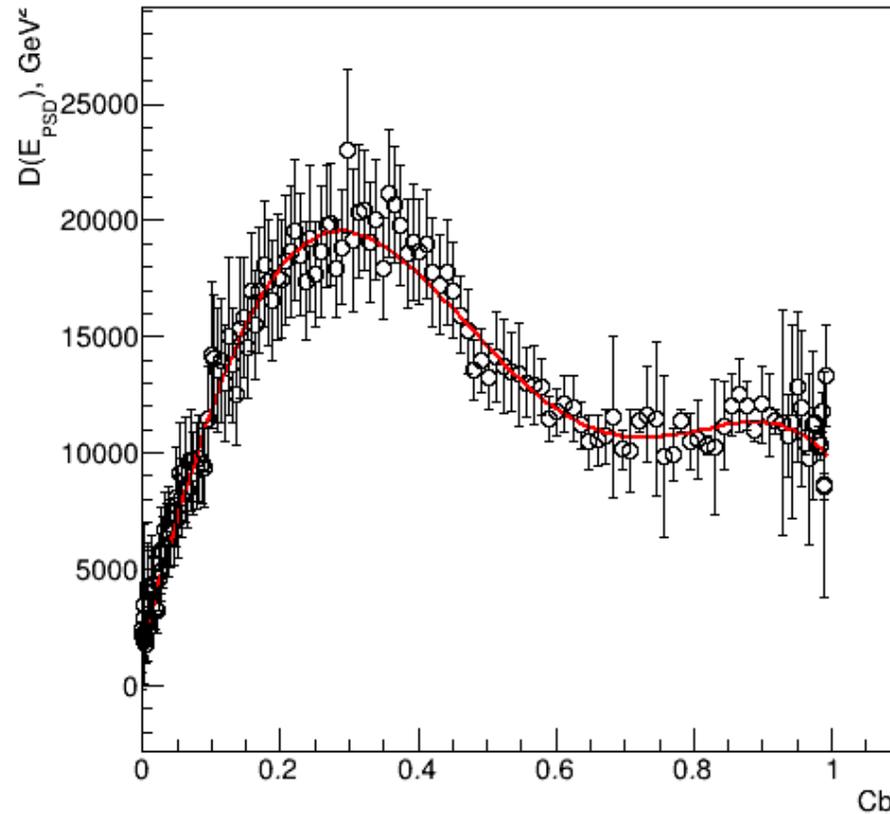
$\langle E'(c_b) \rangle$, $D(E'(c_b))$ – средние значение и дисперсия Энергии из симуляций

В итоге имеем три параметра фита μ_1, μ_2, λ_1

$\langle E'(c_b) \rangle$, $D(E'(c_b))$ - получаются в результате фита

$$\langle E'(c_b) \rangle = \sum_{j=1}^8 a_j c_b^j, \quad D(E'(c_b)) = \sum_{j=1}^6 b_j c_b^j$$

Зависимость среднего значения и дисперсии энергии от центральности



Слева представлена зависимость дисперсии энергии спектров из модели DCM-QGSM-SMM, красная линия изображает результаты фита полиномом.

Справа зависимость средней энергии от центральности, красная линия – результат фита полиномом.

Процедура реконструкции прицельного параметра

- Фитирование отнормированного распределения $P(E)$

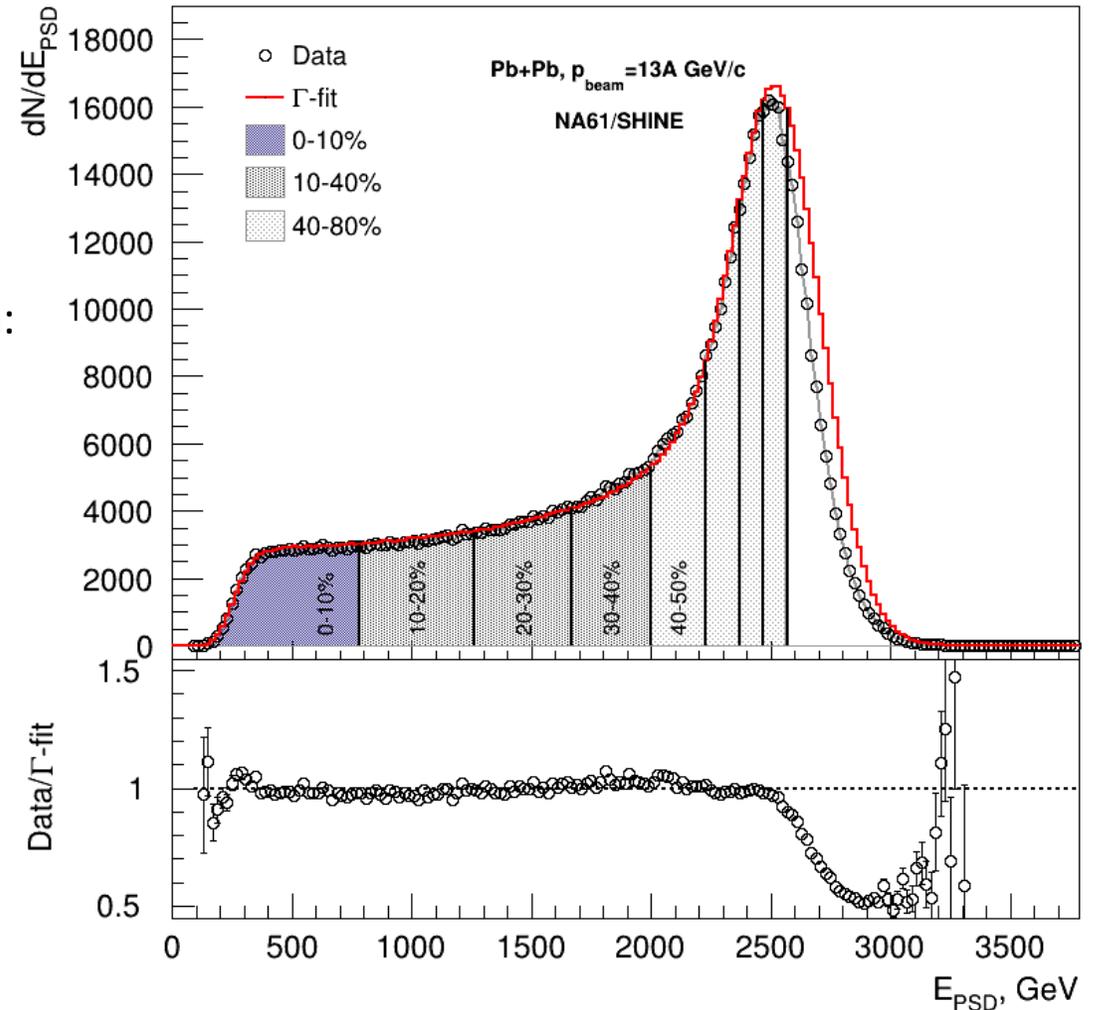
$$P(E) = \int_0^1 P(E | c_b) dc_b$$

- Нахождение распределения b с помощью теоремы Байеса:

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

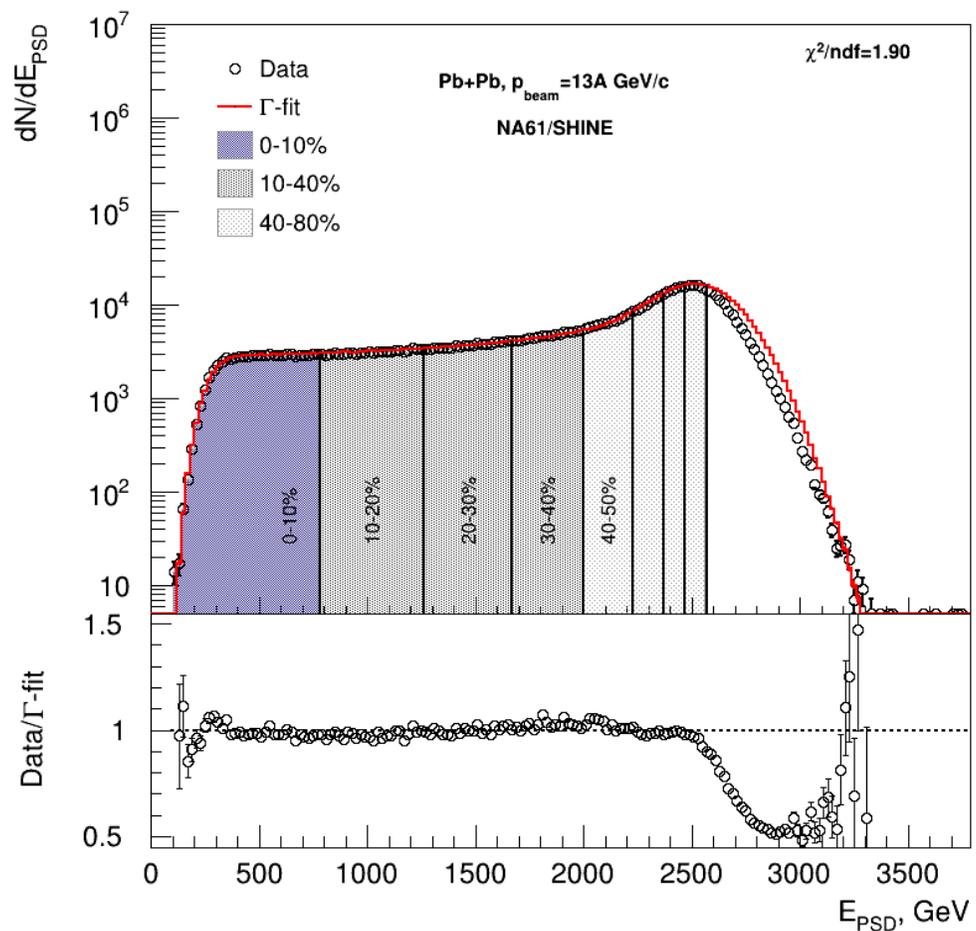
Метод реконструкции состоит из двух основных этапов

- Фитирование отнормированного распределения энергии спектаторов
- Реконструкция прицельного параметра с помощью теоремы Байеса

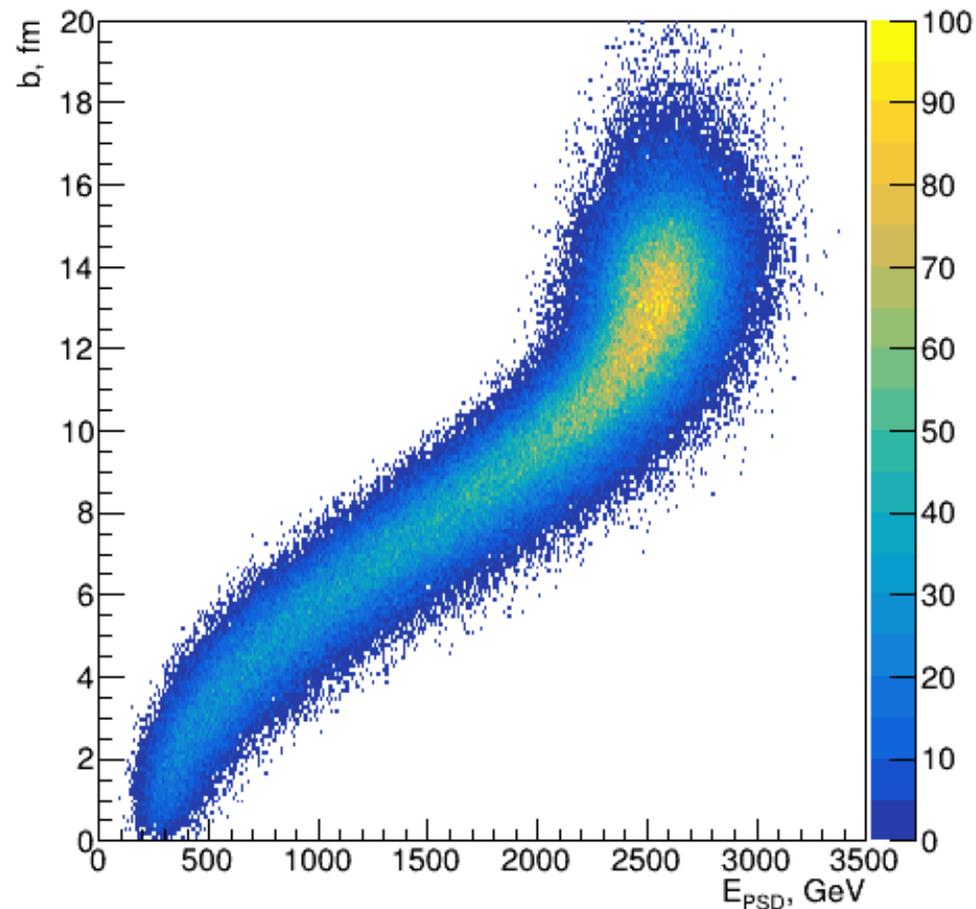


Хорошие согласие между результатами фита и данными

Результаты определения центральности в эксперименте NA61

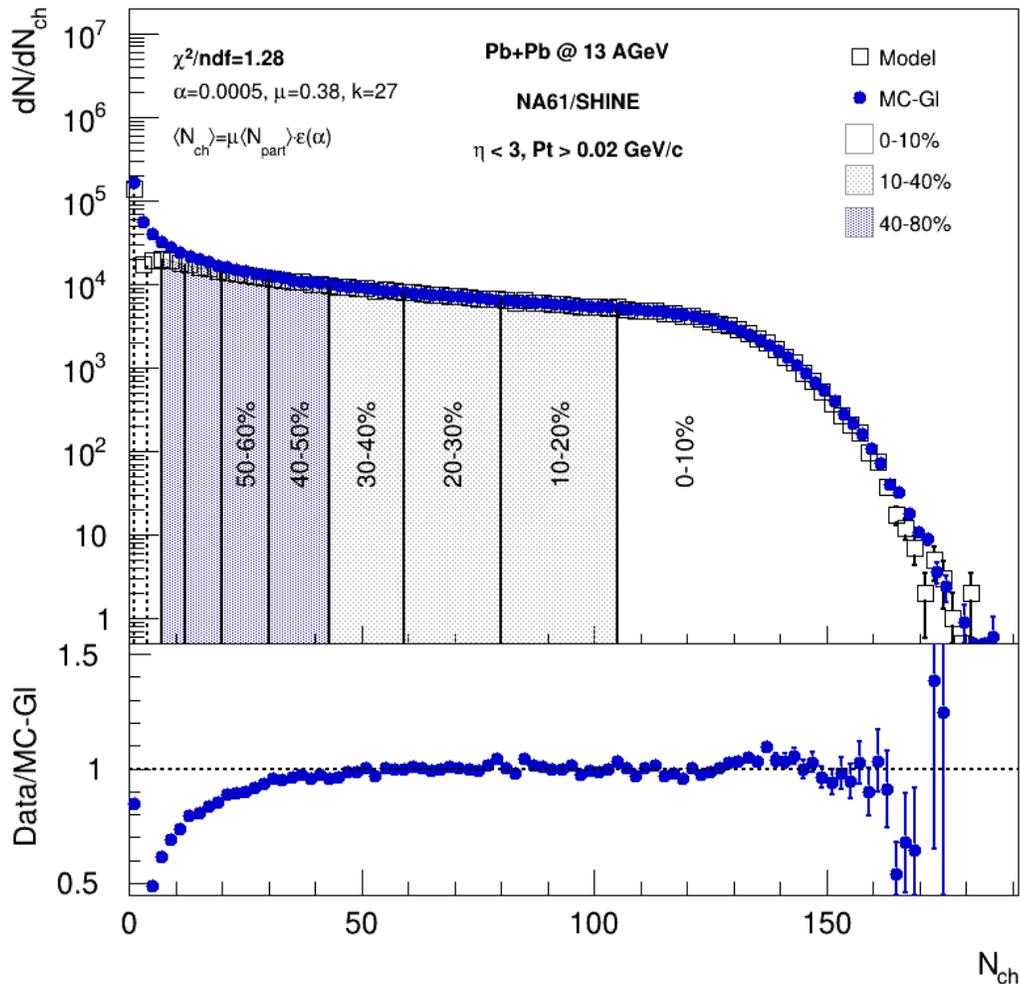


Различие в периферийных столкновениях возникает из-за эффективности детекторов

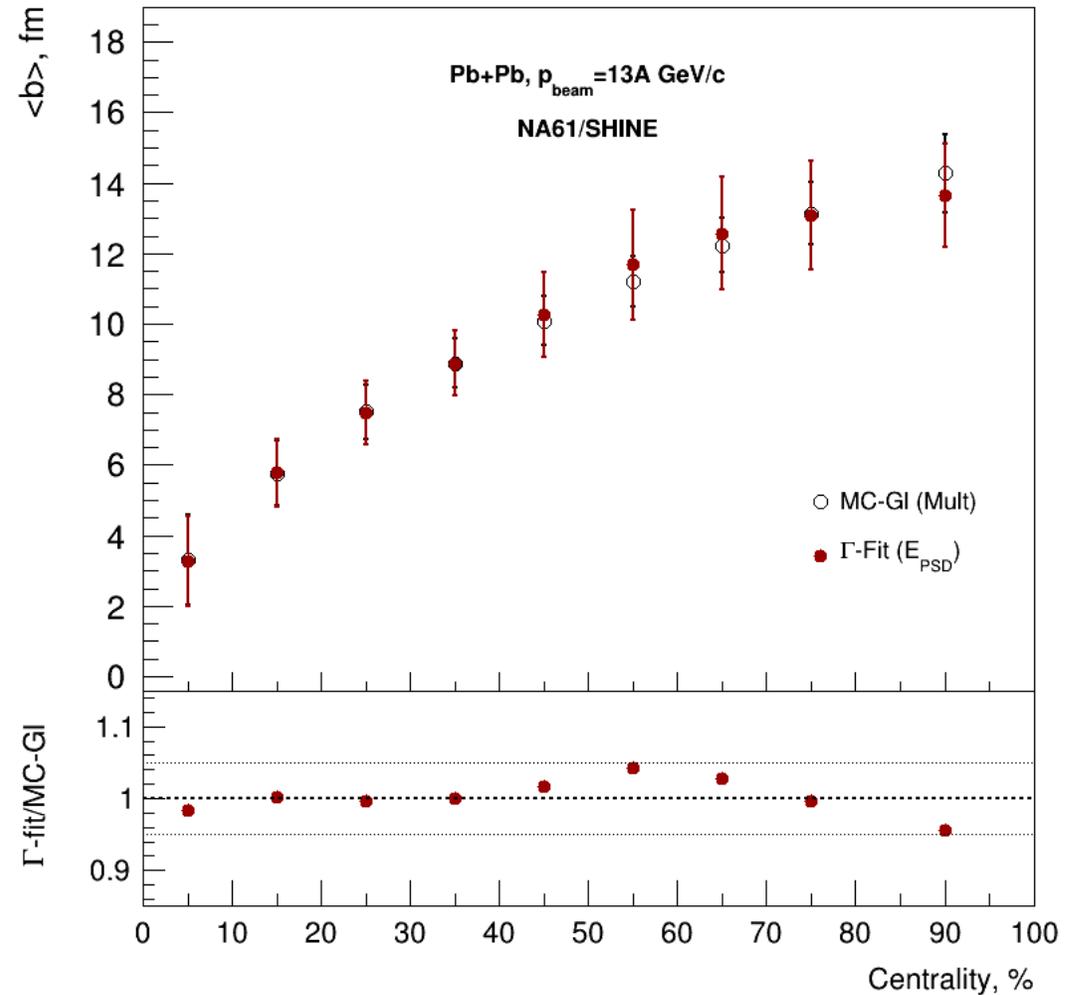


Новый метод хорошо воспроизводит корреляцию между прицельным параметром и энергий спектаторов

Сравнение результатов с методом MC-Glauber

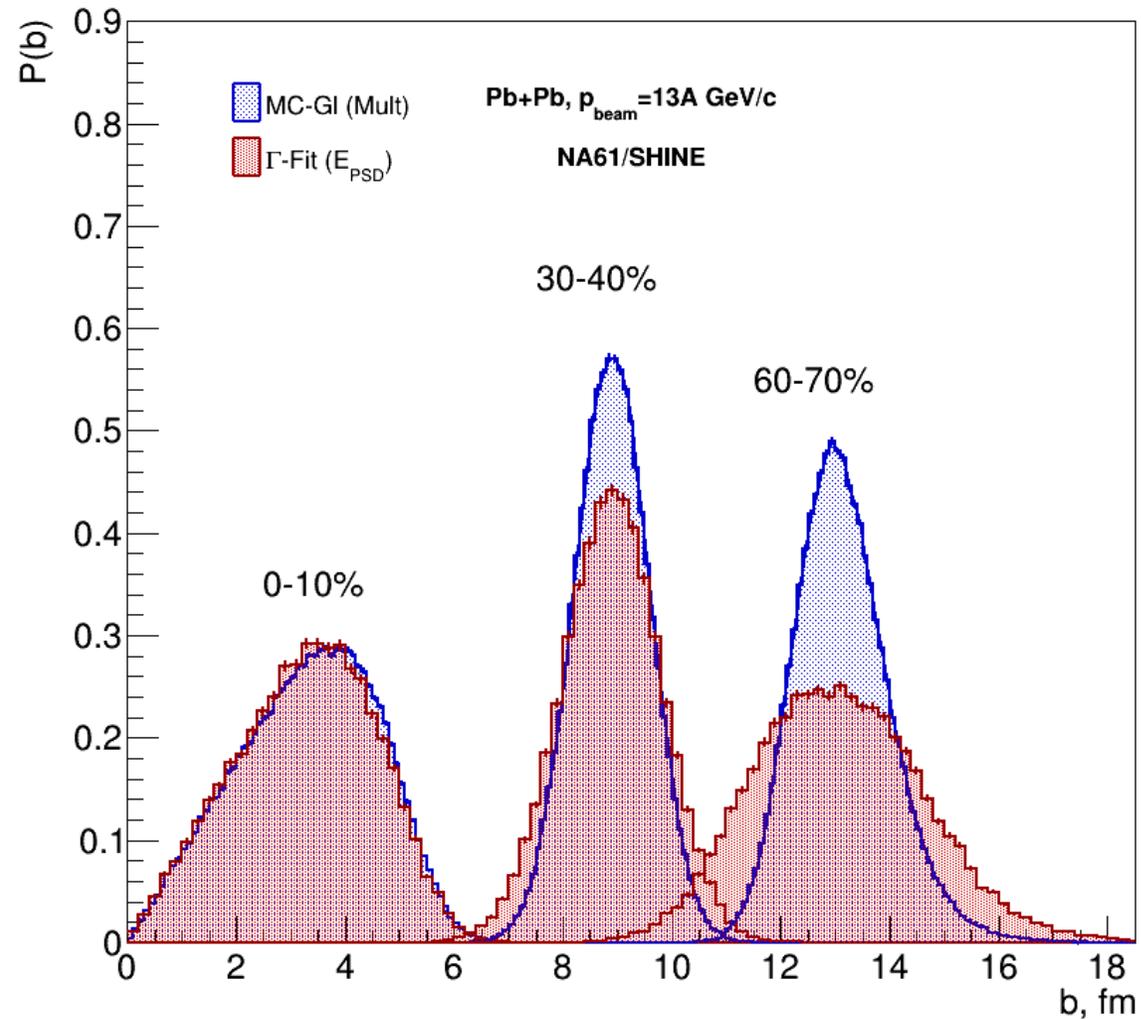


Распределение множественности заряженных частиц хорошо описывается моделью Глаубера



Распределения среднего значения прицельного параметра согласуются в пределах 5%. 11

Сравнение распределения прицельного параметра



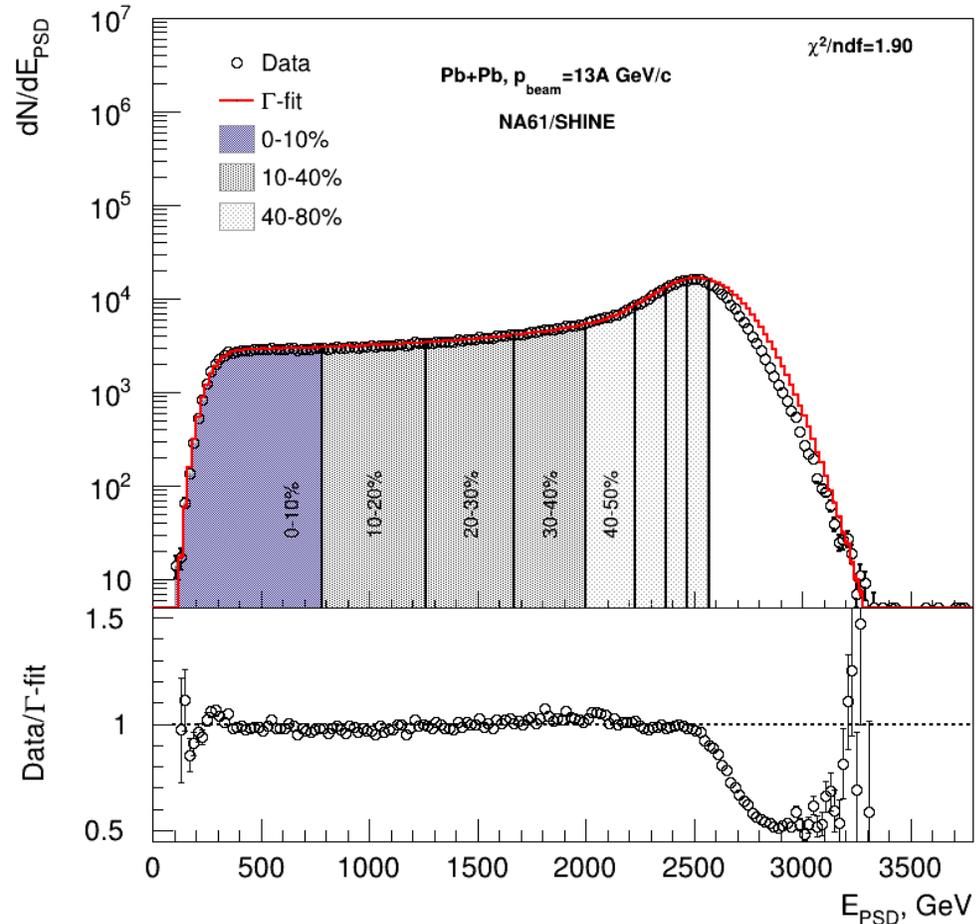
Различие в распределениях возрастает в более периферийных столкновениях

Заключение

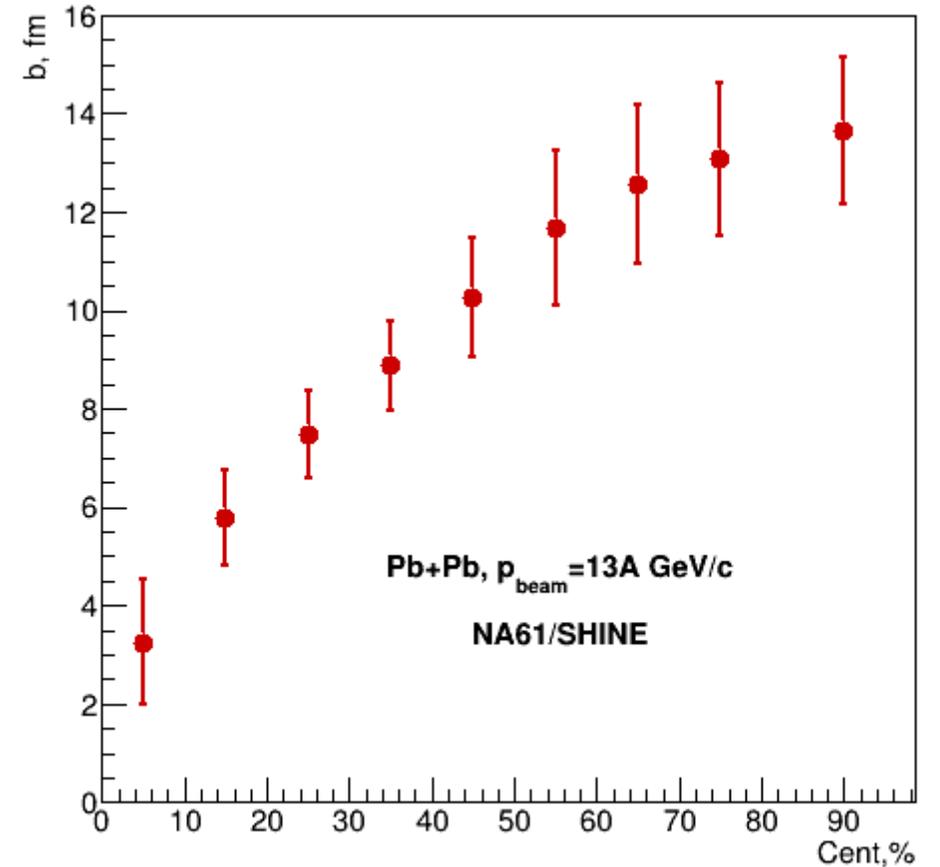
- В работе предложен новый метод определения центральности на основе распределения энергии нуклонов в переднем адронном калориметре.
- Процедура определения центральности протестирована на экспериментальных данных NA61/SHINE
- Полученные результаты находятся в хорошем согласии с результатами из MC-Glauber
- В дальнейшем планируется усовершенствование метода для определения центральности с помощью FNCaI в экспериментах BM@N/MPD.

Thank you for your attention!

Результаты определения центральности в NA61

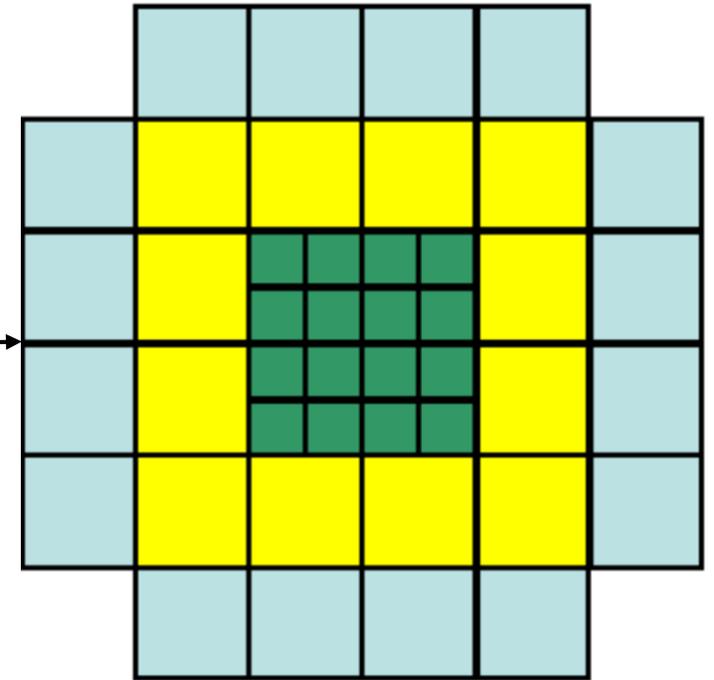
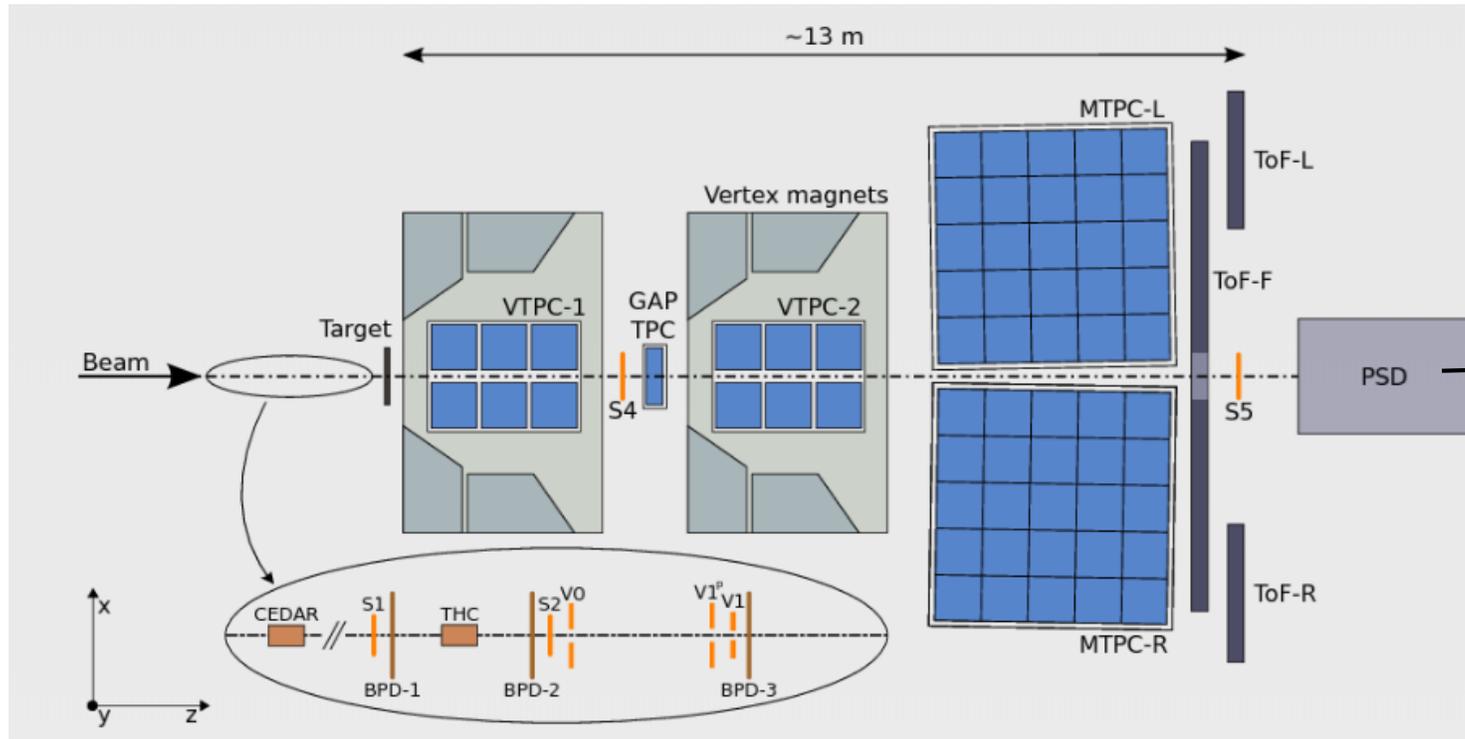


Различие в периферийных столкновениях возникает из-за эффективности детекторов



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

NA61/SHINE experimental setup



PSD detector layout