



Физический факультет  
Московского  
государственного университета  
имени М. В. Ломоносова

# Восстановление плоскости реакции в эксперименте $BM@N$

Выполнил студент 409 группы:

Чинарьян Арташес Рубенович

Научный руководитель:

доцент кафедры ФЭЧ, к.ф.-м.н.

Леонтьев Владимир Викторович

Научный консультант:

Ведущий научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ,

к.ф.-м.н. Мерц Сергей Павлович

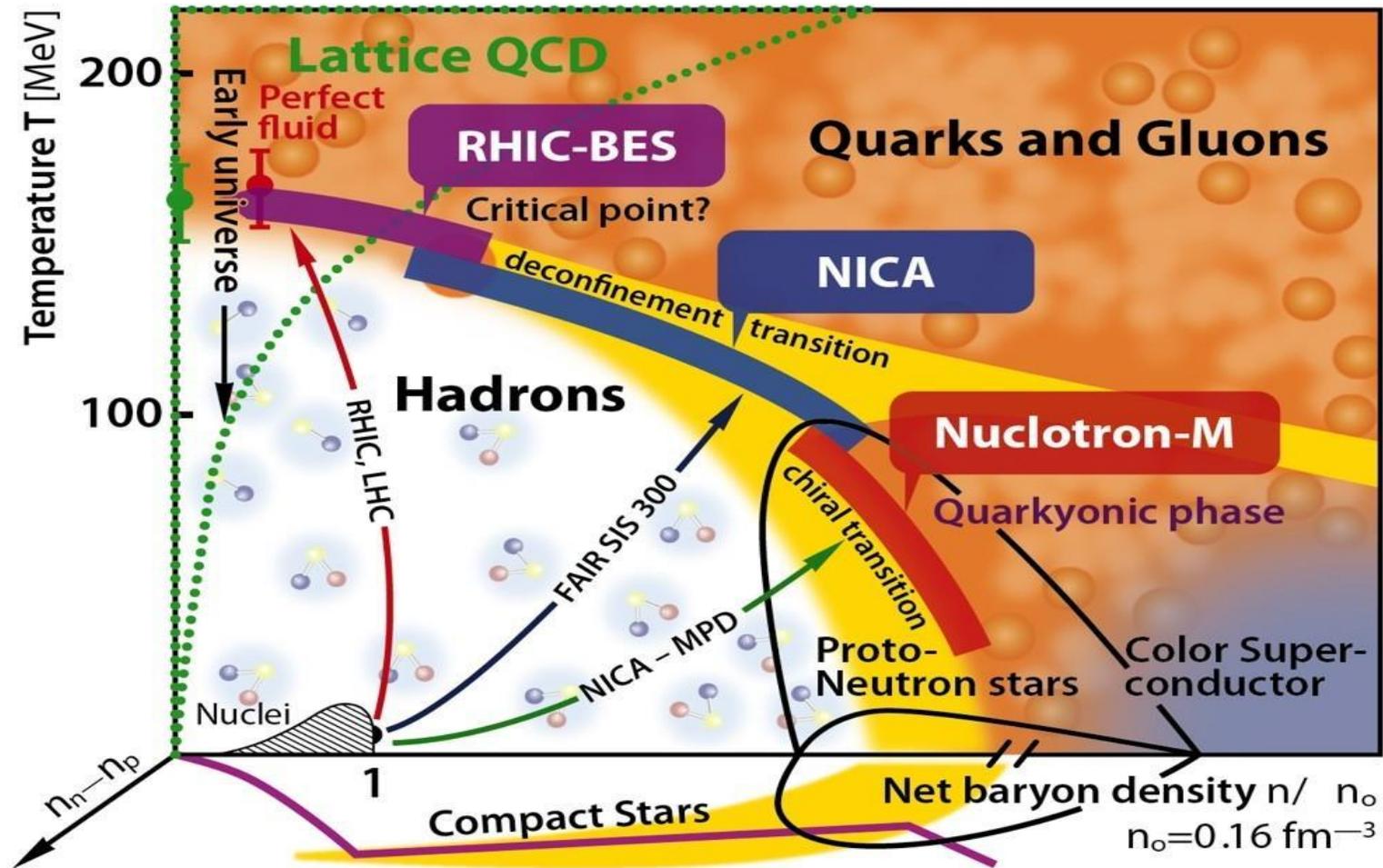
2022 г.

# Значимость и цель работы

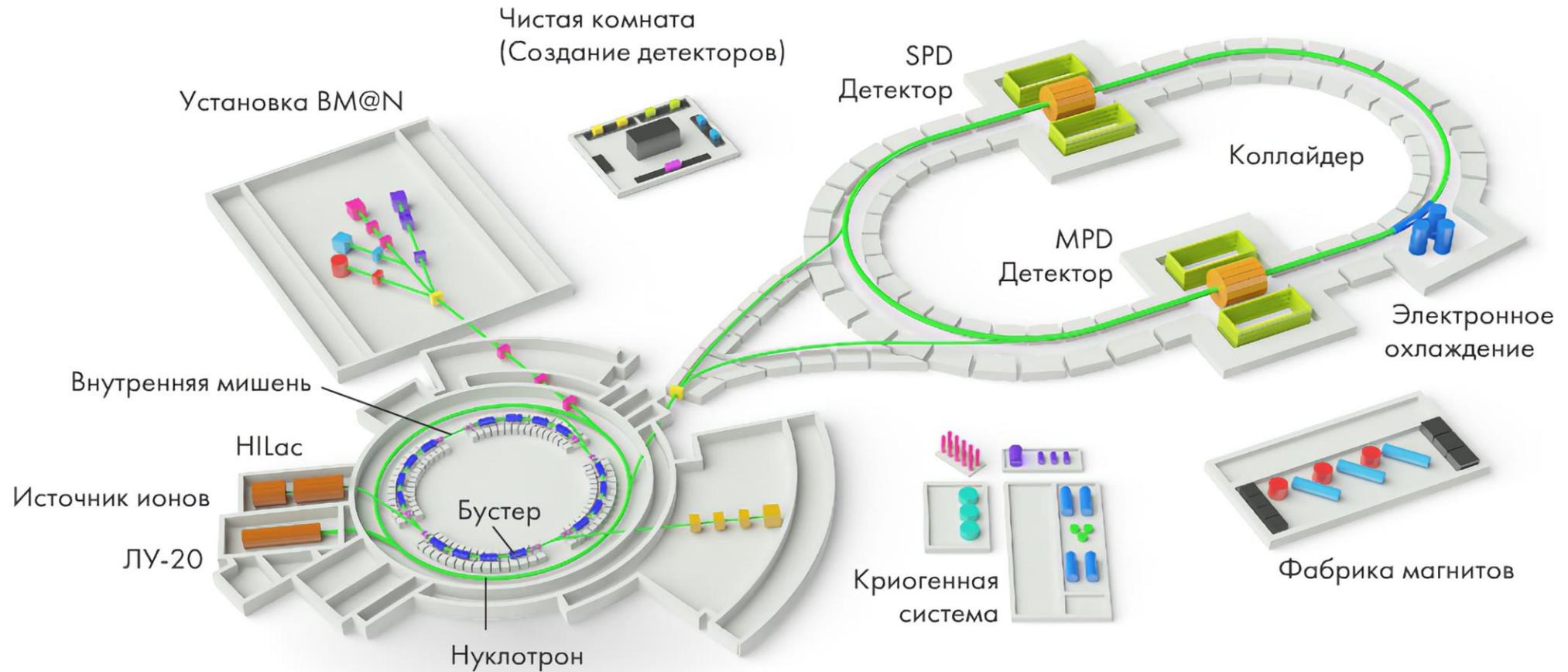
- **Цель работы.** Оценить возможность восстановления плоскости реакции в эксперименте  $VM@N$  и оценить угловое разрешение.
- **Практическая значимость.** Восстановление плоскости реакции играет важную роль для физического анализа, включая исследование коллективных эффектов и потоков частиц. Программная реализация методов восстановления плоскости реакции является важной для эксперимента  $VM@N$ , учитывая запланированный на осень 2022 года запуск первого физического сеанса установки.



# Столкновения тяжёлых ионов. Фазовая диаграмма КХД.



# Ускорительный комплекс NICA



# Эксперимент **BM@N**

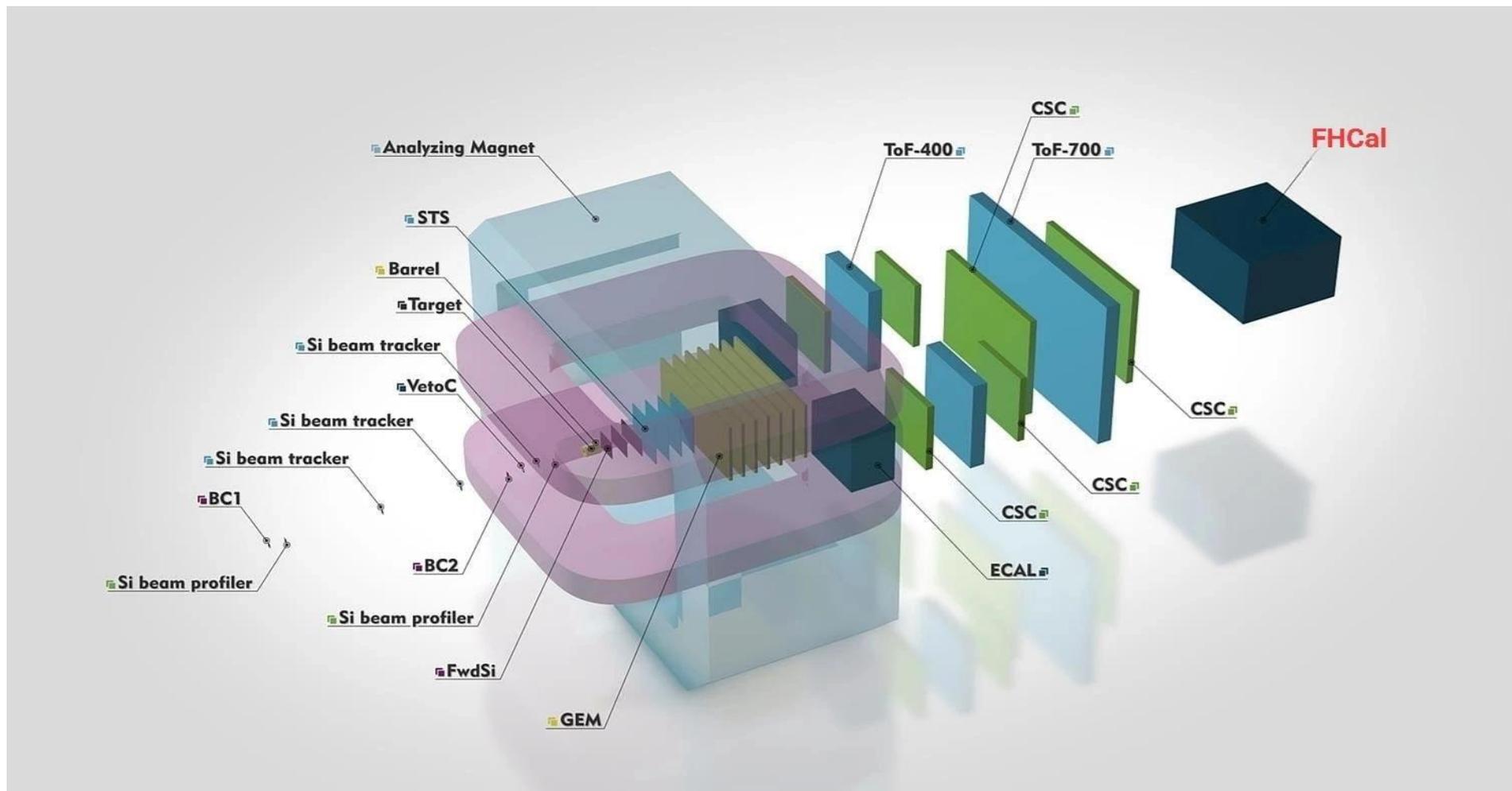
Эксперимент **BM@N** (Baryonic Matter at Nuclotron) — первый эксперимент ускорительного комплекса NICA. Целью эксперимента является изучение взаимодействия пучков тяжёлых релятивистских ионов с неподвижными мишенями.

## **Физические задачи:**

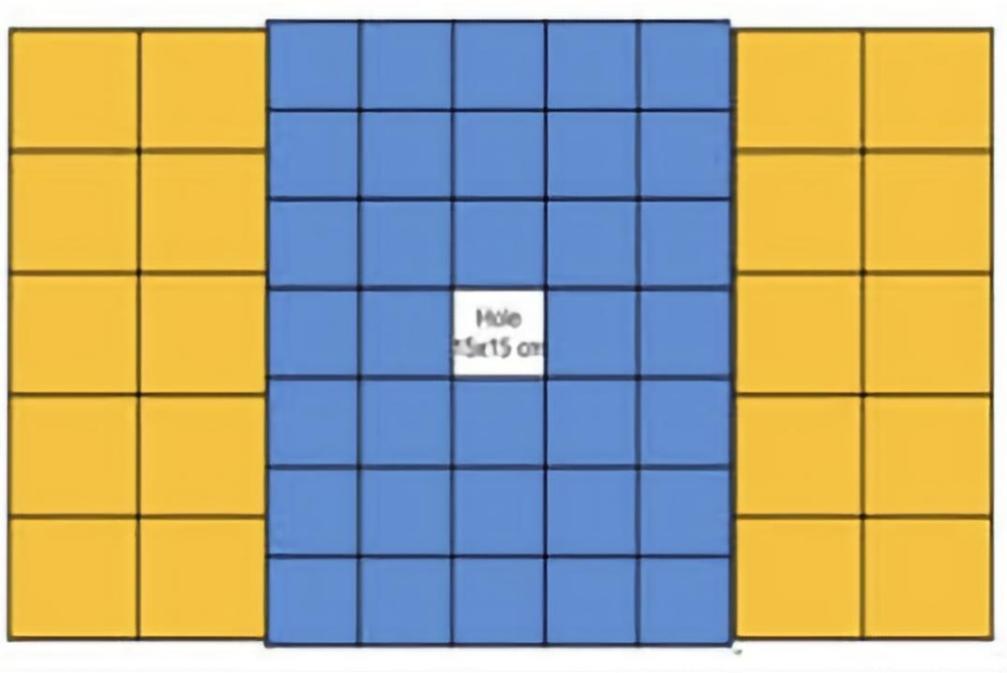
- Исследование динамики реакций и поиск параметров уравнения состояния (EoS) ядерной материи
- Изучение модификации свойств адронов в ядерной материи
- Изучение рождения странных гиперонов около порога
- Поиск гиперядер.



# Схема установки эксперимента VM@N



# Передний адронный калориметр FHCaI

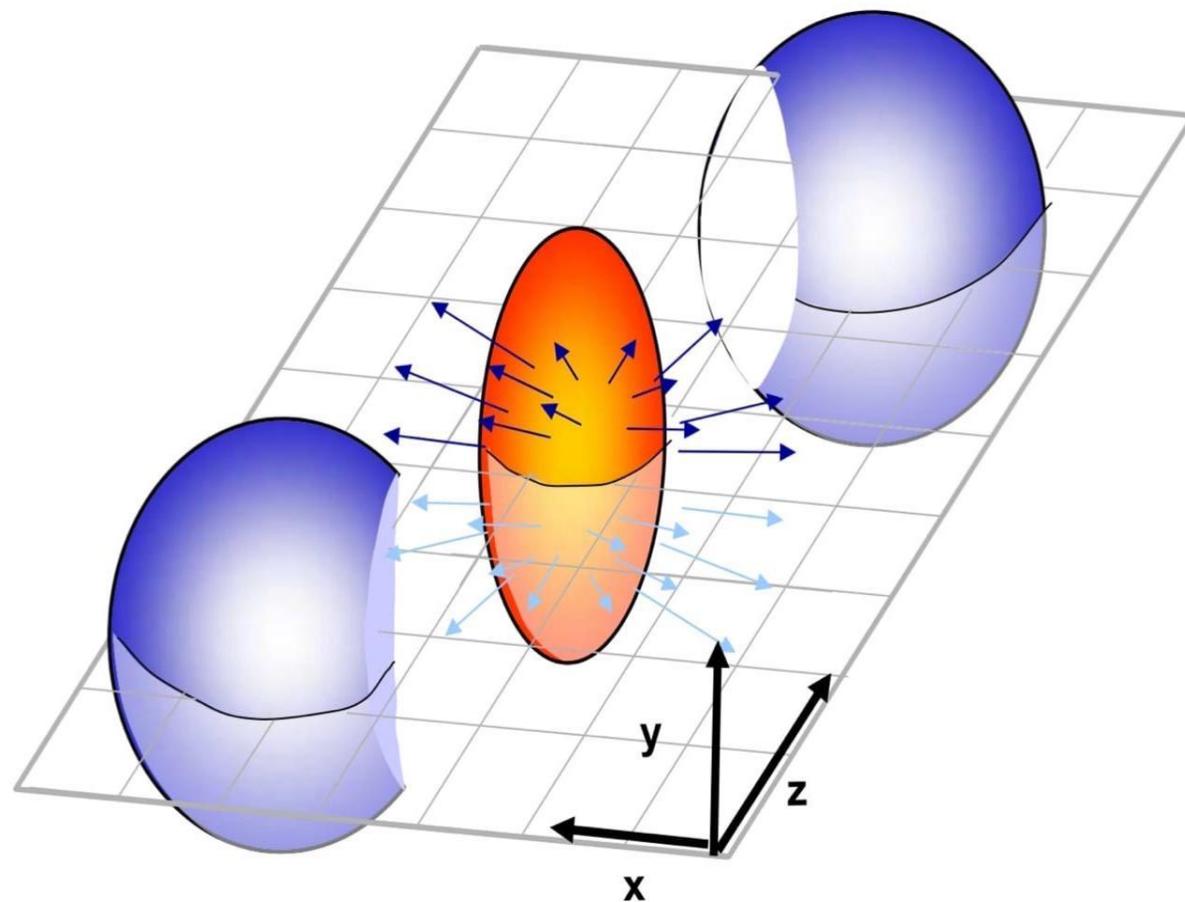


Калориметр **FHCaI** (Forward Hadron Calorimeter) предназначен для определения прицельного параметра столкновения (центральности) путём измерения энергосвечения частиц.



# Плоскость реакции

В нецентральных столкновениях ядер ось пучка и вектор прицельного параметра  $b$  определяют плоскость реакции (Reaction Plane, RP).



# Азимутальная анизотропия

Стандартный способ описать азимутальную анизотропию — использовать разложение Фурье распределения частиц по азимутальному углу и импульсу:

$$E \frac{d^3 N}{dp^3} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_T dp_T dy} \left( 1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n(p_T, y) \cos[n(\varphi - \Psi^{RP})] \right)$$

$$v_n = \langle \cos[n(\varphi - \Psi^{RP})] \rangle$$



# Метод плоскости события.

**Метод плоскости события** — метод анализа данных, в котором плоскость реакции аппроксимируется т.н. плоскостью события (Event Plane, EP).

- Q-вектор: 
$$\vec{Q}_n = \begin{pmatrix} Q_x \\ Q_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i \omega_i \cos(n\varphi_i) \\ \sum_i \omega_i \sin(n\varphi_i) \end{pmatrix}$$

- Угол плоскости события: 
$$\Psi_n^{EP} = \frac{1}{n} \arctan \left( \frac{Q_{n,y}}{Q_{n,x}} \right) \quad \Psi_n^{EP} \in [-\pi/n; \pi/n)$$



# Разрешение

**Разрешение** — точность реконструкции, т.е. степень различия реальной плоскости реакции и восстановленной плоскости события.

В работе использовались два метода оценки разрешения:

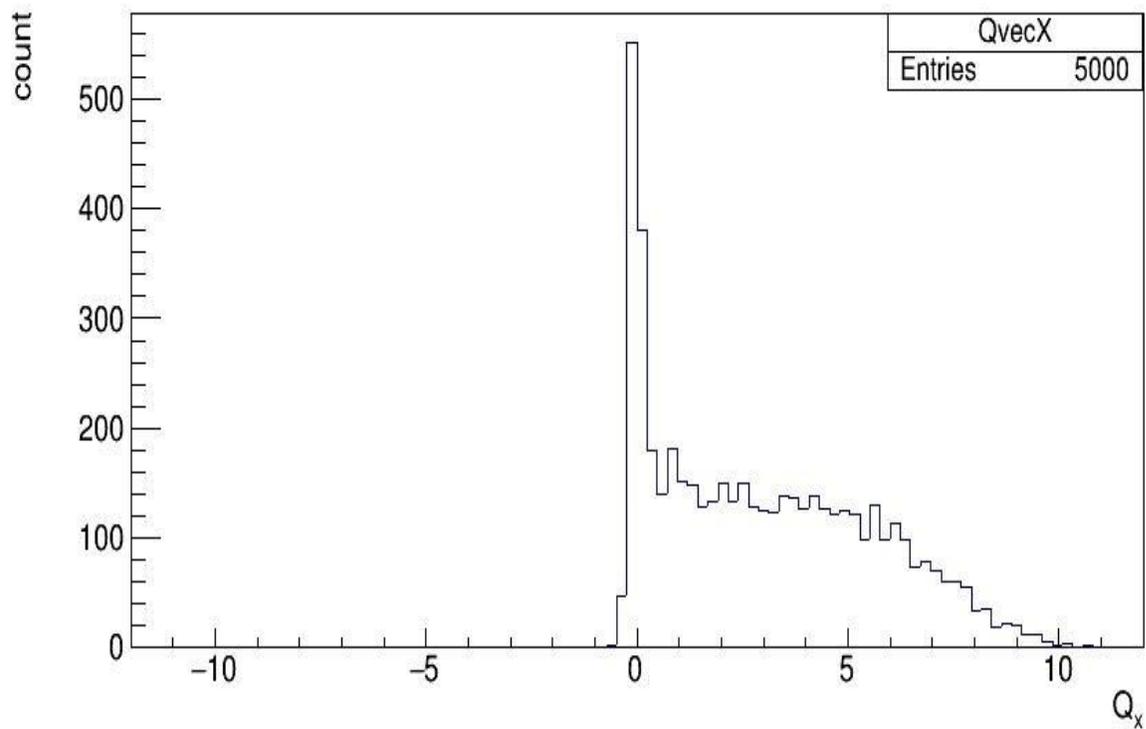
1. Оценка с помощью формулы:  $res = \langle \cos[n(\Psi_n^{EP} - \Psi^{RP})] \rangle$

В этом случае величина разрешения принимает значения от  $res = 0$  (очень плохое разрешение) до  $res = 1$  (идеальное разрешение).

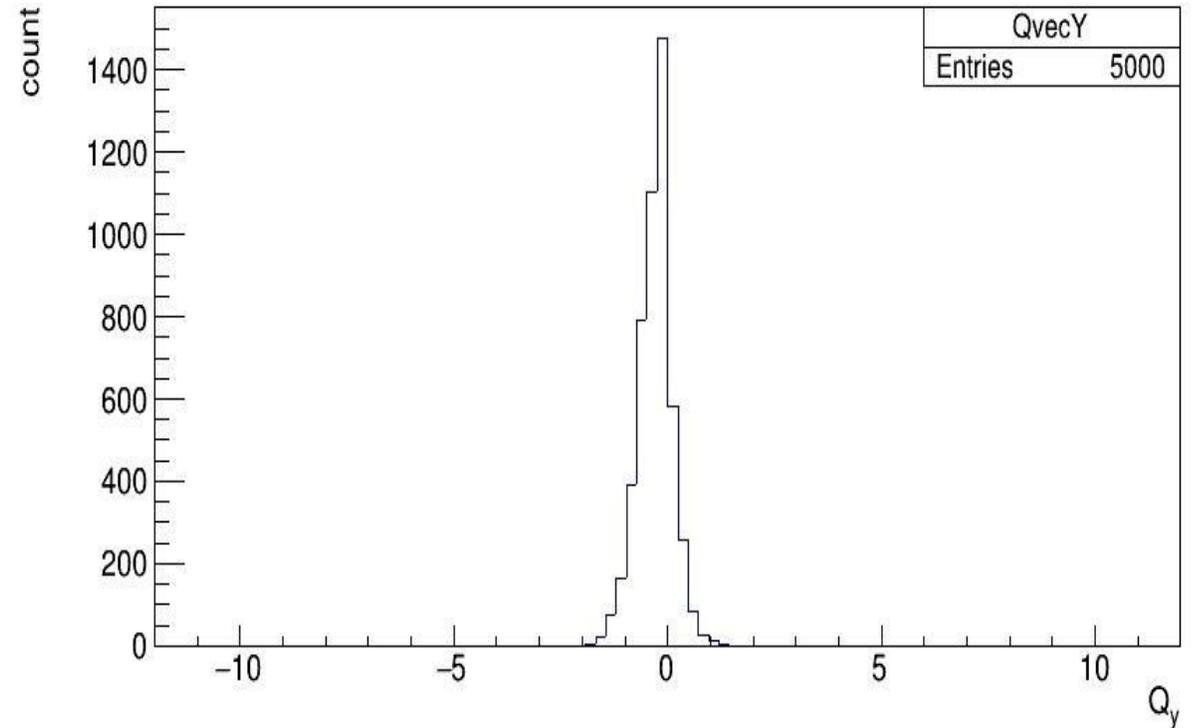
2. За оценку разрешения принимаем значение ширины гауссовой функции, аппроксимирующей распределение разности углов реальной и восстановленной плоскостей реакции по событиям.



# Описание результатов.



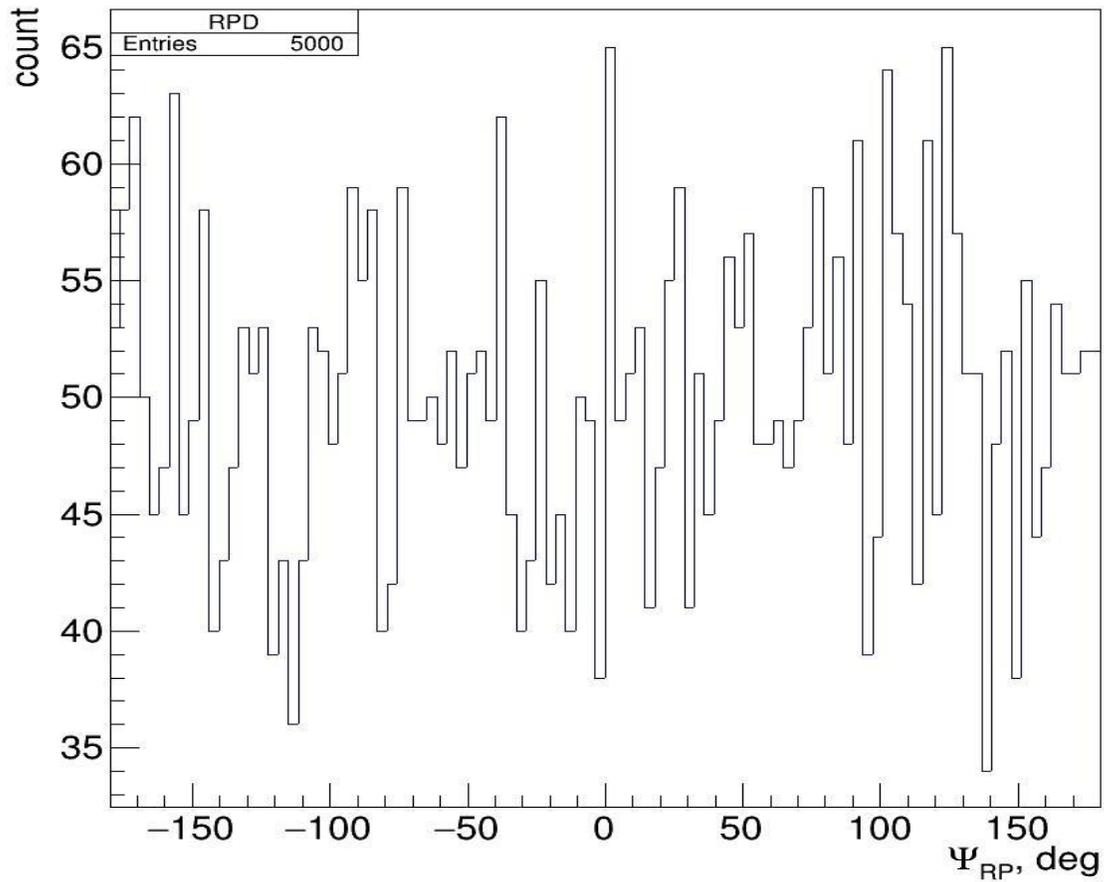
Распределение X-координаты Q-вектора по событиям.



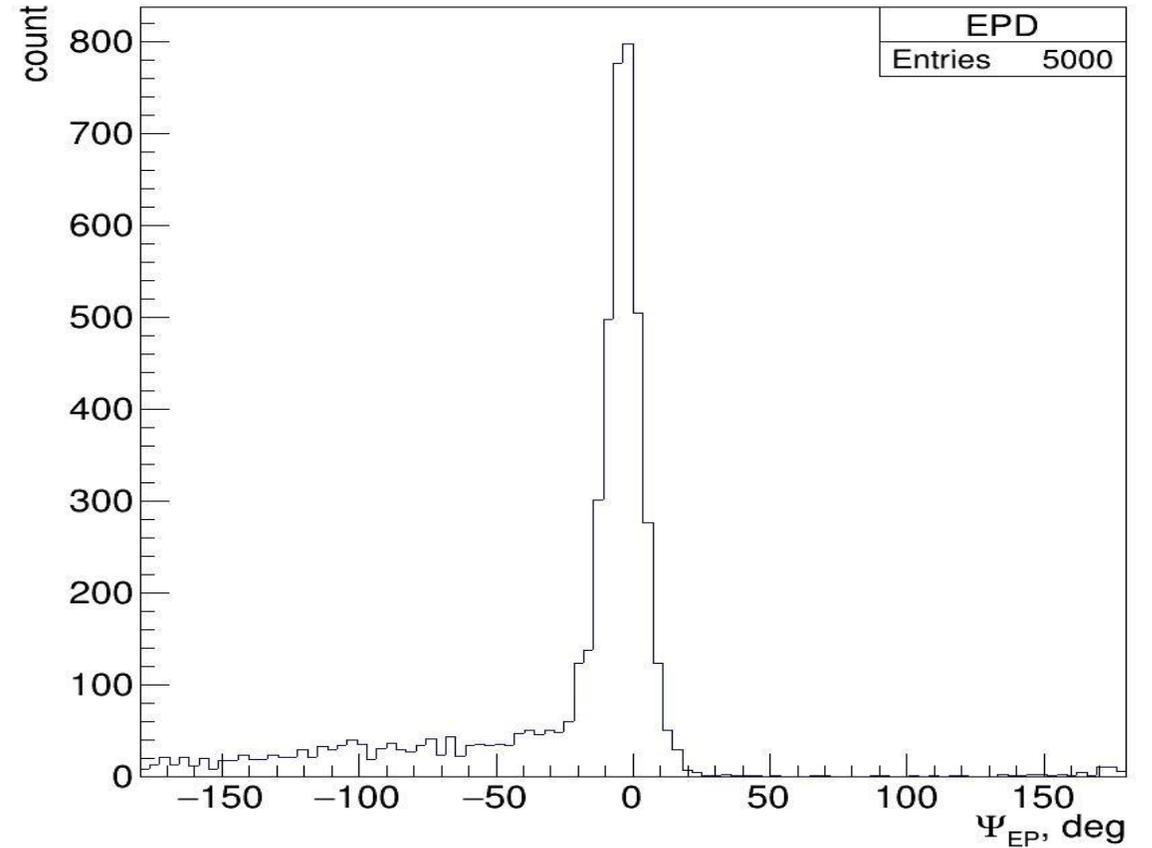
Распределение Y-координаты Q-вектора по событиям.



# Описание результатов.



Смоделированная плоскость  
реакции.



Восстановленная  
плоскость события.



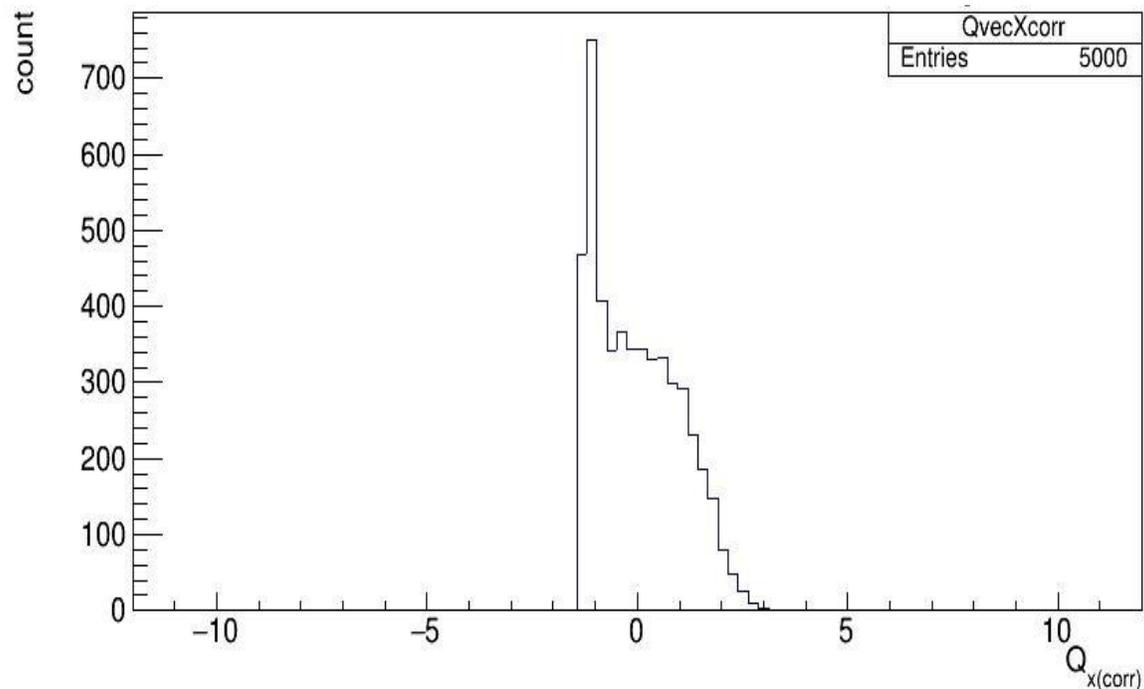
# Коррекция эффектов анизотропии. Методы выполаживания угловых распределений. Процедура отцентровки.

Процедура **отцентровки** (recentering) является простейшим методом **выполаживания** (flattering methods) и применяется при анализе данных для того, чтобы получаемые распределения были изотропны в лабораторной системе.

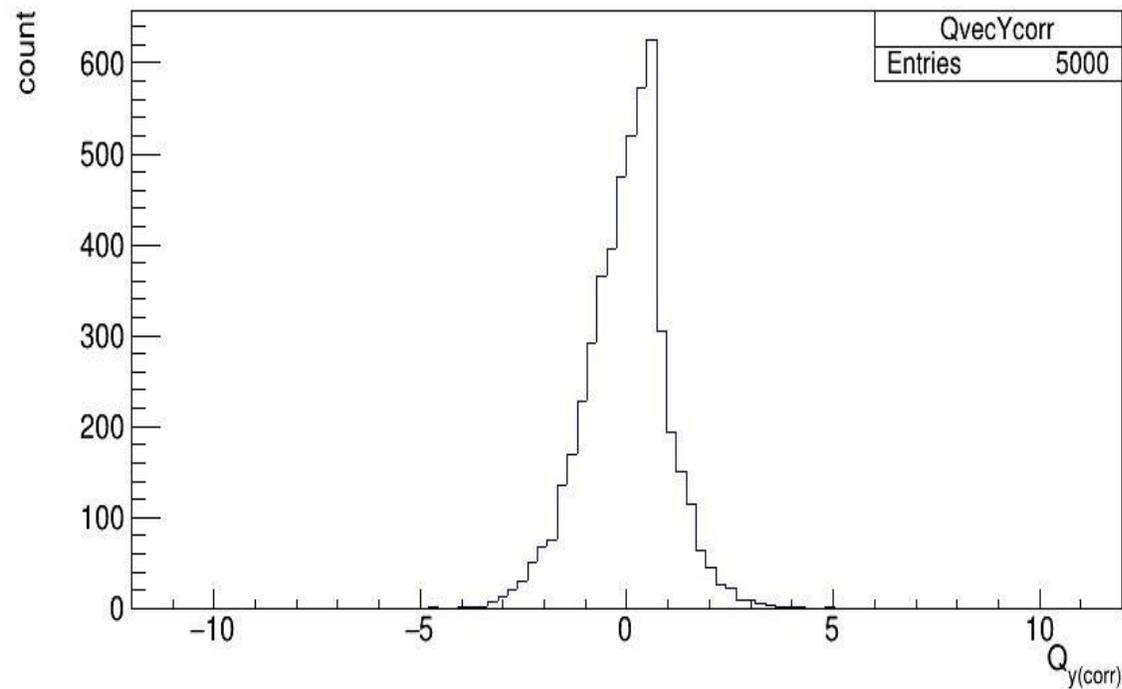
Метод заключается в смещении центров распределений координат  $Q$ -вектора по событиям путём вычитания из полученных значений среднее значение распределения для каждого события.



# Описание результатов.



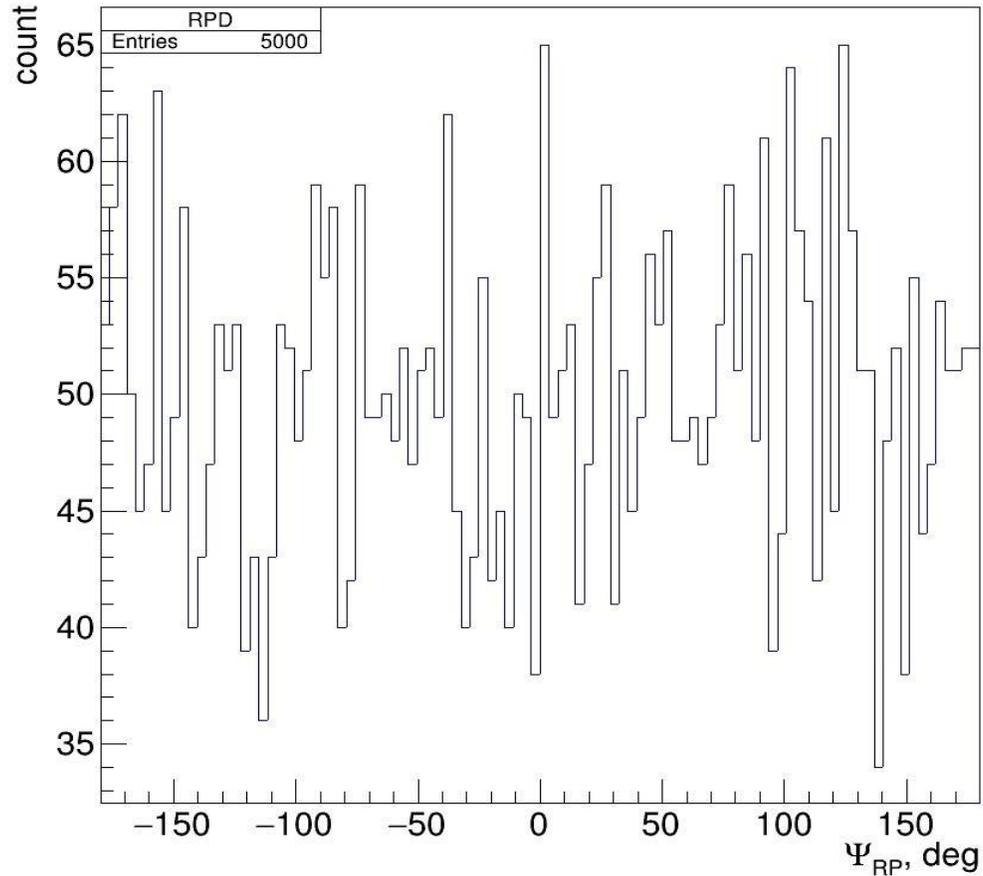
Распределение X-координаты Q-вектора по событиям после проведения отцентровки



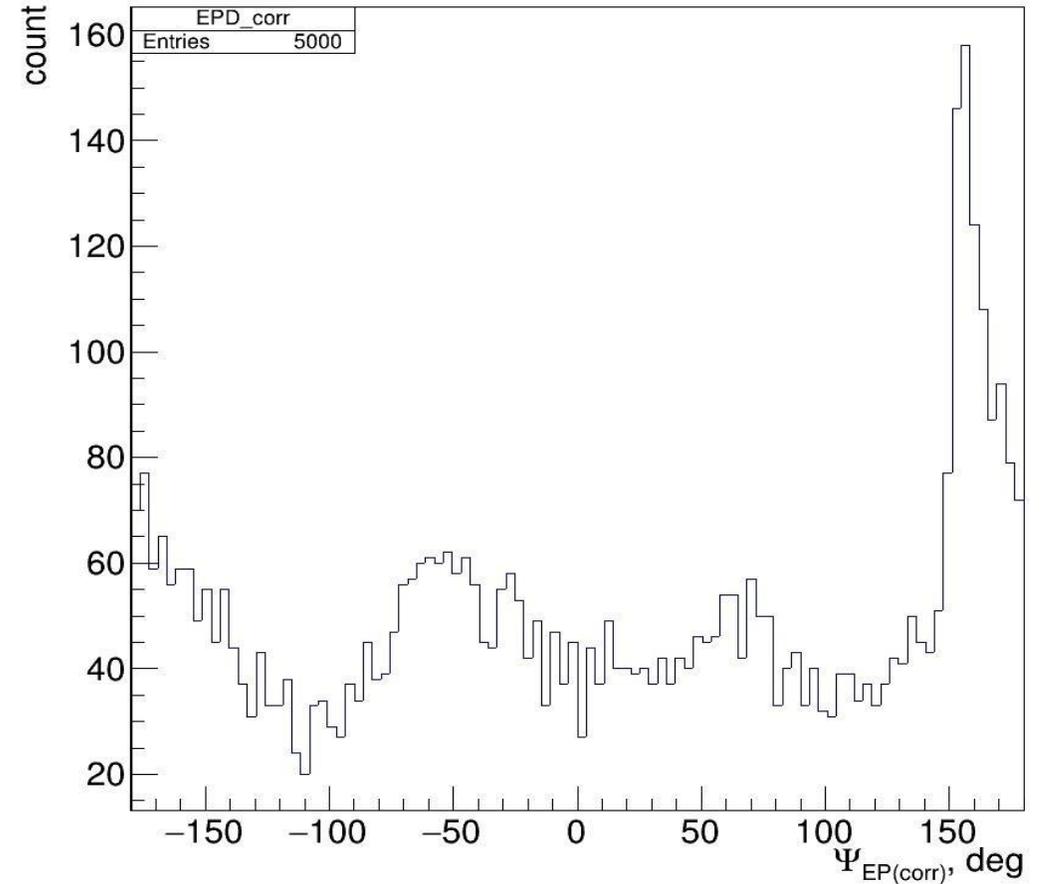
Распределение Y-координаты Q-вектора по событиям после проведения отцентровки



# Описание результатов



Смоделированная плоскость  
реакции



Восстановленная  
плоскость события после  
проведения отцентровки



# Описание результатов

- Значение разрешения до отцентровки: **Res = 0.039**
- Значение разрешения после отцентровки: **Res = 0.221**

Коррекция даёт реальный эффект на значение разрешения, улучшая его почти в 5 раз, однако значение всё ещё остаётся невысоким.

Это может быть связано с тем, что эффекты анизотропии при работе детектора достаточно высоки, а также с малой статистикой.



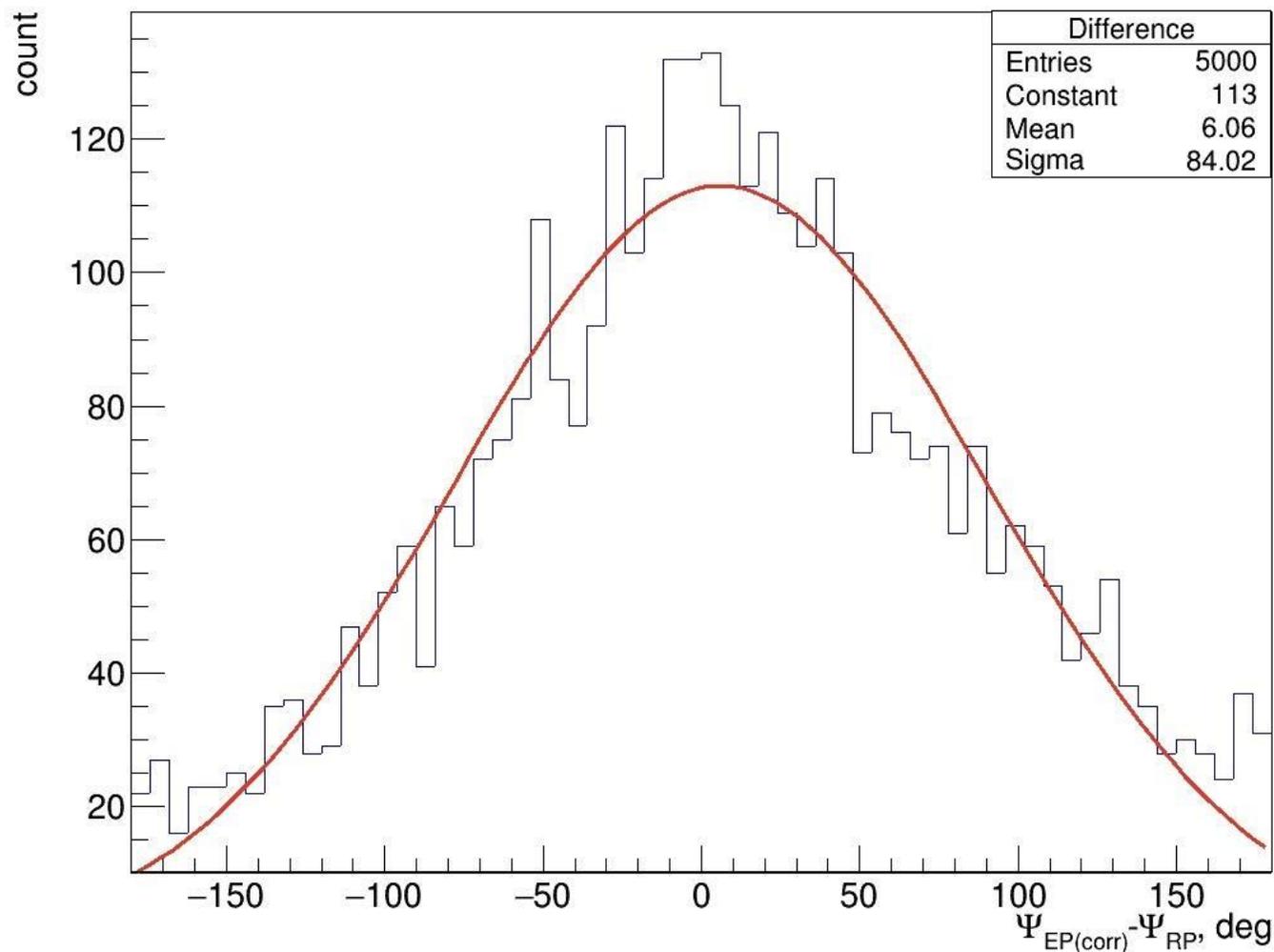


## Описание результатов. Альтернативная оценка разрешения

Распределение разницы  
углов восстановленной  
плоскости события и  
смоделированной  
плоскости реакции по  
событиям.

Ширина гауссовой  
функции — разрешение:

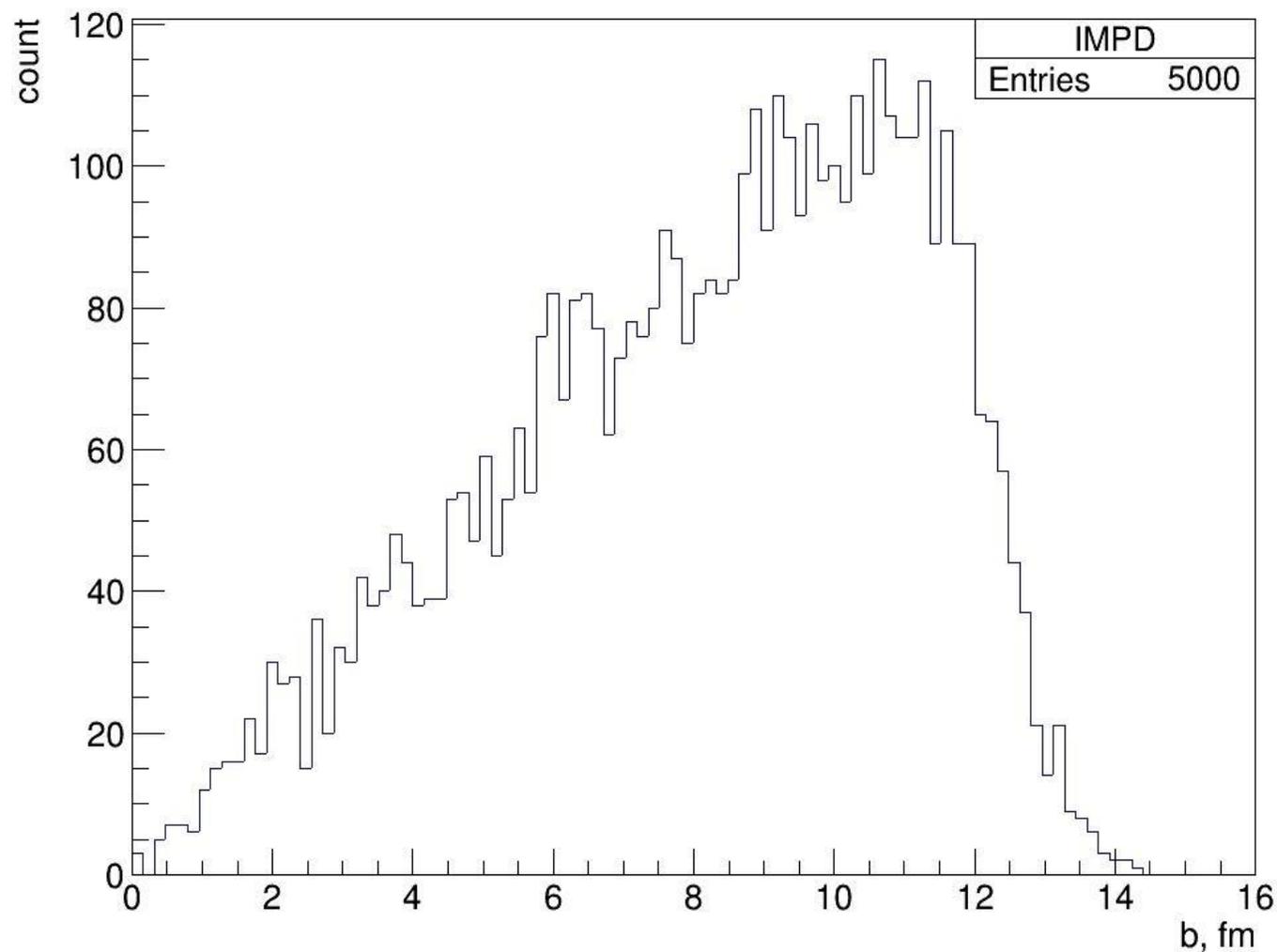
$$\sigma = 84.02 \pm 0.25^\circ$$



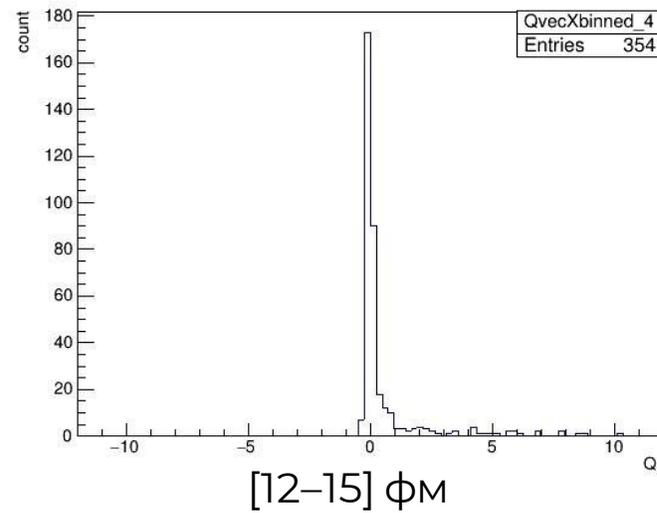
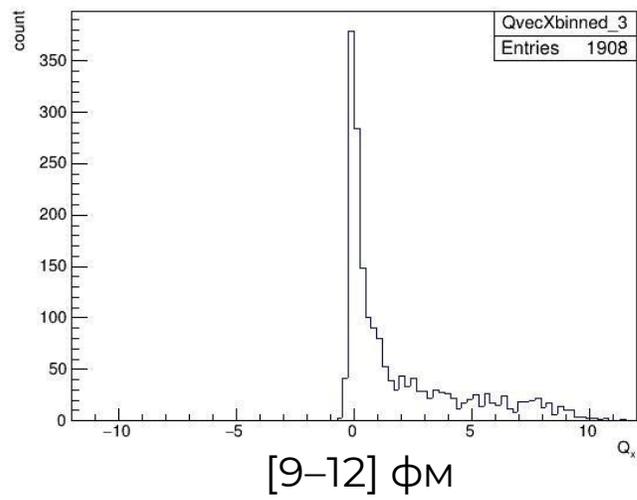
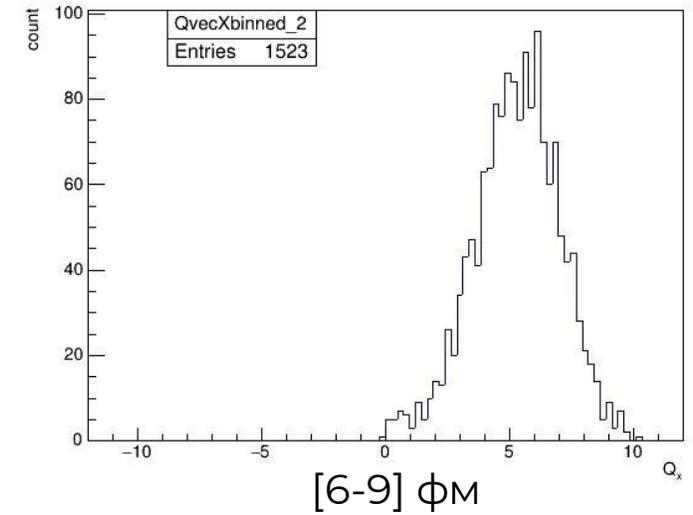
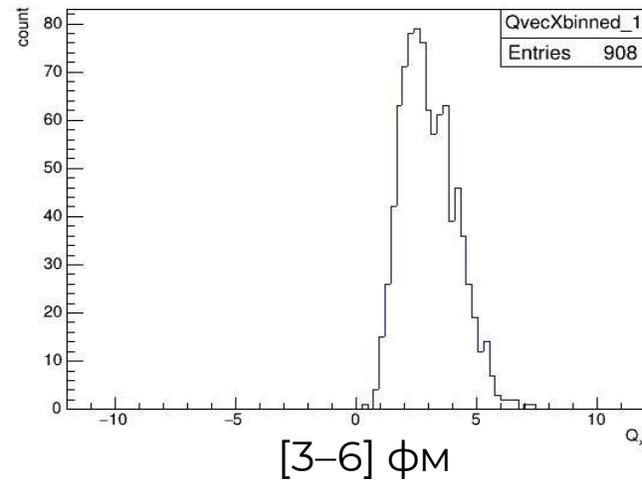
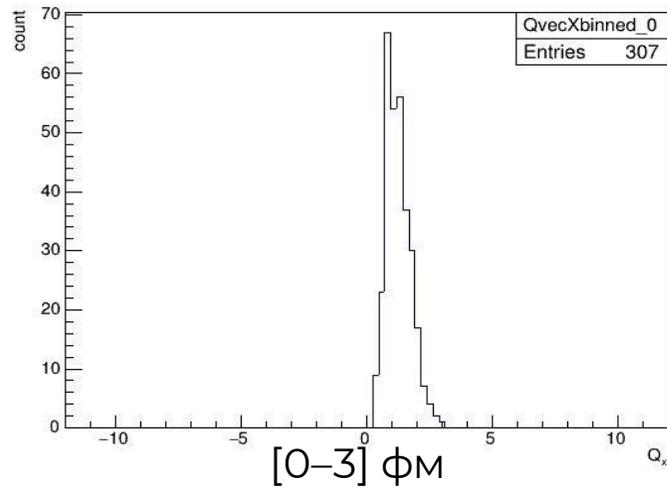


# Описание результатов

Распределение  
значений прицельного  
параметра по событиям.



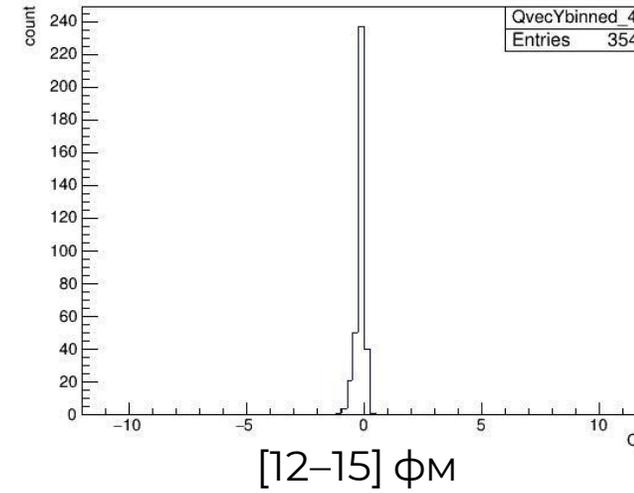
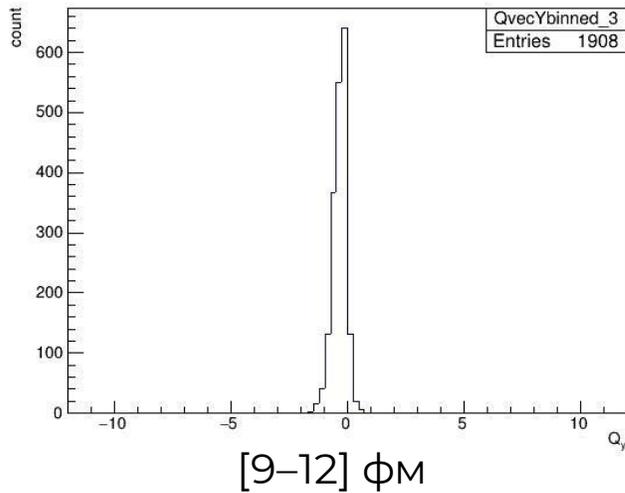
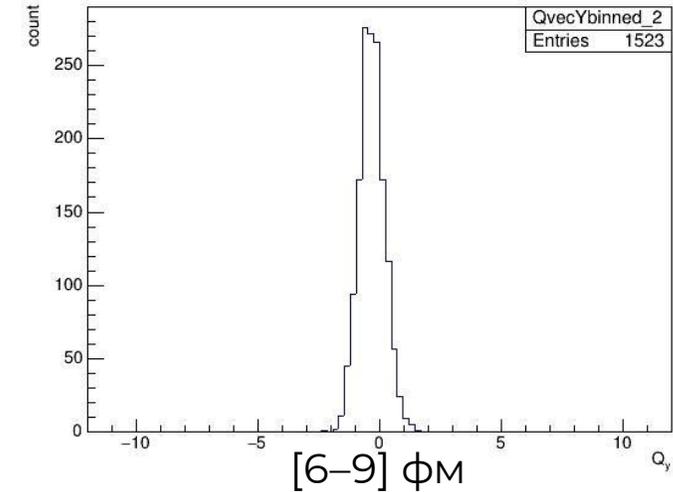
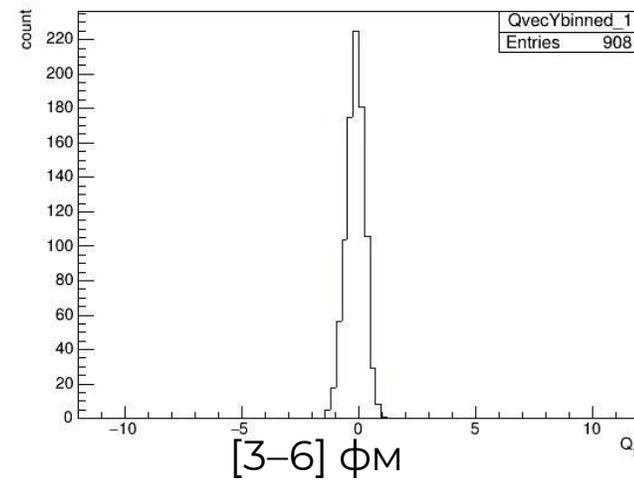
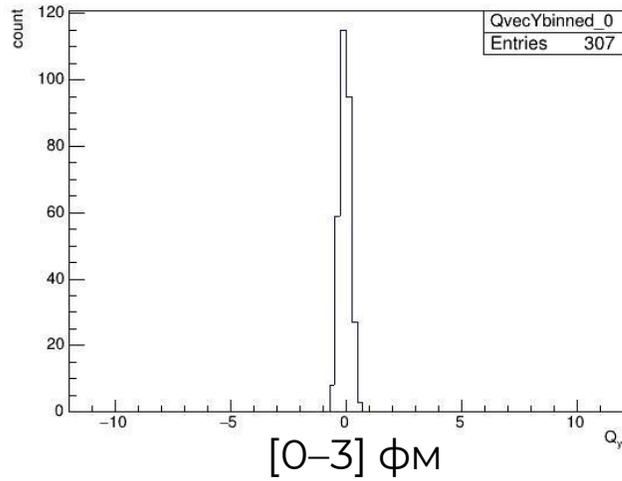
# Описание результатов



Распределения X-координаты  
Q-вектора для каждого  
интервала значений  
прицельного параметра



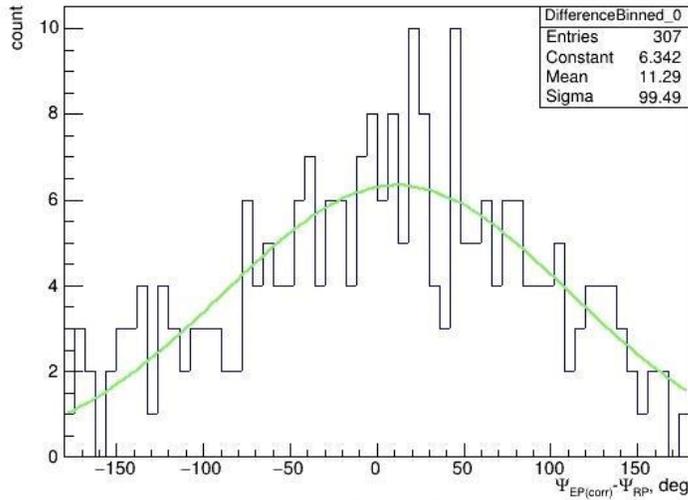
# Описание результатов



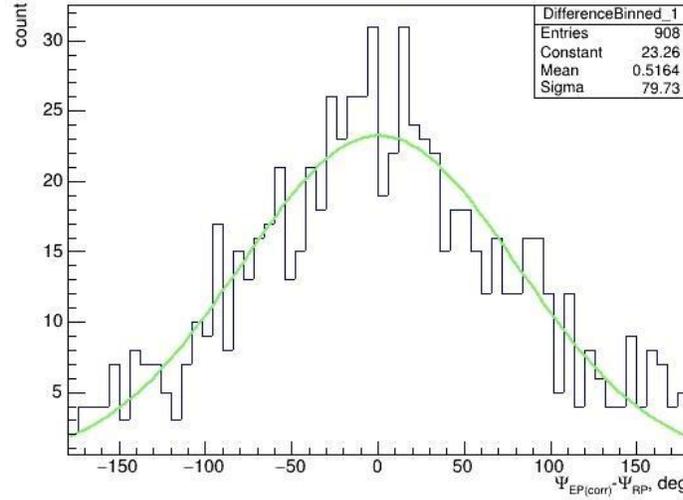
Распределения Y-координаты  
Q-вектора для каждого  
интервала значений  
прицельного параметра



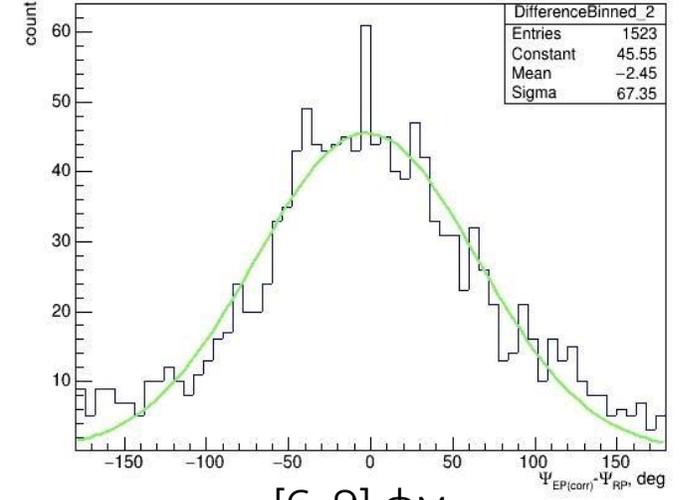
# Описание результатов



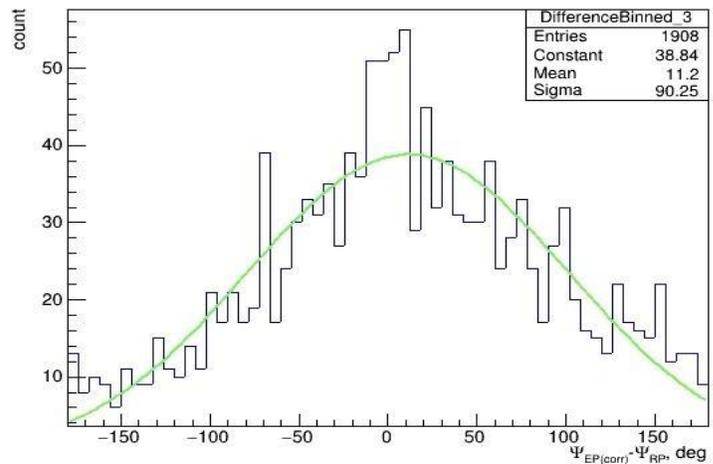
[0–3] фм



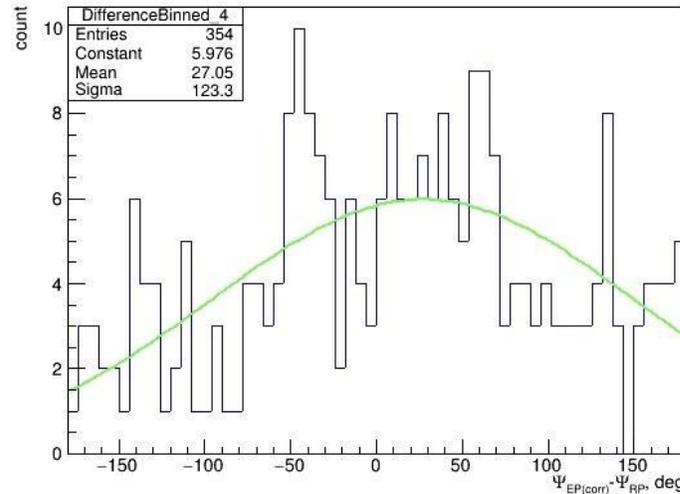
[3–6] фм



[6–9] фм



[9–12] фм



[12–15] фм

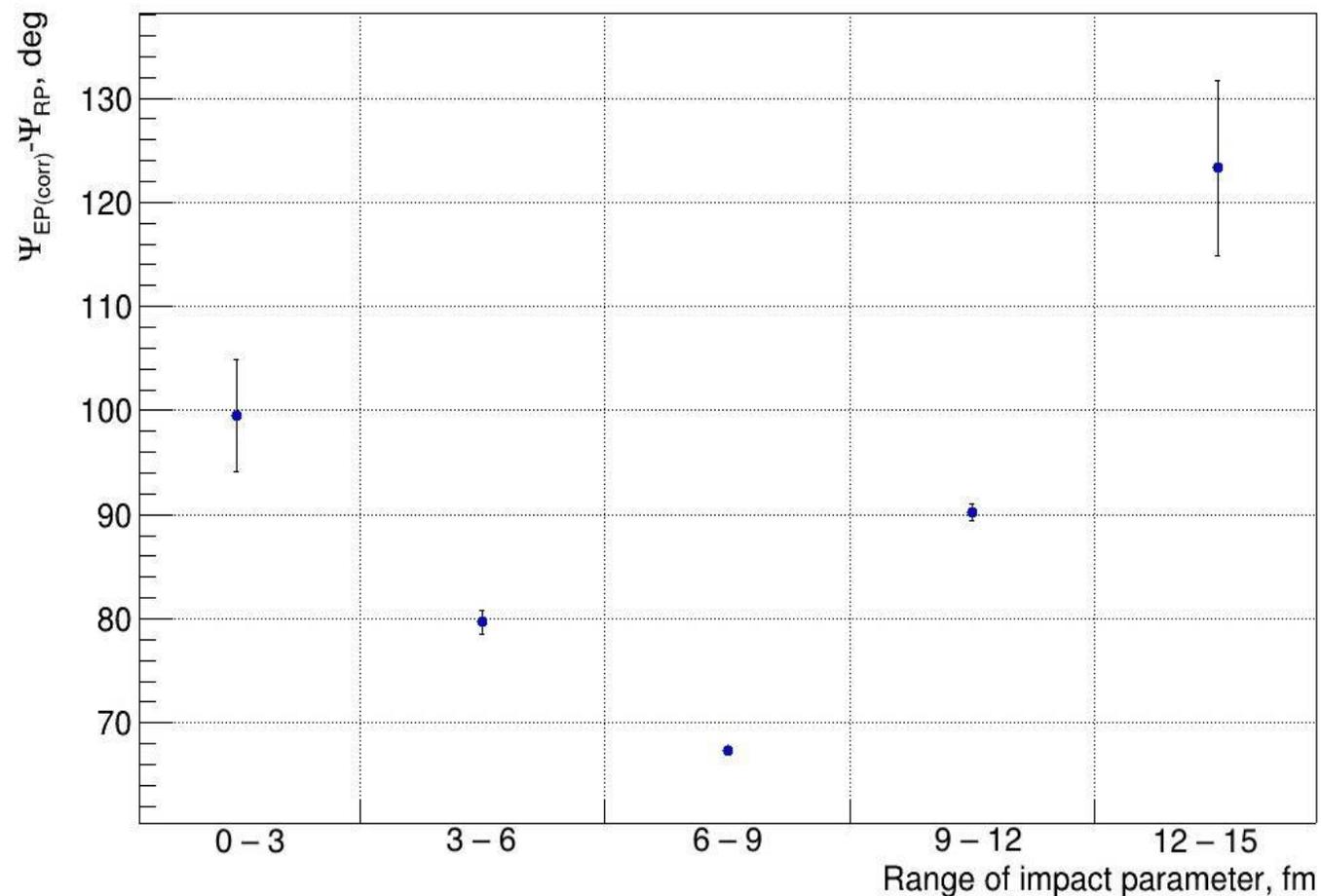
Распределения разности углов реальной и восстановленной плоскостей реакции по событиям для каждого интервала значений прицельного параметра





# Описание результатов

График зависимости  
разрешения от  
центральнойности  
событий.



# Заключение

- Изучены теоретические материалы об эксперименте VM@N и о восстановлении плоскости реакции.
- Освоено программное обеспечение для обработки результатов в физике высоких энергий – ROOT и VmnRoot.
- Произведено моделирование взаимодействия пучка ксенона (Xe) с цезиево-иодовой (CsI) мишенью при энергии пучка 3.9 ГэВ/нуклон.
- Написан макрос для восстановления плоскости реакции по смоделированным данным, полученным для FHCAL.
- Получены распределения угла плоскости реакции, угла плоскости события, рассчитаны значения разрешения, проведена процедура отцентровки и получена зависимость разрешения от интервала значений прицельного параметра.
- Проведён анализ полученных результатов.



# Спасибо за внимание!

