



Исследование эффективности и загрузок Straw Tracker эксперимента SPD в условиях ион-ионных столкновений

Студент группы Б22-102: Лазарева А.В.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Солдатов Е.Ю.

2026 г.



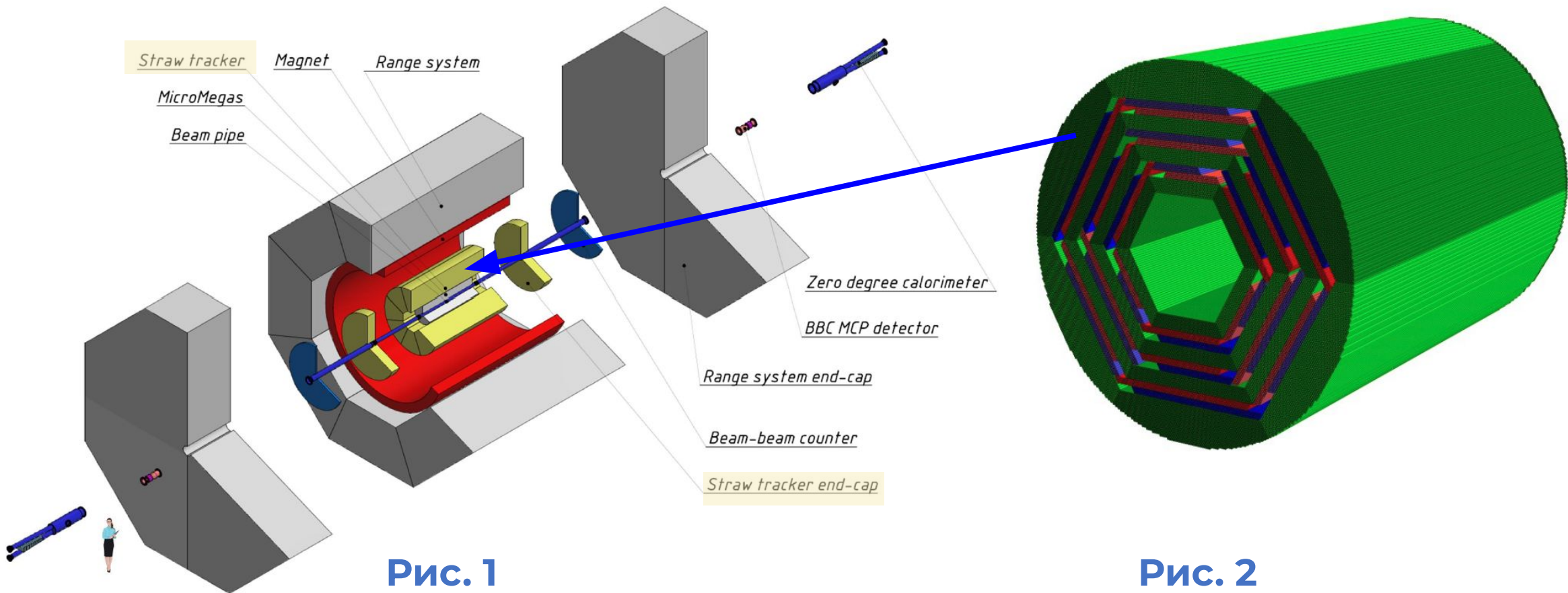


Рис. 1
Схема конфигурации детекторов
эксперимента SPD во время его
первой фазы работы

Рис. 2
Схема баррельной части
трекового детектора

Задачи ионной программы:

- Извлечение $nPDF$ из данных о столкновениях ионов с ионами
- Исследование свойств кварк-глюонной материи в малых системах (p-p, d-d, O-O, Ar-Ar, Kr-Kr, Xe-Xe)

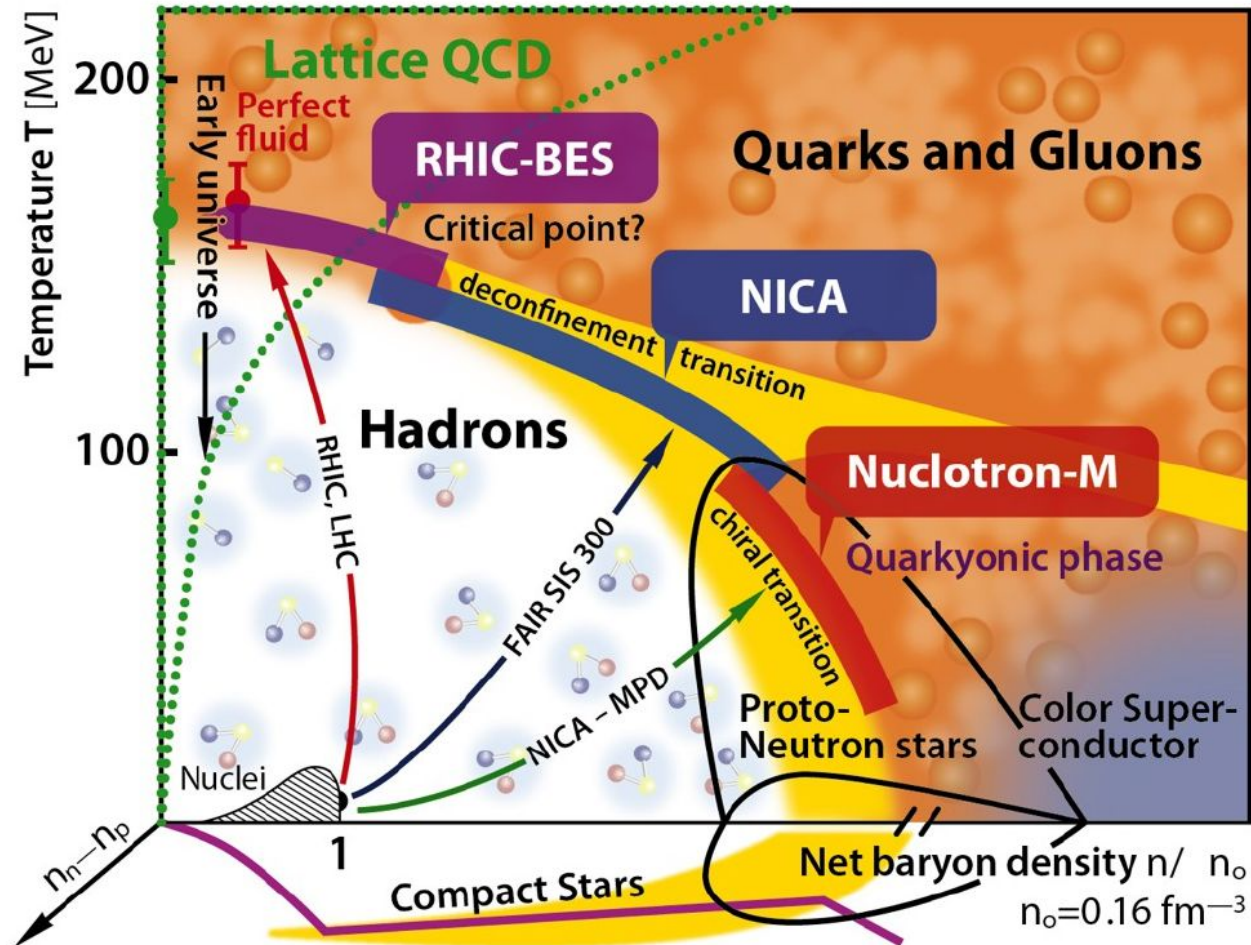


Рис. 3
Область NICA на фазовой диаграмме КХД

Цель: исследование применимости SPD в условиях ион-ионных столкновений путем анализа характеристик трековой системы, определяющей основное разрешение эксперимента, для протон-протонных столкновений и различных ионных систем в рамках моделирования.

Задачи:

1. Определить средние и максимальные частоты срабатываний трекового детектора на протяжении последовательных протон-протонных столкновений и столкновений различных ионов;
2. Определить эффективность реконструкции траекторий заряженных частиц в зависимости от множественности событий;
3. Оценить разрешение по поперечному импульсу заряженных частиц;
4. Установить критерий предельной сталкивающейся системы, при которой работа трекового детектора становится неудовлетворительной.

Система	Генератор	Энергия столкновения	Величина магнитного поля
p-p	Pythia8	$\sqrt{s} = 10$ ГэВ	1 Тл
ion-ion	UrQMD 4.0	$\sqrt{S_{NN}} = 10$ ГэВ	1 Тл

Тип событий: Minimum Bias

Включенные детекторные системы:

- Straw Tracker
- Mvd (вершинный детектор)
- Beam-beam counter
- Zero degree calorimeter

Цветовые карты Straw Tracker

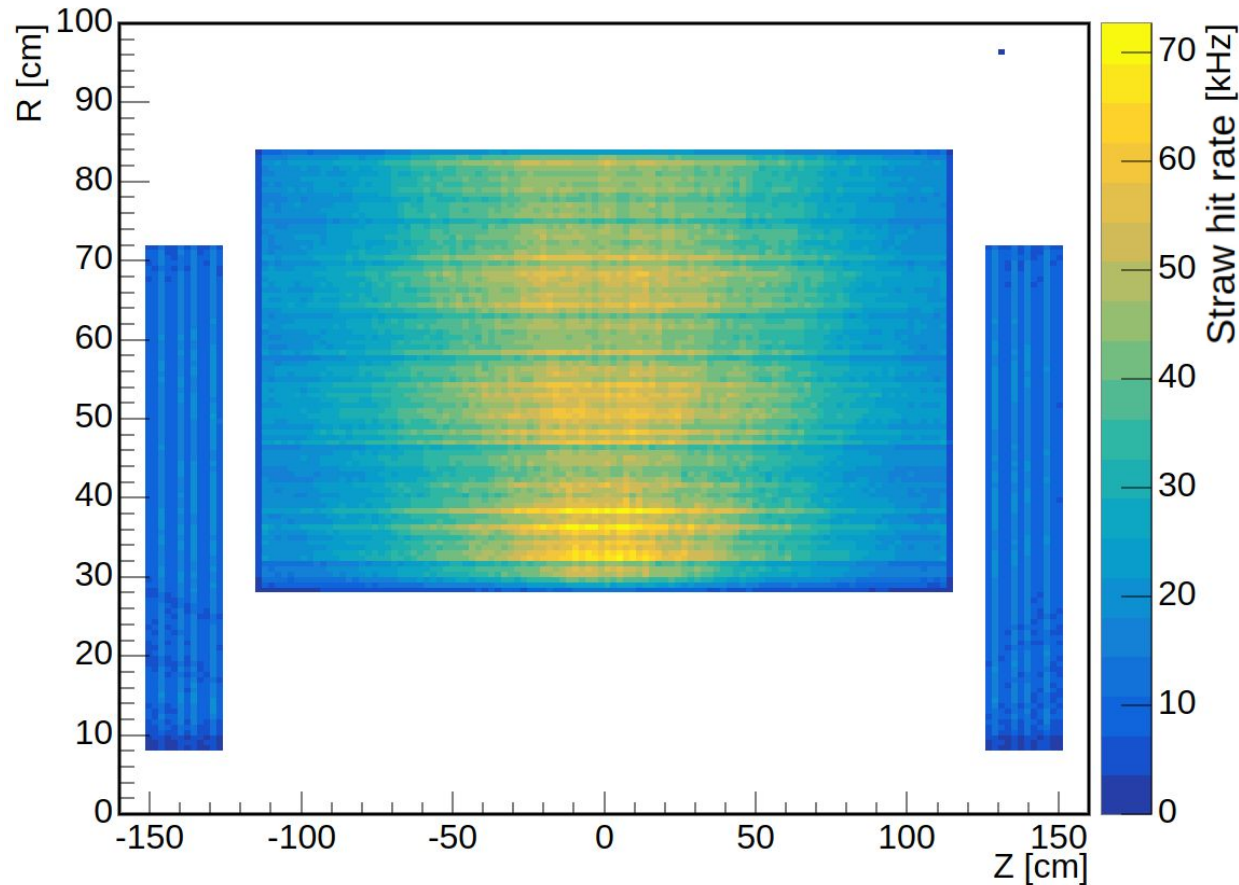


Рис. 4

p-p столкновения, 48к событий,
 $\sqrt{s} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 400 кГц

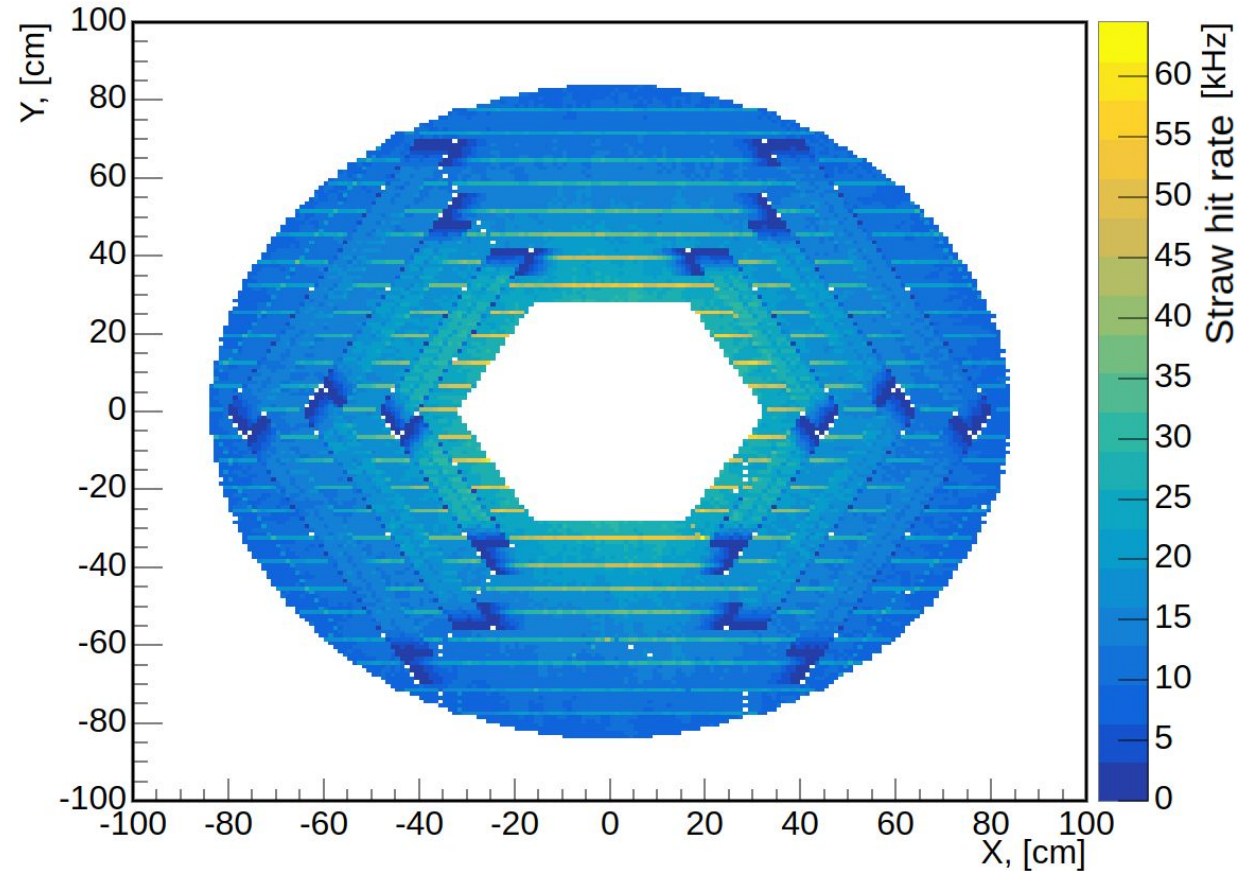


Рис. 5

Цветовые карты Straw Tracker

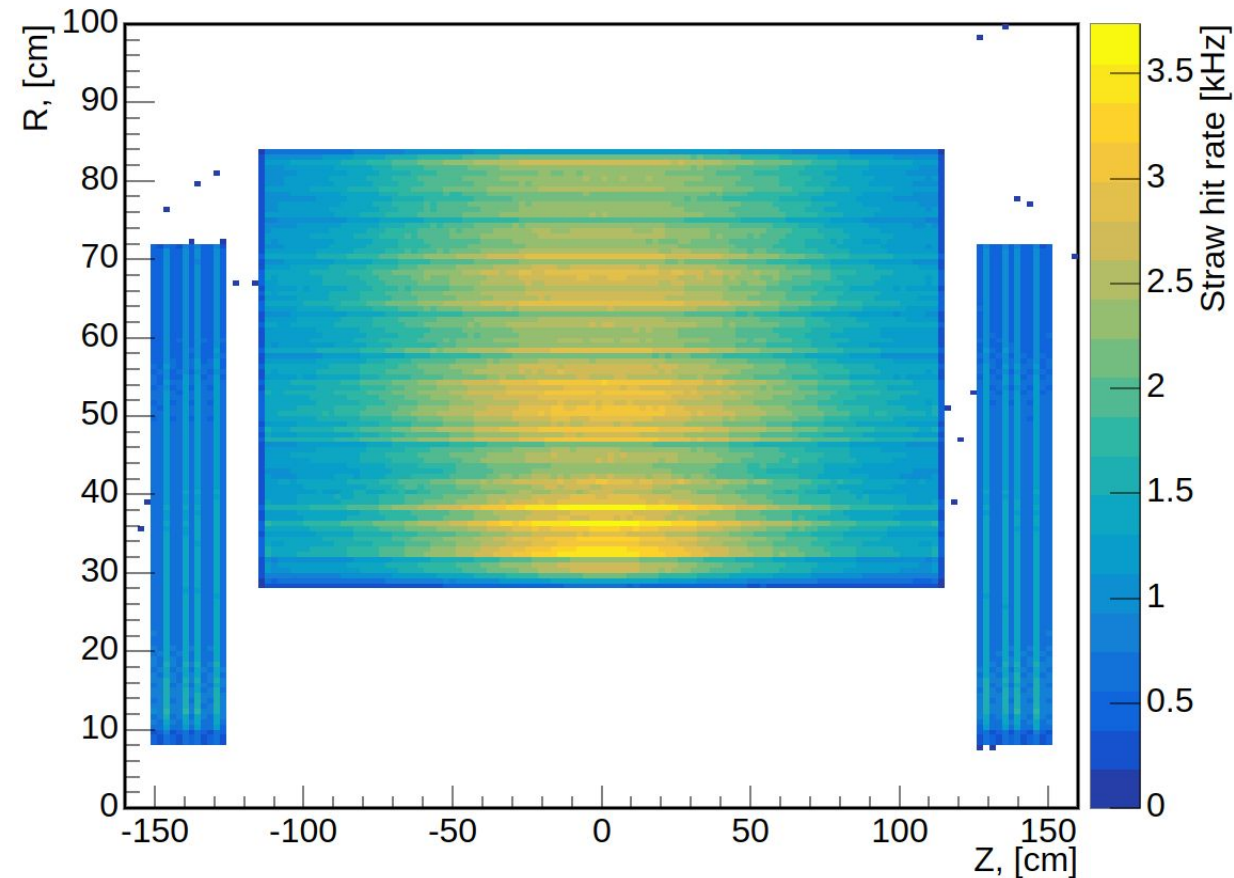


Рис. 6

O-O столкновения, 75к событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 7 кГц

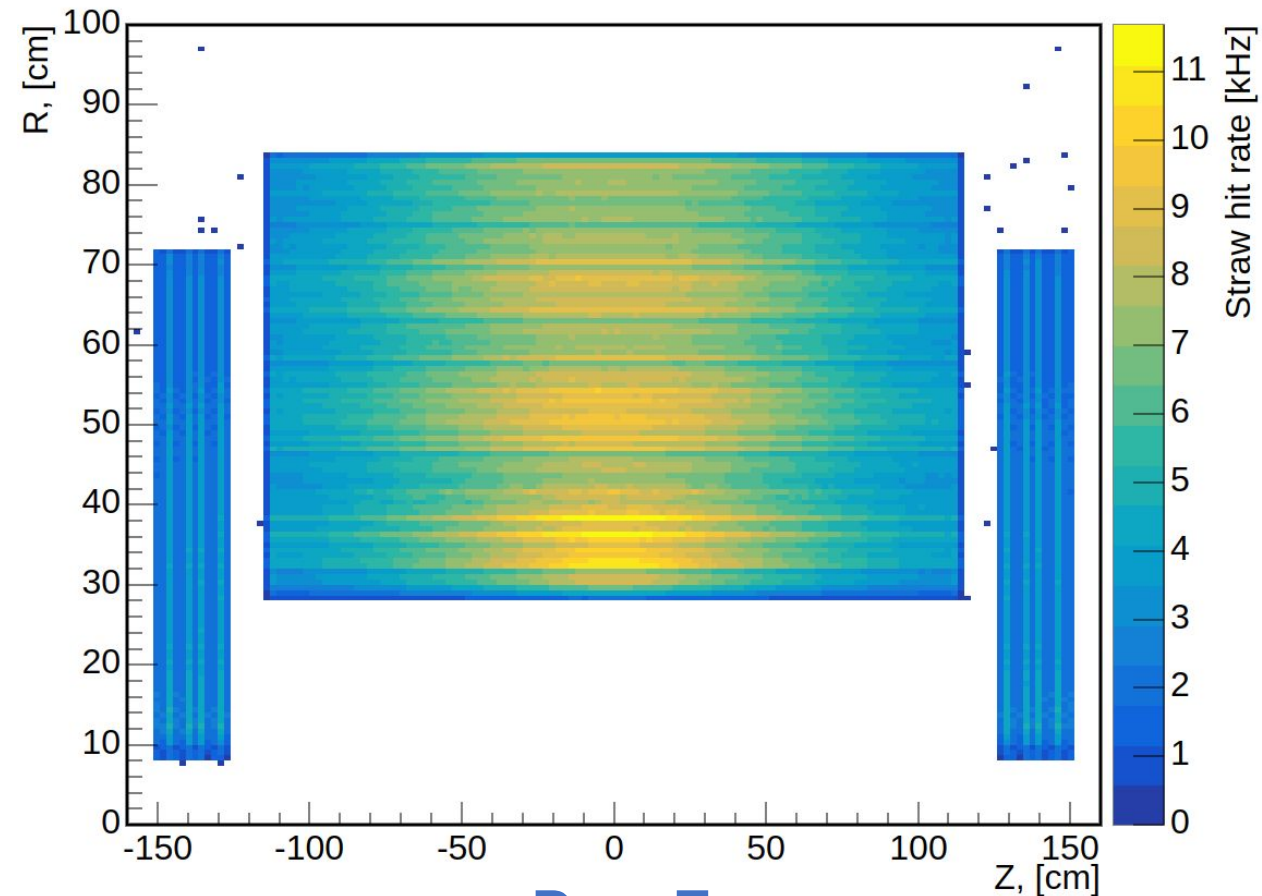


Рис. 7

Ar-Ar столкновения, 40к событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 7 кГц

Цветовые карты Straw Tracker

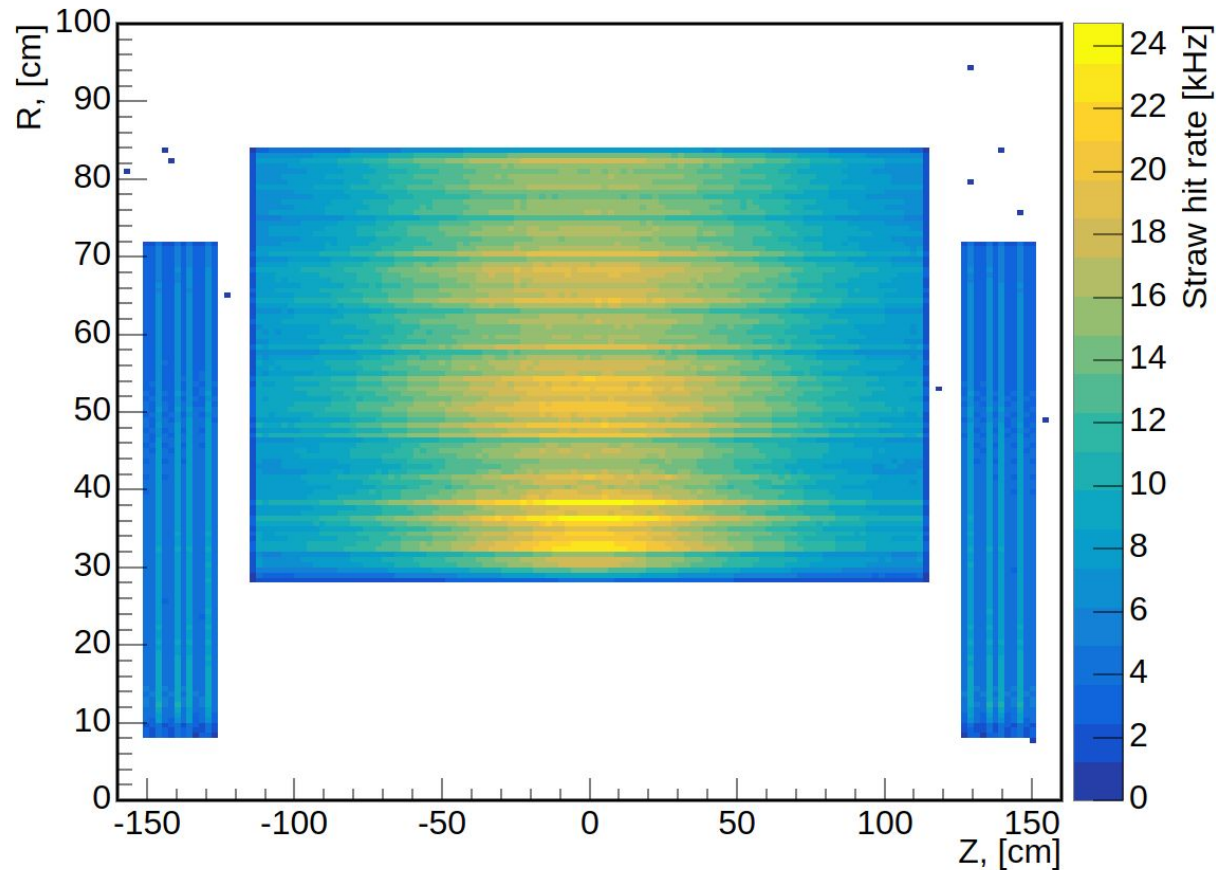


Рис. 8

Kr-Kr столкновения, 10к событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 7 кГц

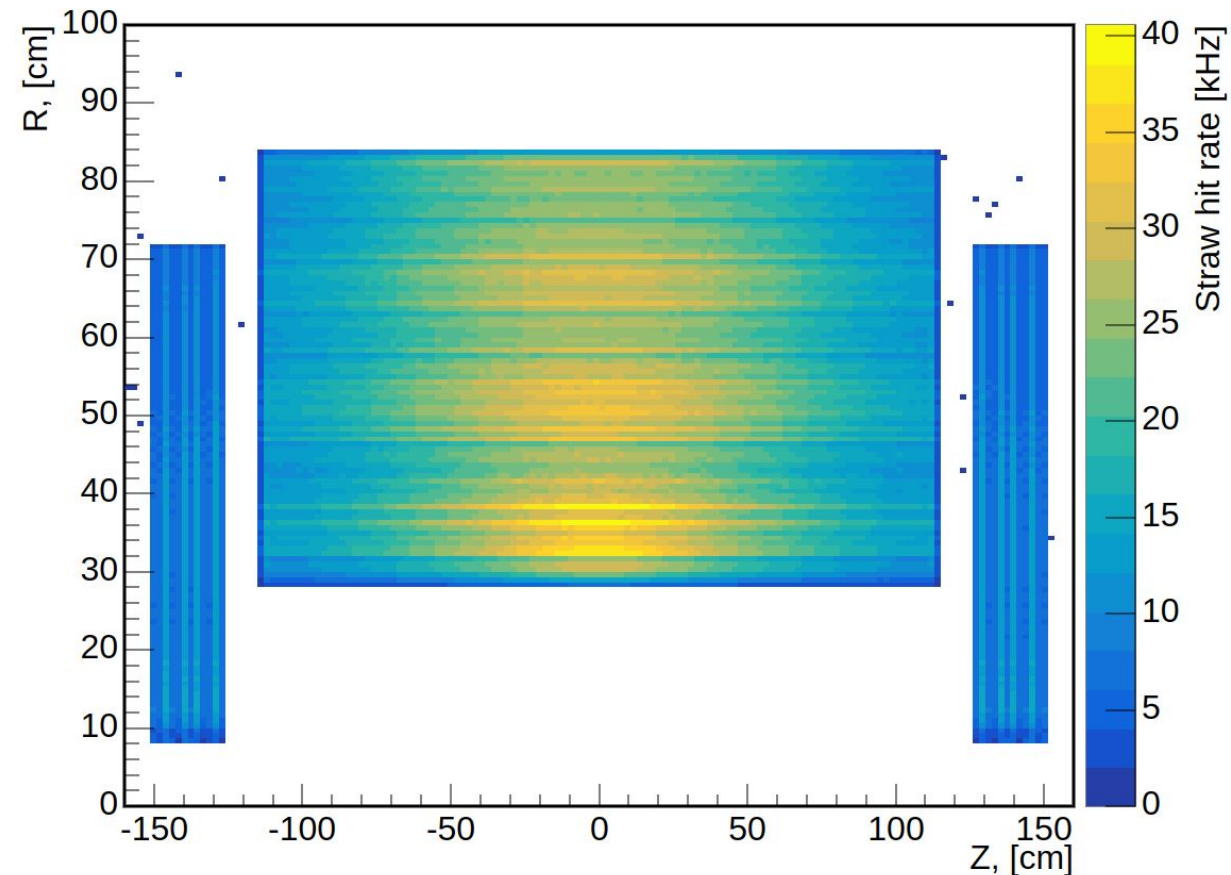


Рис. 9

Xe-Xe столкновения, 10к событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 7 кГц

Загруженность Straw Tracker

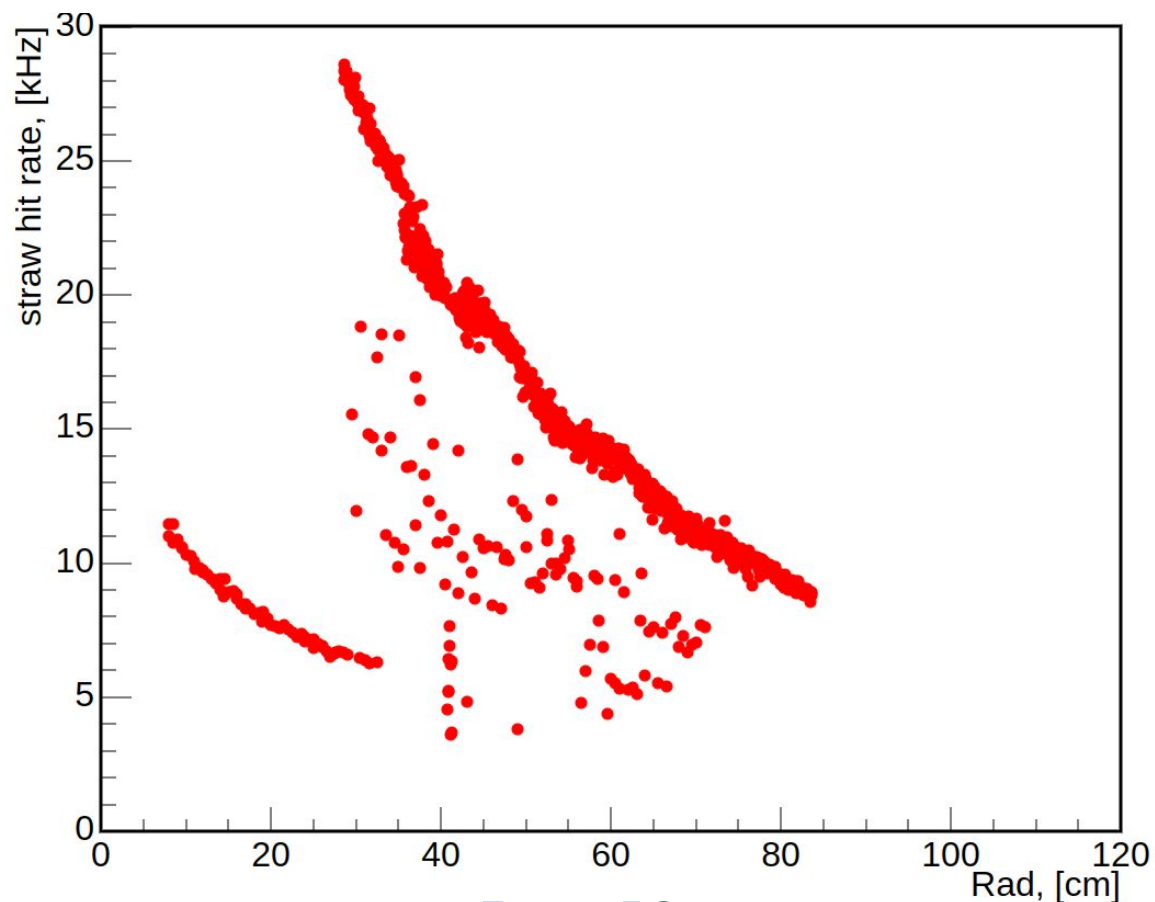


Рис. 10

p-p столкновения, 48k событий,
 $\sqrt{s} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 400 кГц

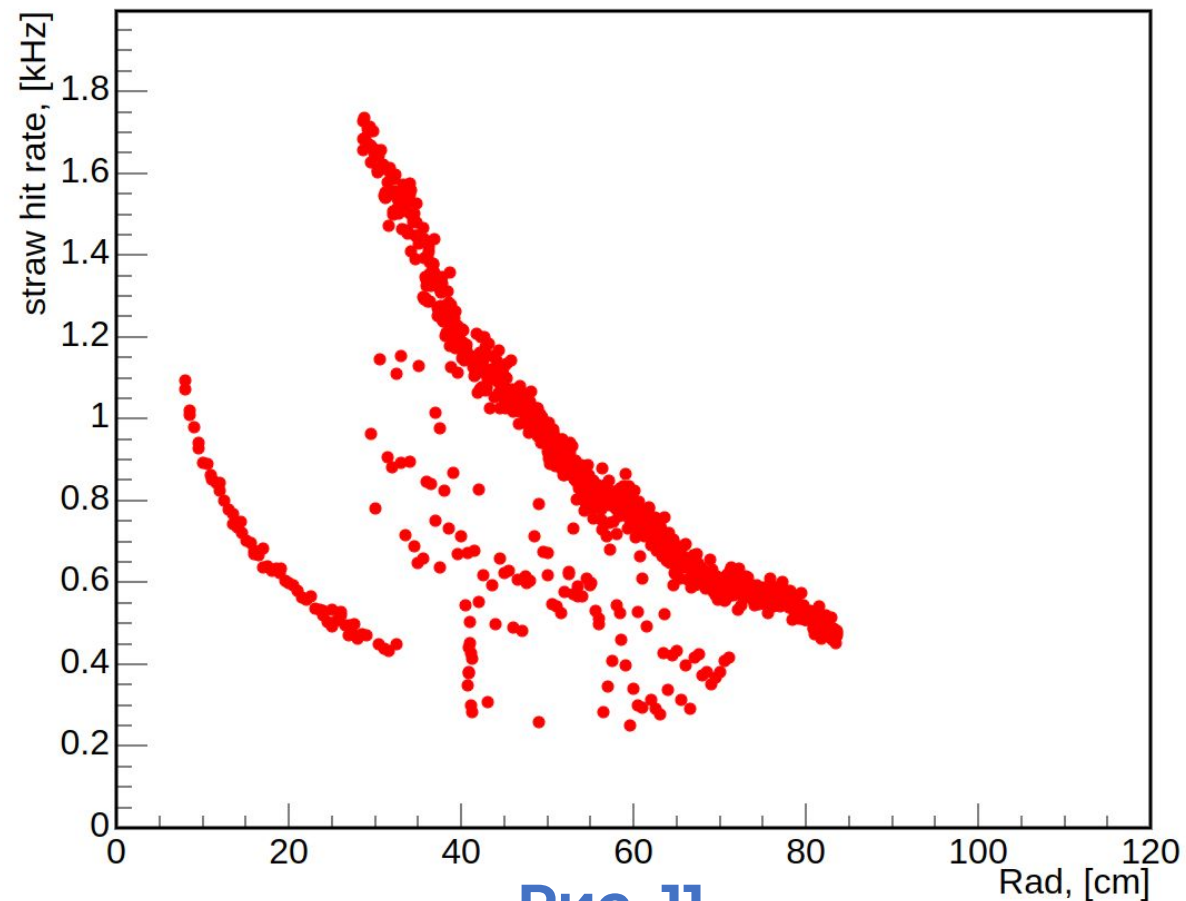


Рис. 11

O-O столкновения, 75k событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ,
Interaction rate 7 кГц

Загруженность Straw Tracker

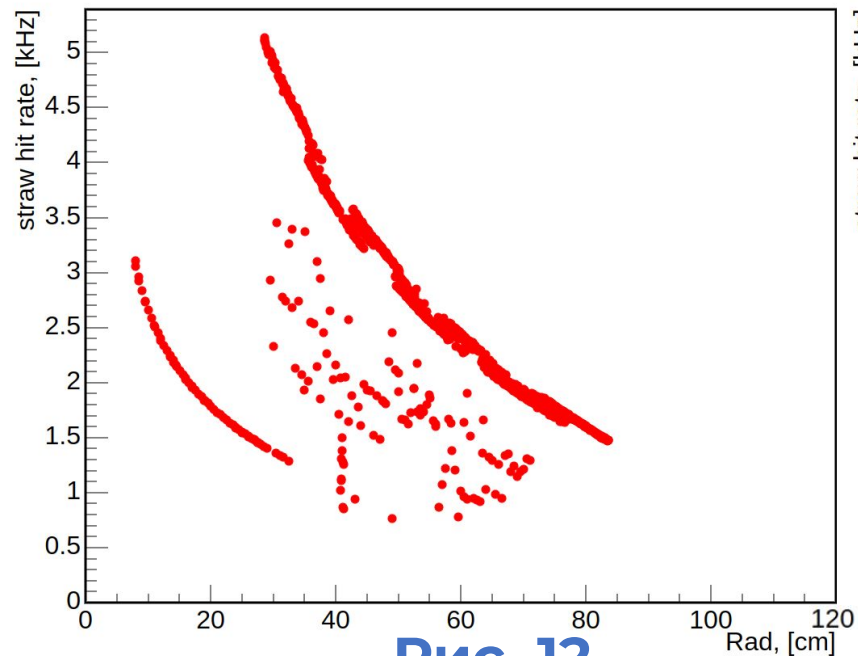


Рис. 12

Ar-Ar столкновения,
25k событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ
Interaction rate 7 кГц

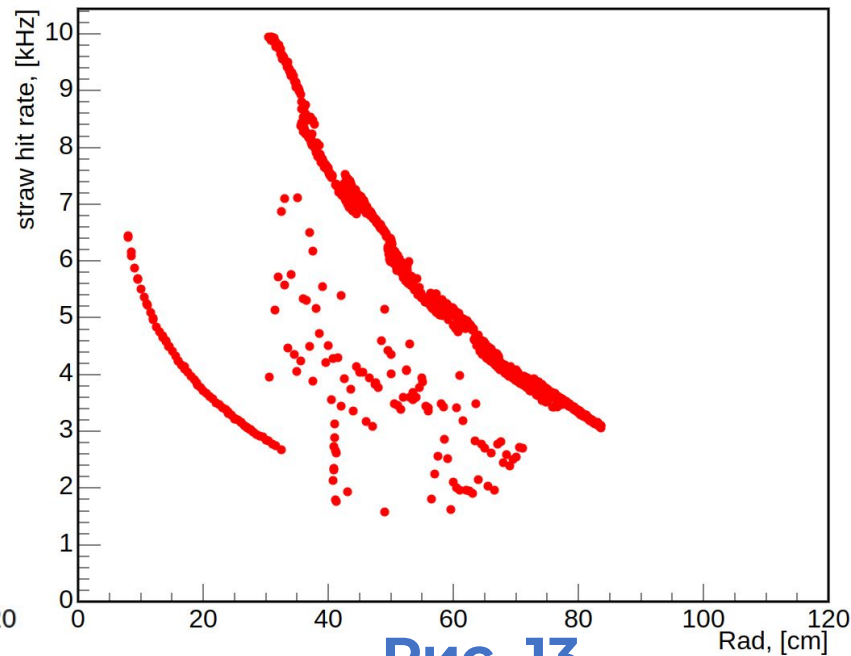


Рис. 13

Kr-Kr столкновения,
10k событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ
Interaction rate 7 кГц

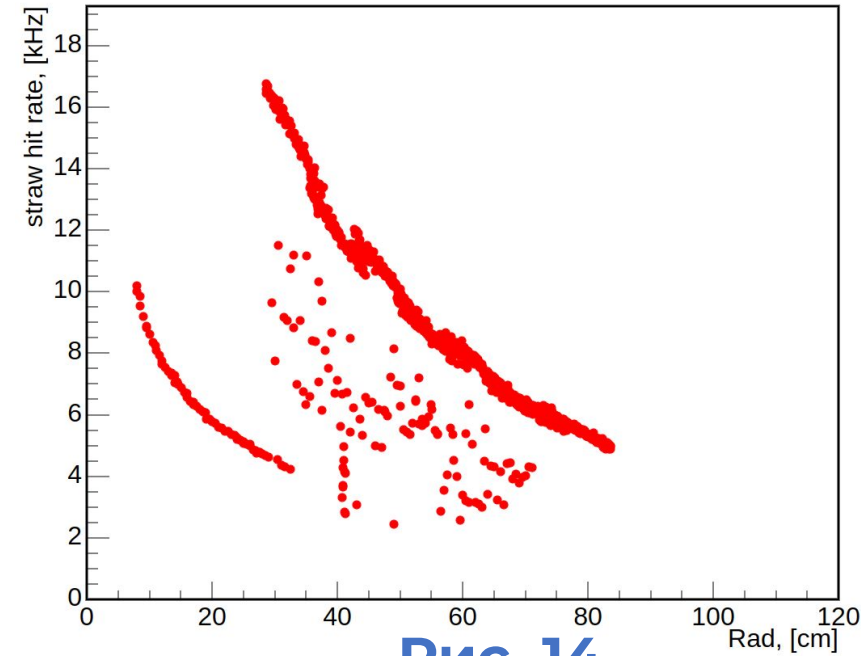


Рис. 14

Xe-Xe столкновения,
10k событий,
 $\sqrt{s_{NN}} = 10$ ГэВ
Interaction rate 7 кГц

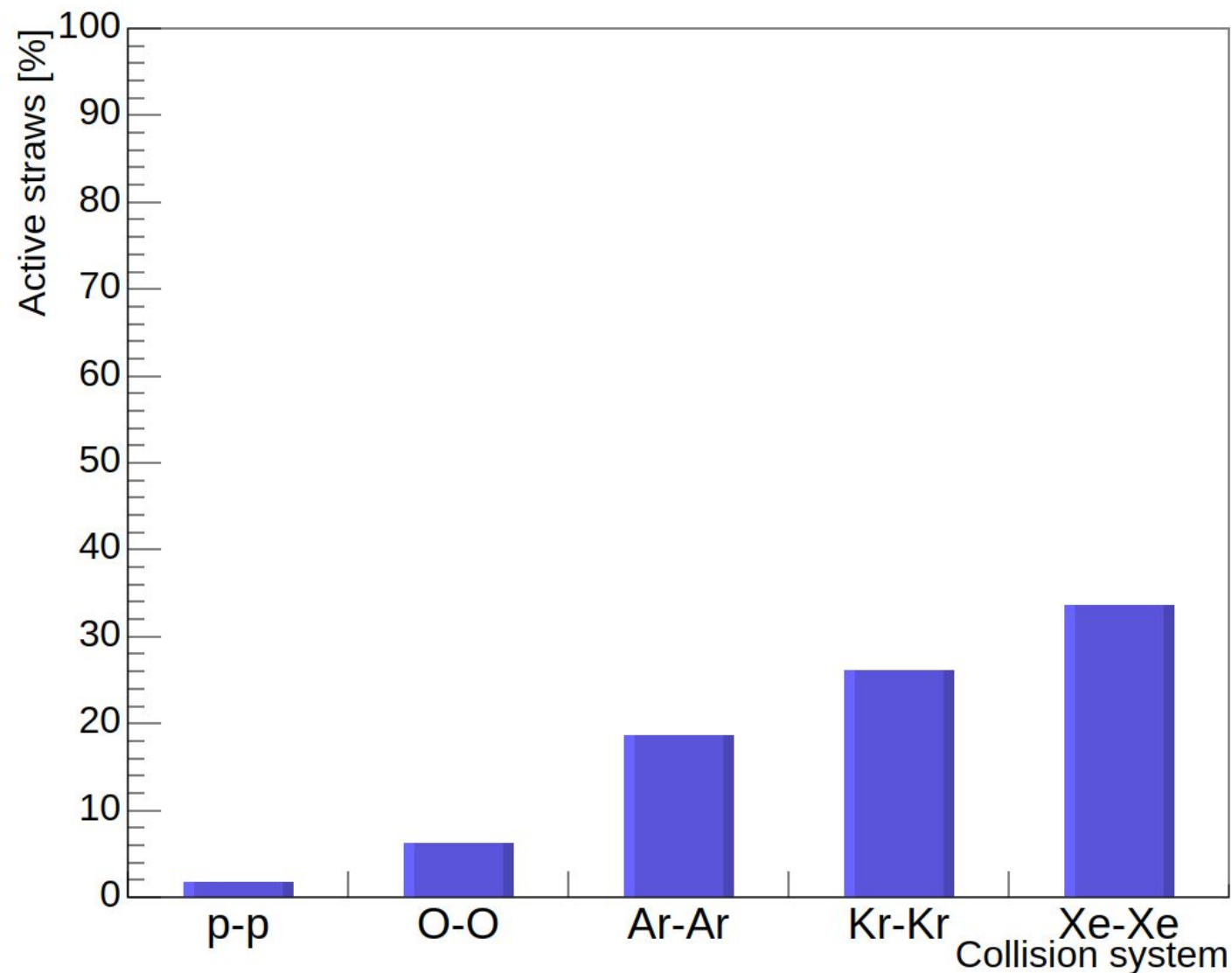


Рис. 15
Доля сработавших straw-трубок в зависимости от системы столкновений в одном событии

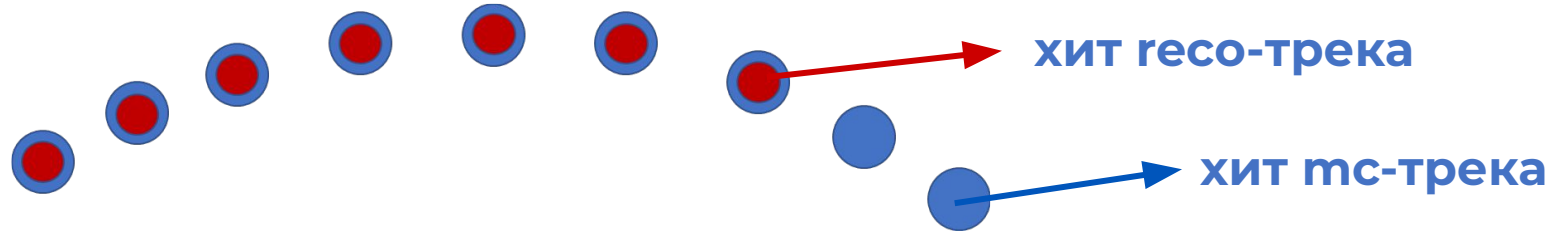
Исследование реконструкции треков основано на сопоставлении МС- и ресо-треков по доле общих хитов в ресо-треке.

Обозначения:

МС-трек - это фитированная траектория заряженной частицы, которая получила набор откликов детектора на этапе реконструкции.

Ресо-трек - восстановленный трек заряженной частицы в детекторе с помощью алгоритма реконструкции.

Хит - искусственно введенное число, характеризующее одну из координат траектории частицы через детектор.



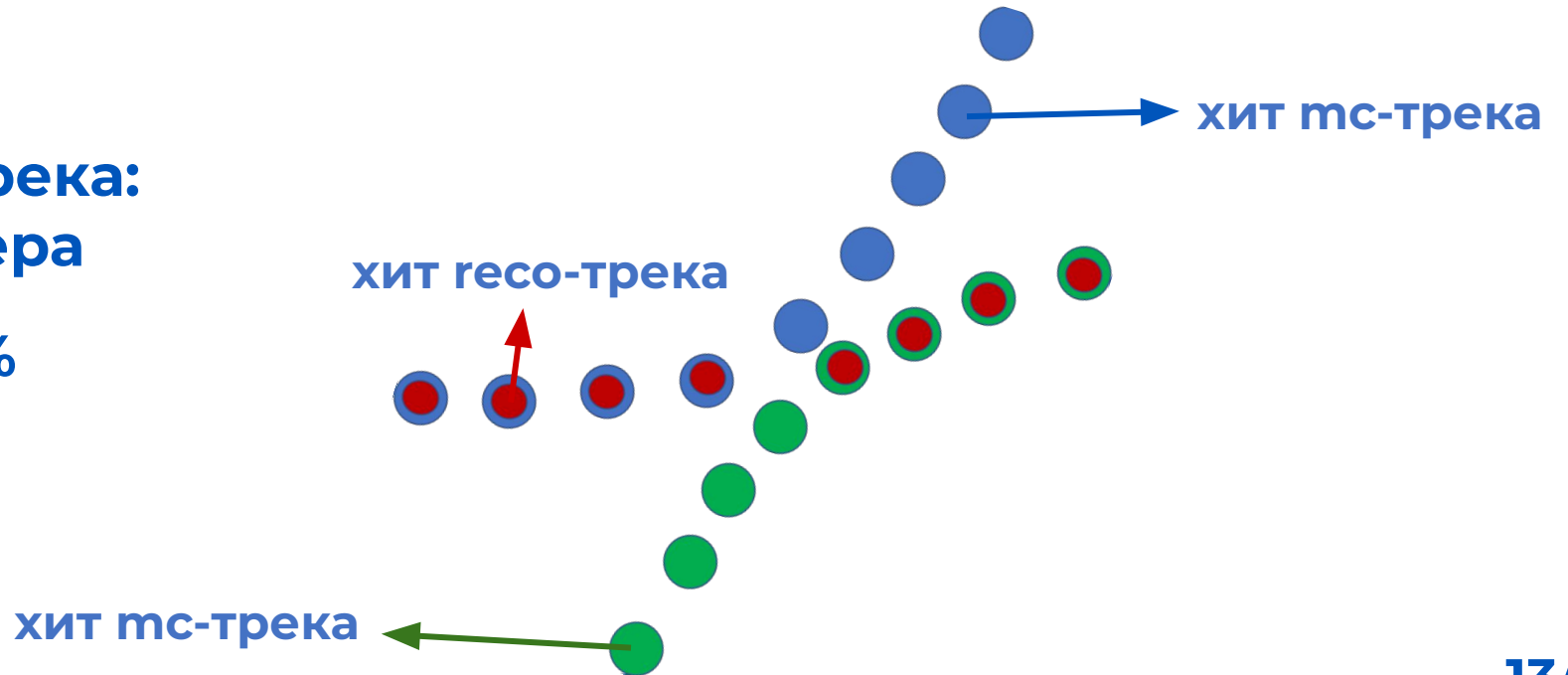
Виды ресо-треков:

- треки, по большей части состоящие из хитов одного тс-трека
- смешанные треки, содержащие хиты от нескольких тс-треков (больше трех)

Критерий отбора ресо-трека:

$|\eta| < 2$ - баррель трекера

$$\frac{\text{общие хиты}}{\text{хиты в ресо-треке}} \geq 51 \%$$



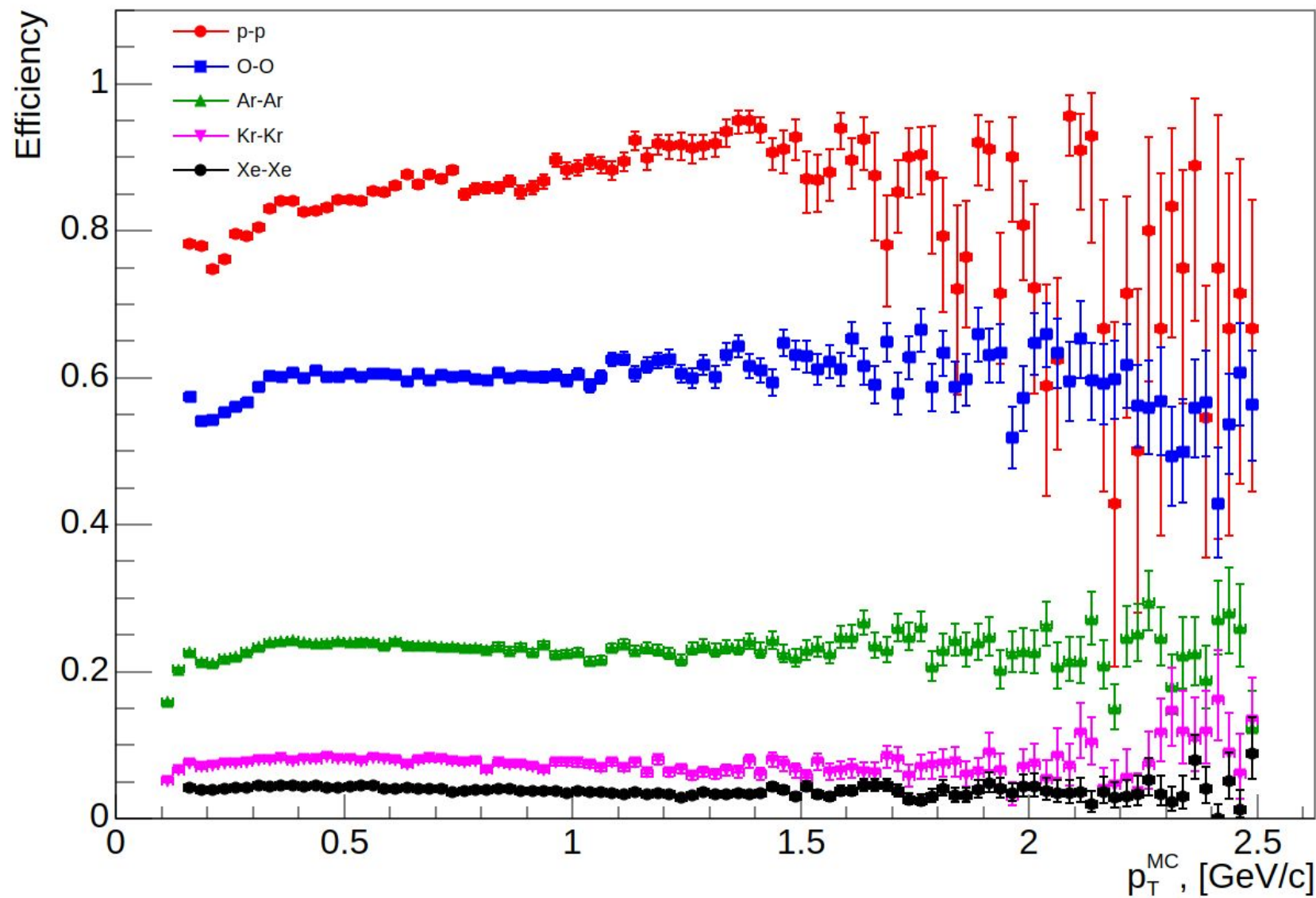
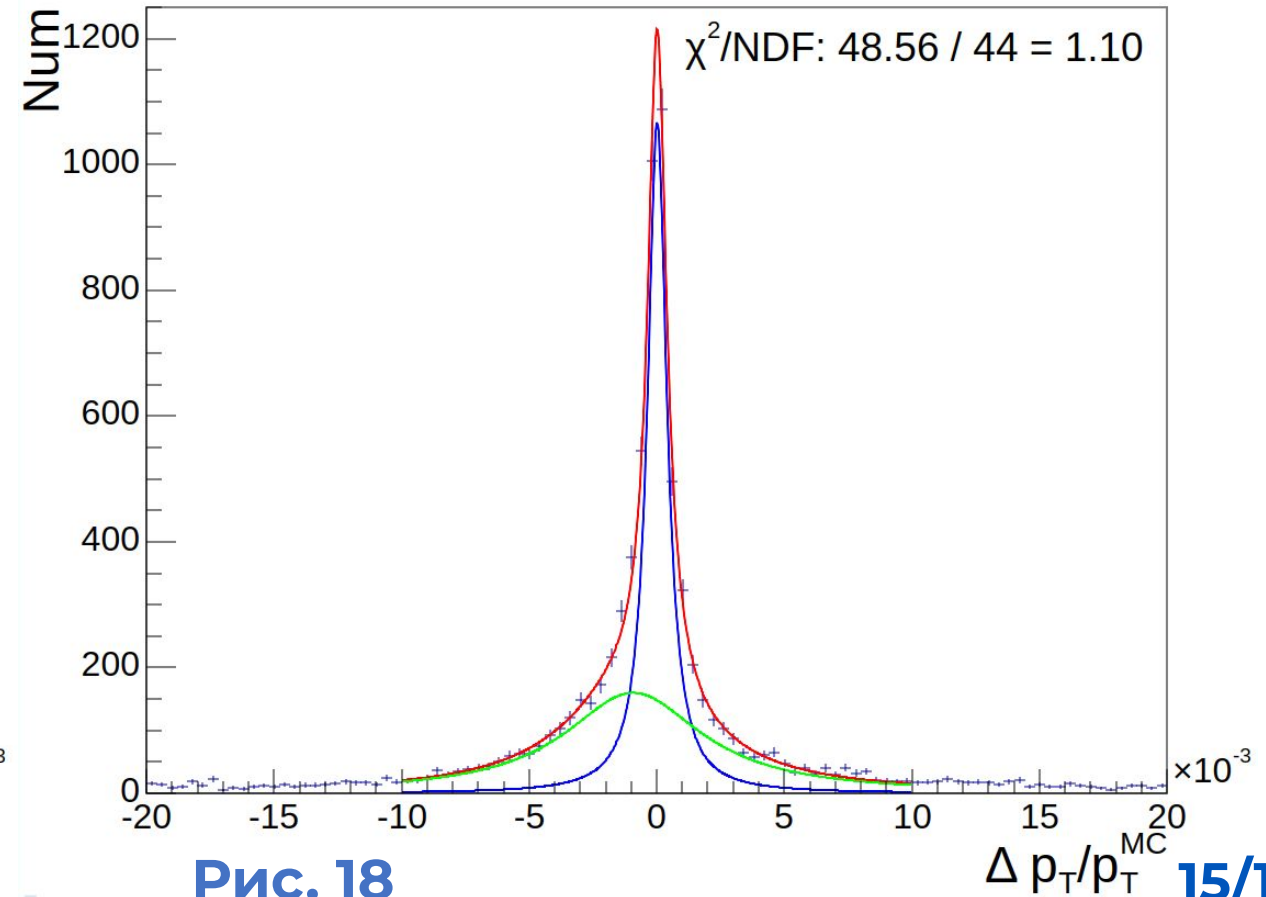
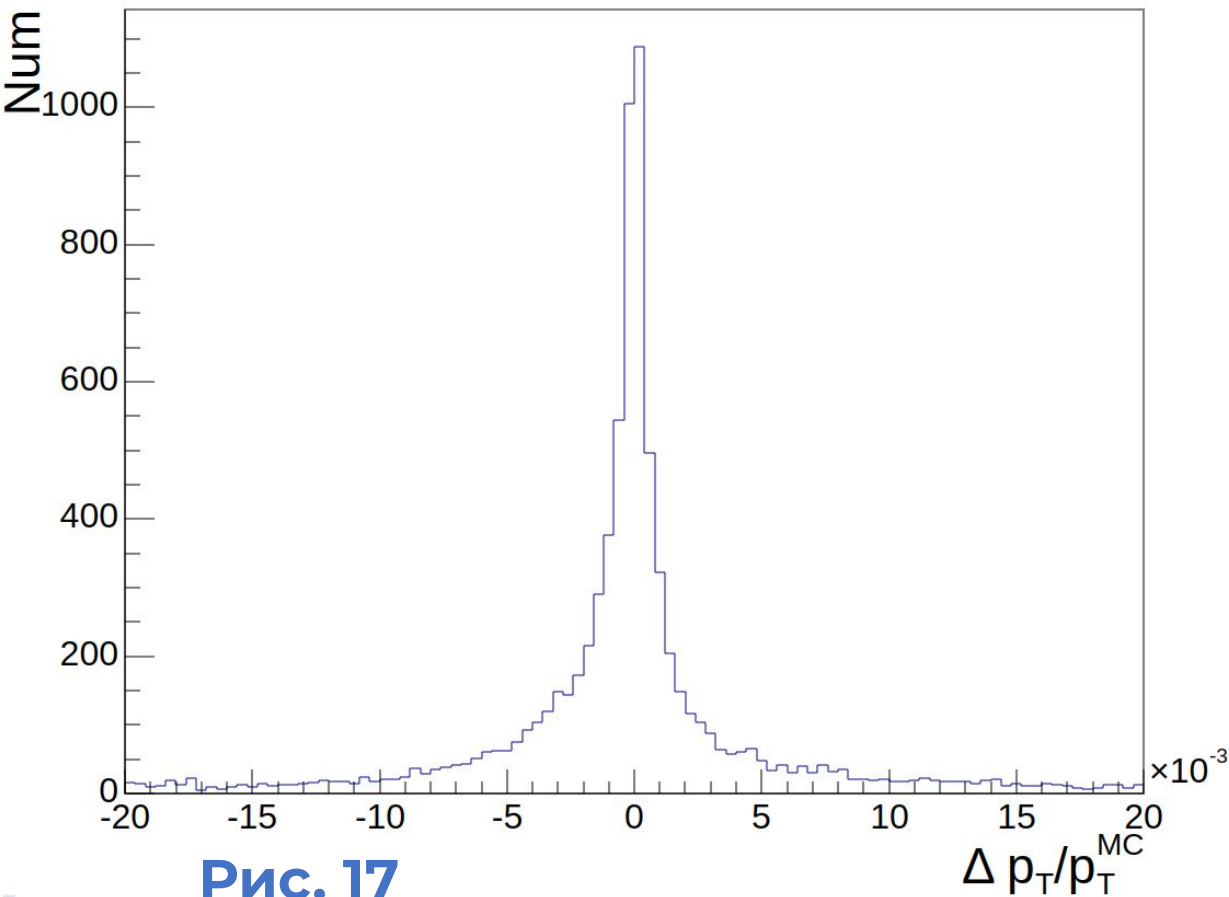


Рис. 16
Эффективность
реконструкции для
различных систем
столкновения

Разрешение по поперечному импульсу

Диапазон возможных значений поперечного импульса МС-треков был разбит на интервалы.

Для каждого интервала строилось распределение $\Delta p_T/p_T^{\text{MC}}$, где $\Delta p_T = p_T^{\text{reco}} - p_T^{\text{MC}}$



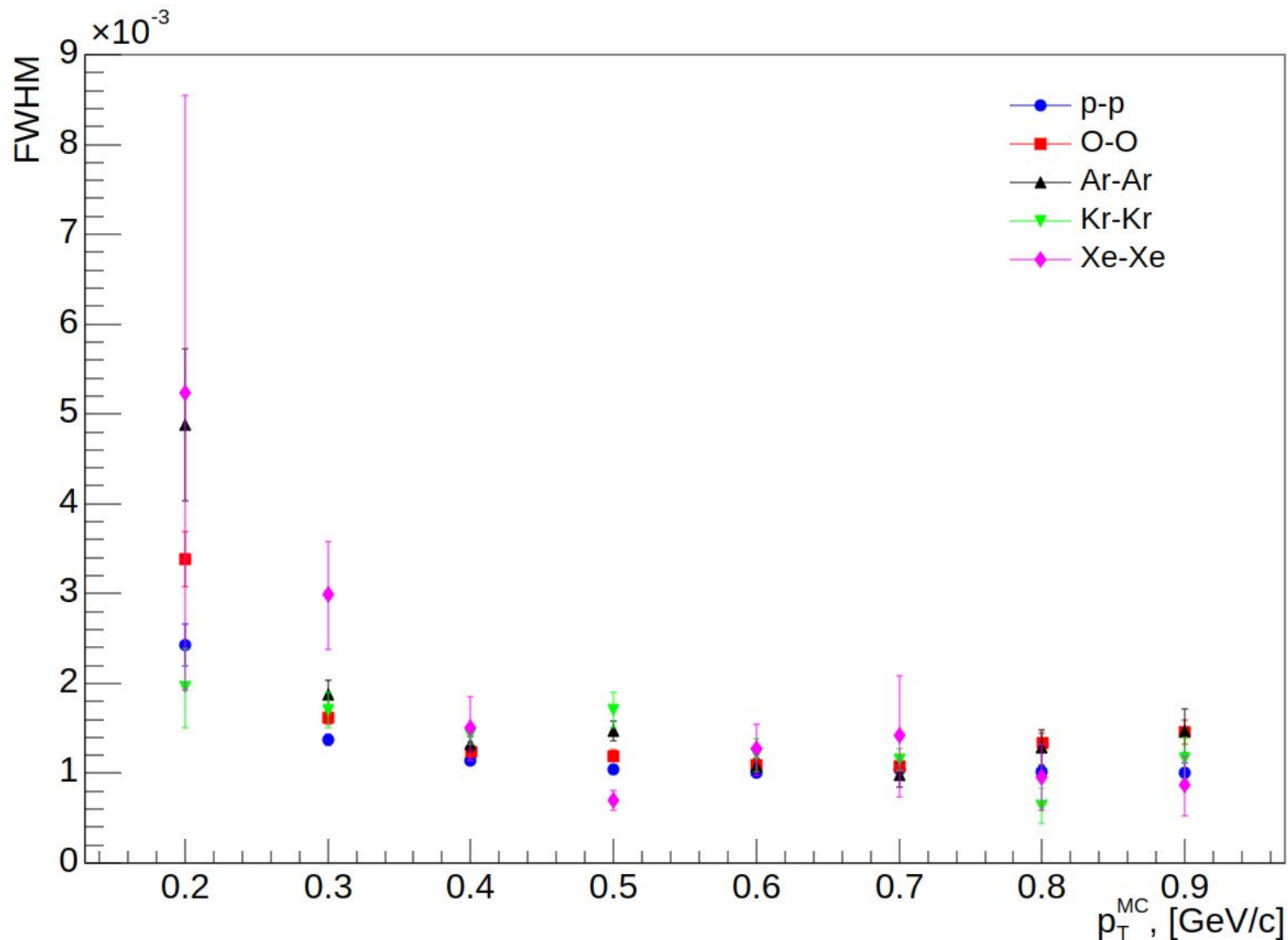


Рис. 19
Зависимость относительного разрешения по поперечному импульсу от поперечного импульса истинных частиц

Заключение

1. Рассчитана средняя и максимальная загрузка детектора для различных систем столкновения в виде зависимости частоты срабатывания straw-трубочек с одинаковым радиальным расстоянием от радиальной координаты.

2. Определена эффективность реконструкции для разных систем столкновения и рассчитана интегральная эффективность.

3. Оценено разрешение по поперечному импульсу для различных систем столкновения

4. Хе-Хе столкновения приводят к значительному ухудшению эффективности реконструкции треков (4.1 %) при загрузке детектора около 33 %. Полученные результаты указывают на ограниченную применимость данной системы для задач ионной программы SPD.

система	интегральная эффективность
p-p	83.0 %
O-O	58.8 %
Ar-Ar	22.7 %
Kr-Kr	7.5 %
Xe-Xe	4.1 %

Спасибо за внимание!

Преимущества SPD над MPD в реализации ионной программы

- Дополняет MPD, предлагая уникальные физические возможности
- Высокая светимость
- Небольшое пространственное разрешение
- Широкий диапазон псевдобыстроты

and phase transitions. In particular, the observables that will be measured on the event-by-event basis are particle yields, particle ratios, correlations, and fluctuations. The Nuclotron-based Ion Collider Facility (NICA) [1, 2] will operate at a luminosity up to $10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for Au^{79+} ions. Two interaction points are foreseen at NICA for

The Spin Physics Detector collaboration proposes to install a universal detector in the second interaction point of the NICA collider under construction (JINR, Dubna) to study the spin structure of the proton and deuteron and other spin-related phenomena using a unique possibility to operate with polarized proton and deuteron beams at a collision energy up to 27 GeV and a luminosity up to $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As the main

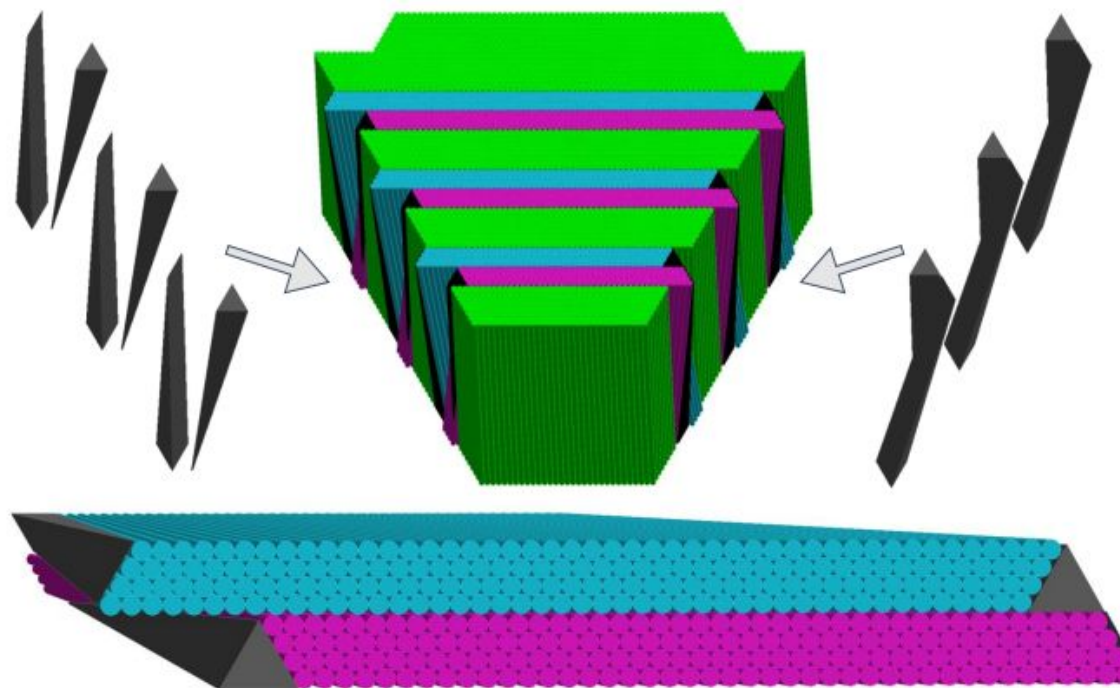
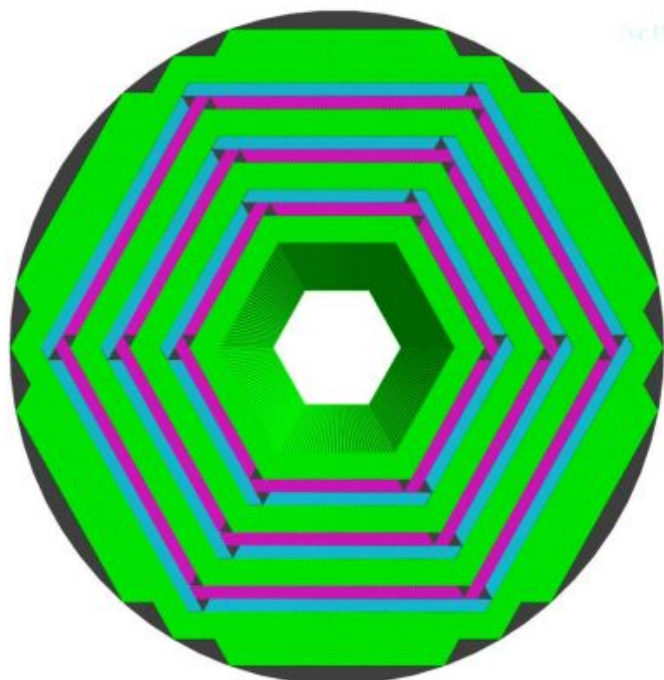
The TPC/MPD will provide:

- The overall acceptance of $\eta < 1.2$

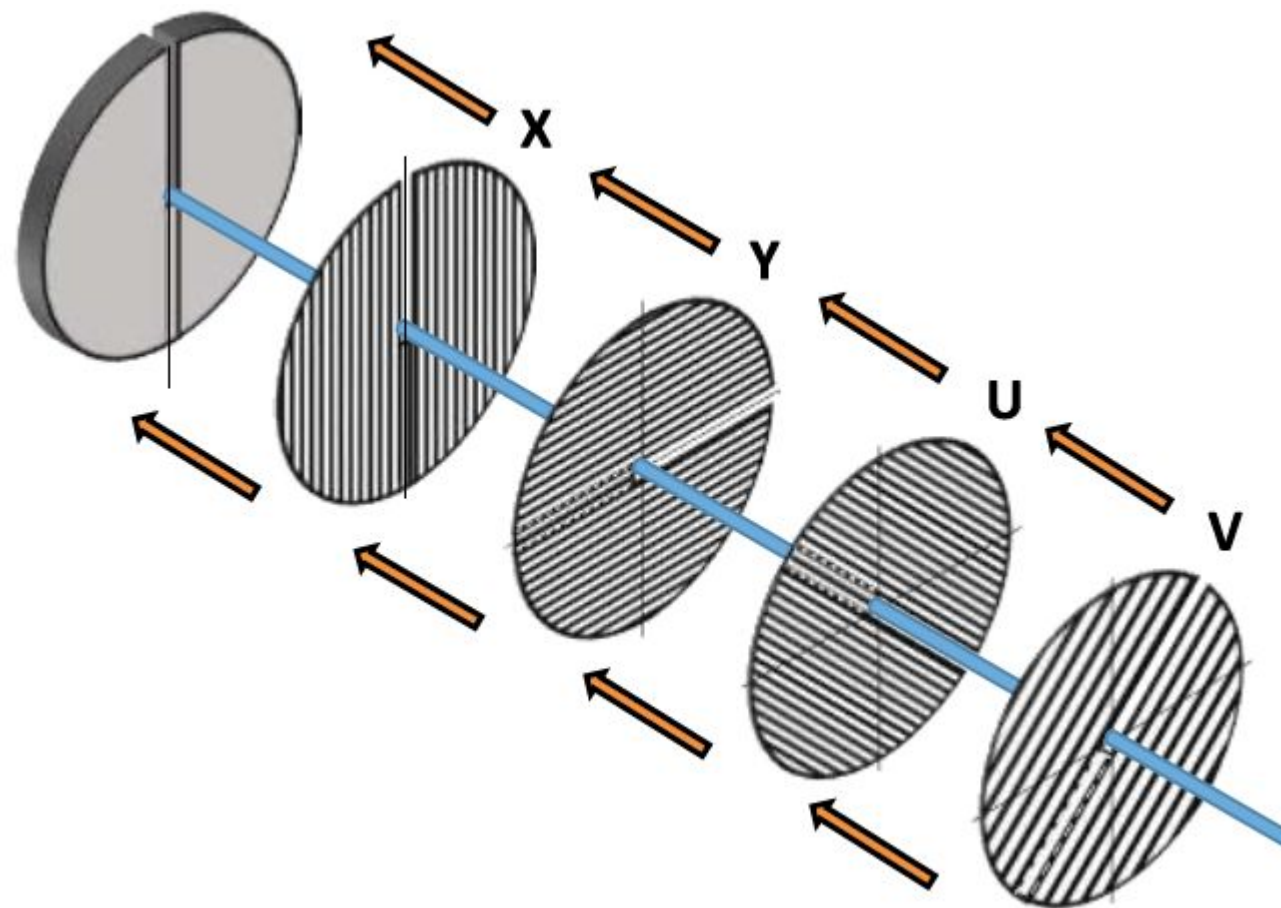
of the clustering procedure looks reasonable, starting from $\eta = 0$ and $\eta = 1.2$ corresponds to pseudorapidity requirement $|\eta| < 2.4$, c

Inserts

- 6 identical sextants: 3 types of UV-layers, angle = 1.24°
- 36 identical inserts on each side, symmetrically placed
- Empty space partially replaced by tubes - 864 additional UV tubes in the full barrel



Дополнительный слайд №3



Для оценки неопределенности FWHM использовался метод Монте-Карло, основанный на варьировании параметров аппроксимирующей функции в пределах их статистических ошибок.

После выполнения фитирования определялись оптимальные значения параметров суммарной фитирующей функции и их стандартные ошибки. Далее для каждого параметра генерировалось случайное значение по нормальному распределению с математическим ожиданием, равным значению параметра, и среднеквадратичным отклонением, равным его ошибке. Для каждого набора случайно сгенерированных параметров строилась новая функция, после чего вычислялась ее FWHM. Процедура повторялась многократно (200 итераций), что приводило к формированию выборки значений FWHM, соответствующих различным реализациям параметров фитирующей функции.

В качестве значения FWHM использовалась ширина, рассчитанная для параметров, полученных в результате фитирования. Ошибка определения FWHM оценивалась как стандартное отклонение значений, полученных при Монте-Карло-варьировании параметров фитирующей функции:

$$\sigma_{\text{FWHM}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\text{FWHM}_i - \langle \text{FWHM} \rangle)^2}, \quad (7.1)$$

где N - число Монте-Карло реализаций, FWHM_i - значение FWHM для i -ой реализации, а $\langle \text{FWHM} \rangle$ - среднее значение FWHM по всем реализациям.

Полученная ошибка учитывает влияние статистических ошибок параметров фитирования на определяемое значение FWHM.