

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КООРДИНАТНОЙ ТОЧНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПИКСЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Выполнил
Научный руководитель, доцент

Москва, 29.06.2023

Дуров А.И.,
Смирнов С.Ю.

Цель работы

Целью работы является исследование координатной точности полупроводниковых пиксельных детекторов переходного излучения на основе кремния и арсенида галлия с использованием данных, полученных с экспериментов по исследованию детекторов переходного излучения на ускорителе SPS в CERN в 2017 и 2021 годах. Полученные результаты будут полезны для разработки нового типа детектора переходного излучения, позволяющим идентифицировать частицу, при этом точно измерив её координату и Лоренц-фактор.

Этапы работы

Можно выделить три основных этапа работы:

- 1) Подготовка данных для анализа
- 2) Юстировка установки и восстановление трека
- 3) Измерение координатной точности исследуемых детекторов и исследование методик её улучшения

Тестирование детектора переходного излучения на пучке 2021 года

Схема установки, использовавшейся для тестирования детектора переходного излучения на пучке в 2021 году, можно увидеть на рис. 1. Установка состояла из следующих элементов:

1. Радиатор - наборы пленок, необходимых для образования фотонов переходного излучения (Полиэтилен, полипропилен, комбинация полиэтилена и полипропилена, Mylar и dummy радиатор);
2. Трубки с гелием - трубки различных длин, заполненные гелием. Они использовались для предотвращения поглощения излучаемых фотонов переходного излучения в воздухе ($L_p = 30\text{см}, 50\text{см}, 100\text{см}, 200\text{см}$)
3. Детектор - непосредственно сам исследуемый детектор переходного излучения на основе кристалла GaAs

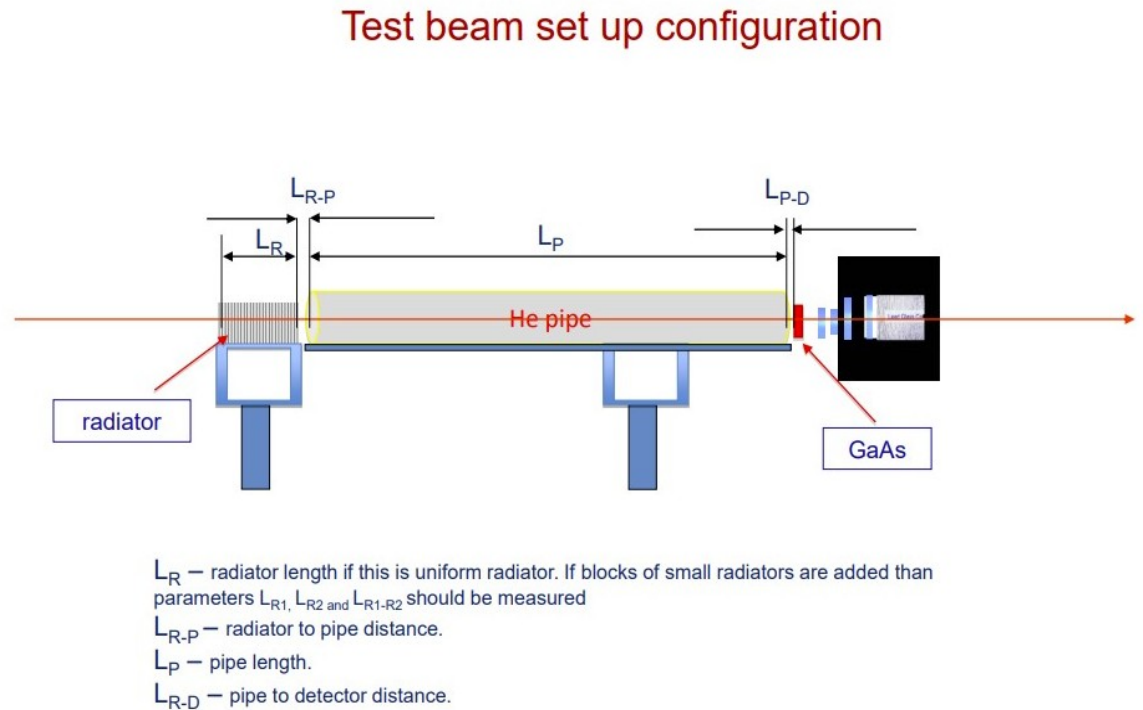


Рис. 1

Тестирование детектора переходного излучения на пучке 2017 года

Схема установки, использовавшейся для тестирования детектора переходного излучения на пучке в 2017 году, можно увидеть на рис. 2. В общих чертах устройство эксперимента аналогично описанному на предыдущем слайде. Основное и принципиальное отличие состоит в следующем:

Вместо одного пиксельного ДПИ здесь используется 4 детектора: один исследуемый ДПИ и 3 кремниевых пиксельных детектора, обладающих меньшей толщиной, по сравнению с исследуемым ДПИ

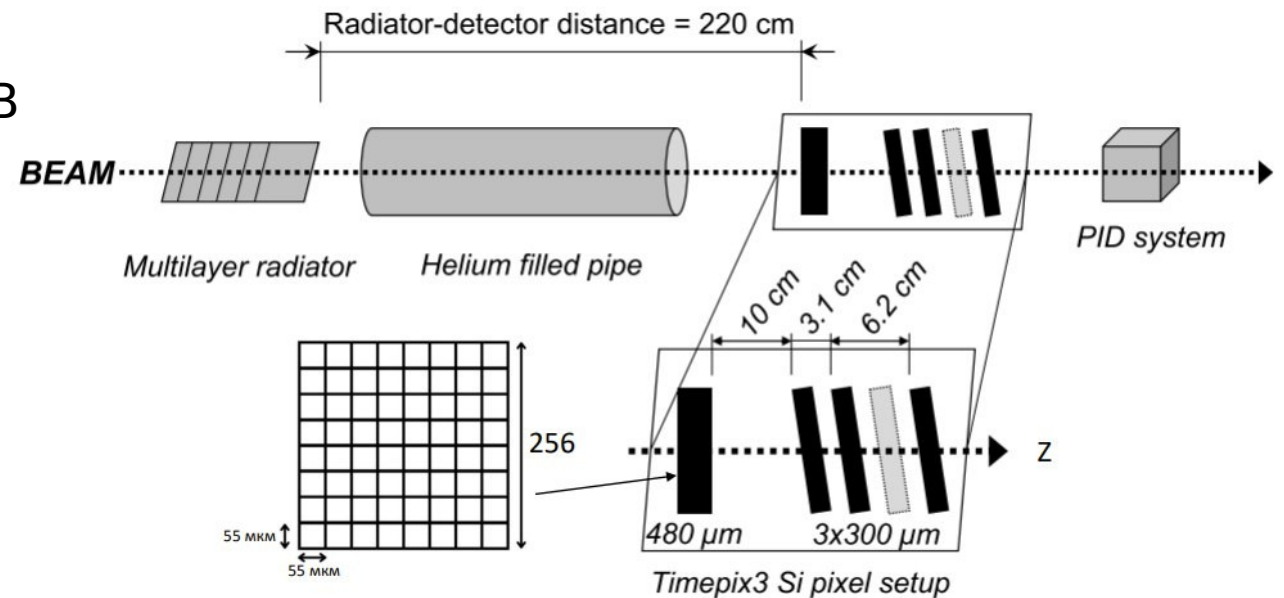


Рис. 2

Первый этап. Подготовка данных для анализа

В подготовке данных для анализа можно выделить несколько основных шагов, также проиллюстрированных на рис. 3

- 1) Распаковка сырых данных
- 2) Построение событий
- 3) Кластеризация
- 4) Дальнейший анализ

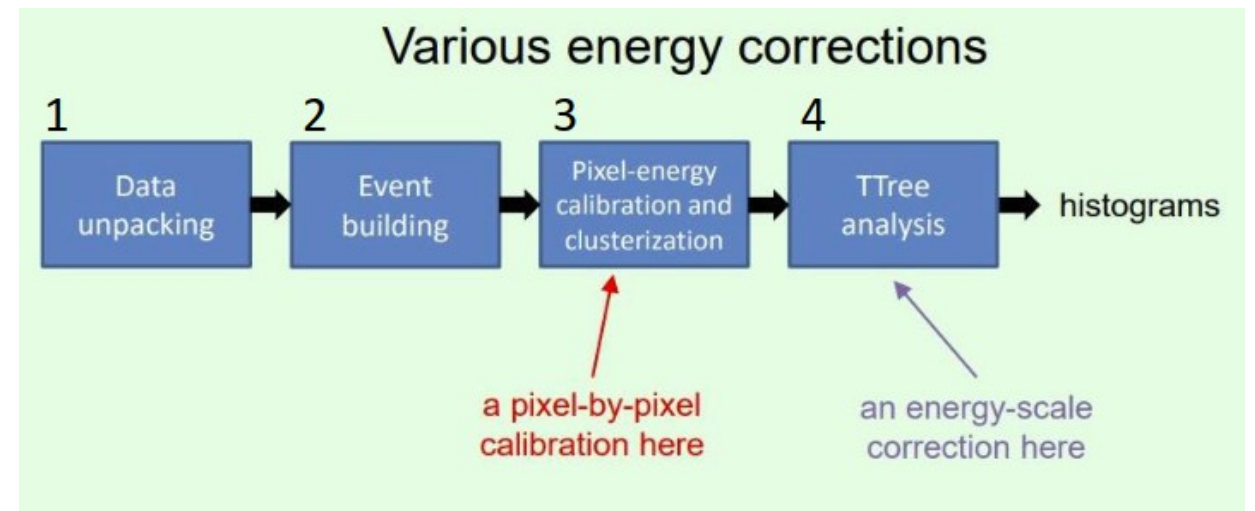


Рис. 3

Первый этап. Подготовка данных для анализа.

Примечание: все показанные графики и гистограммы на этом этапе соответствуют работе с данными по эксперименту 2021 года.

Рис. 4 -
зависимость
энергии
от угла (для
фотонов ПИ)

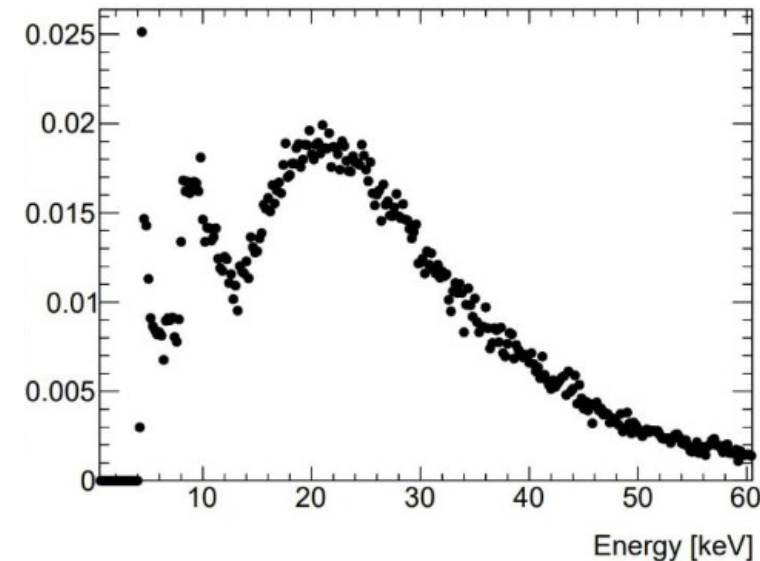
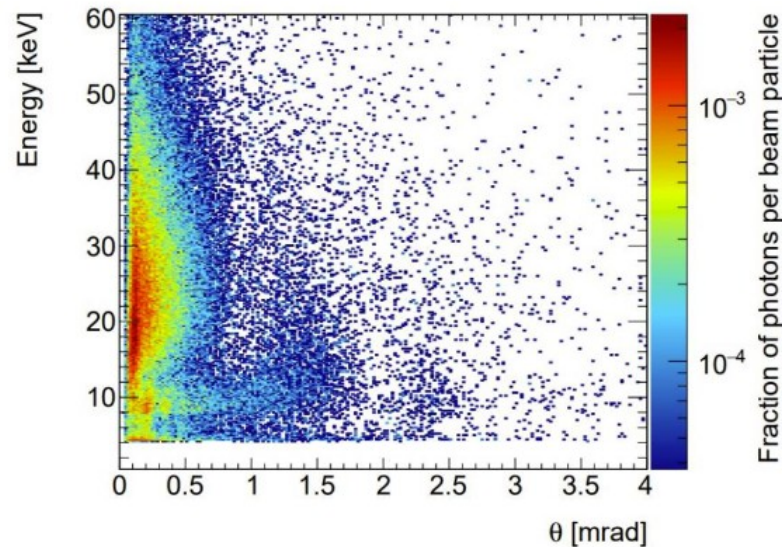


Рис. 5 - Спектр
энергии (для
фотонов ПИ)

Характеристики данного испытания:

радиатор из пленки на основе синтетического полиэфирного волокна - Mylar,

толщины пленок - 50 мкм,

Расстояния между двумя соседними пленками - 3 мм,

номинальное расстояние между радиатором и детектором - 2175.75 мм,

число пленок - 90 штук

Второй этап. Программная юстировка

Прежде чем приступить к измерению координатной точности установки, необходимо провести так называемую юстировку пиксельных плат. Так как все три пиксельных платы были повернуты под некоторым углом к оси пучка Z по осям X и Y, а также между собой эти три пиксельных платы имели разницу в положении относительно осей X и Y, их необходимо было выровнять к единой системе отсчета координат, получаемых непосредственно с самих пиксельных плат. Здесь и далее все результаты будут приведены для пучка мюонов энергией 180 ГэВ.

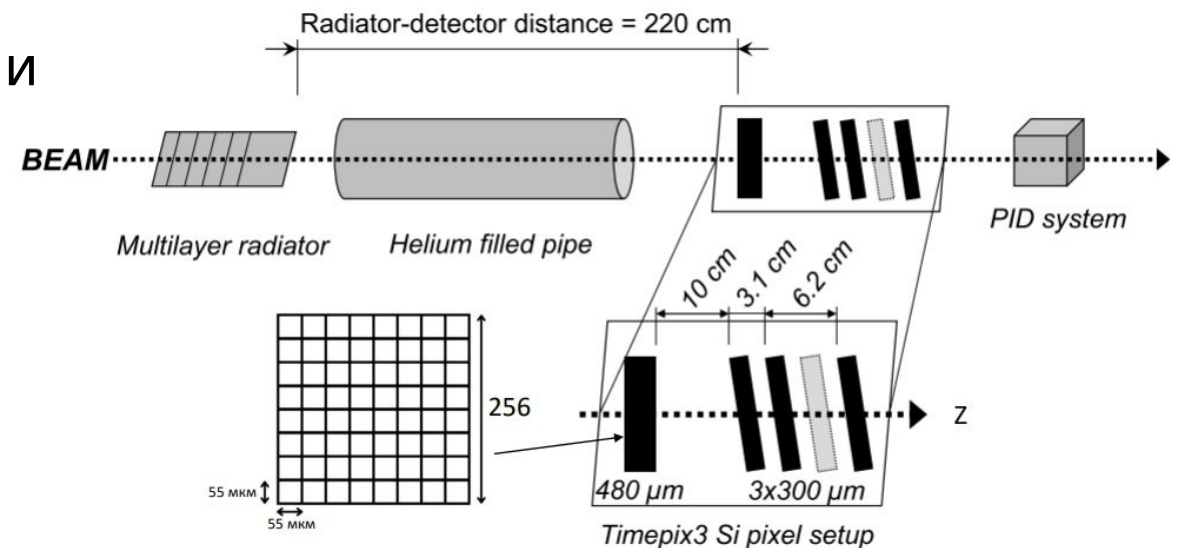


Рис. 6

Второй этап. Программная юстировка

Процесс выравнивания по углам можно увидеть на рис. 7-8. На рис. 7 показана зависимость Z-координаты одной из наклоненных пиксельных плоскостей от Y-координаты. На рис. 8 показана та же зависимость, но после выравнивания. Видно, что после выравнивания по углам, наклоны в 9° по осям X и Y пропали.

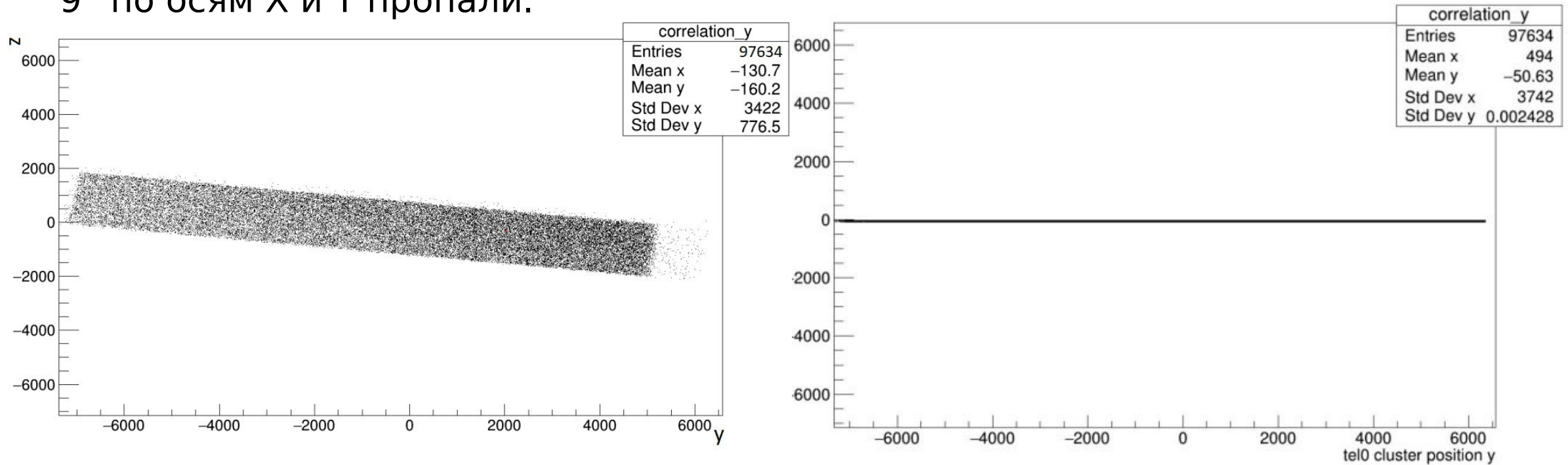


Рис. 7

Рис. 8

Третий этап. Измерение координатной точности. Восстановление трека частицы

- 1) Берется событие прохождения одной частицей всех трек плат;
- 2) Из этого события вычленяются координаты прохождения частицей первой и второй плат;
- 3) На основе этих двух наборов координат восстанавливается трек частицы и рассчитывается предполагаемая координата прохождения этой частицей третьей платы;
- 4) Находится разница между вычисленной в прошлом пункте координатой и реальная координата, измеренная третьей платой и строится соответствующая гистограмма;
- 5) Профитированное распределение дает сигму, которая и будет означать координатную точность данного набора из трех пиксельных плат

Третий этап. Измерение координатной точности. Восстановление трека частицы

По алгоритму, описанному на прошлом слайде, были получены координатные точности для каждой из пиксельных плоскостей. Для наглядности полученных результатов на рис. 9 приведено определение координатной точности по оси X для первой из пиксельных плат. Такая координатная точность составляет 22.4 ± 0.3 мкм.

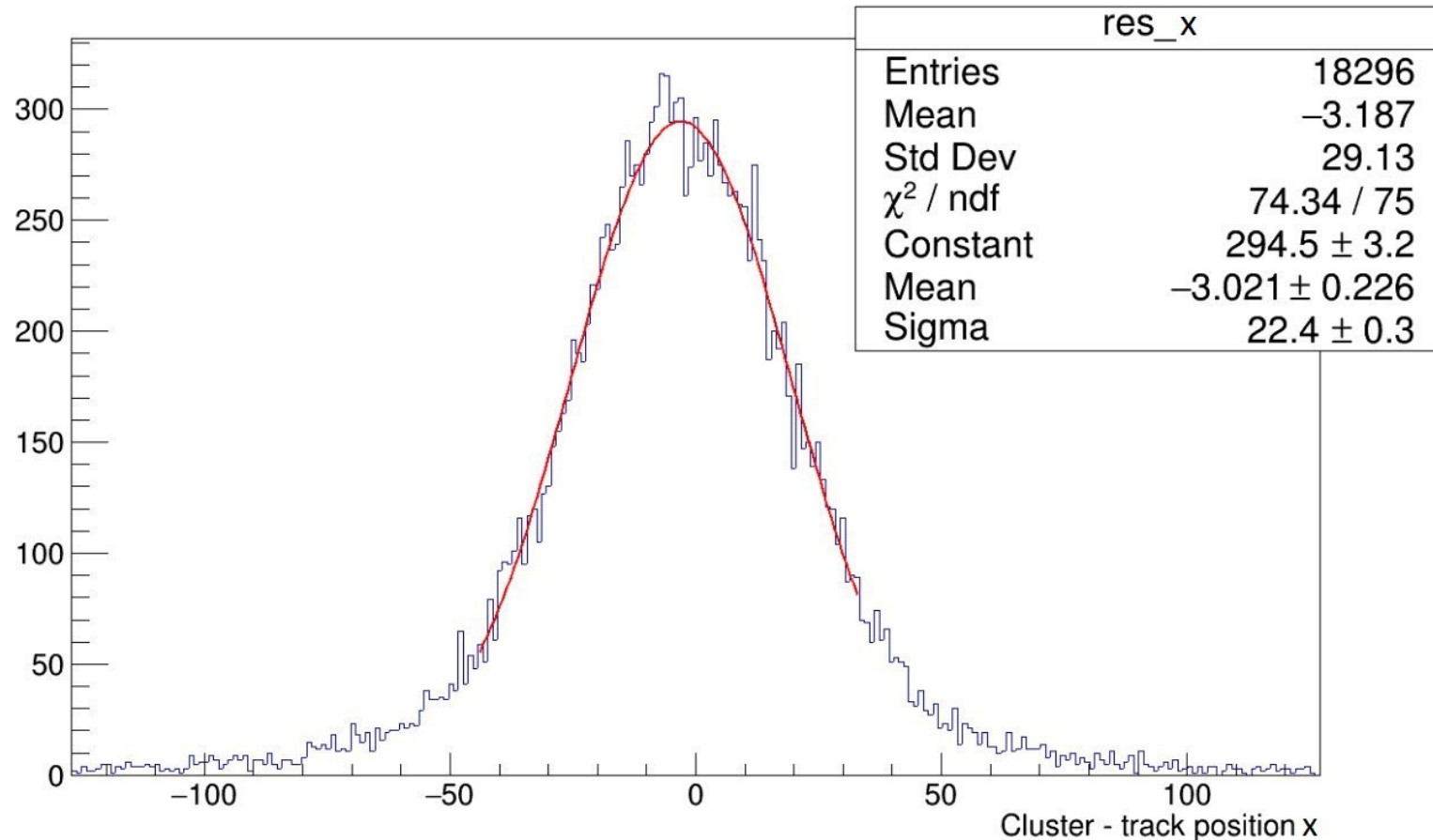


Рис. 9

Третий этап. Улучшение координатной точности. S-кривая

Так называемая S-кривая (см. рис. 10) показывает зависимость координаты частицы, полученной методом CoG (Centre-of-Gravity) от координаты частицы, полученную по восстановленному треку частицы. Показанная S-кривая была построена по данным с моделирования, сделанного другими участниками нашей научной группы. Моделирование сделано для детектора на основе GaAs, который обладает более высокой поперечной диффузией, поэтому кластеры состоят из большего числа пикселей, в связи с чем метод CoG работает точнее, чем в нашем исследуемом детекторе.

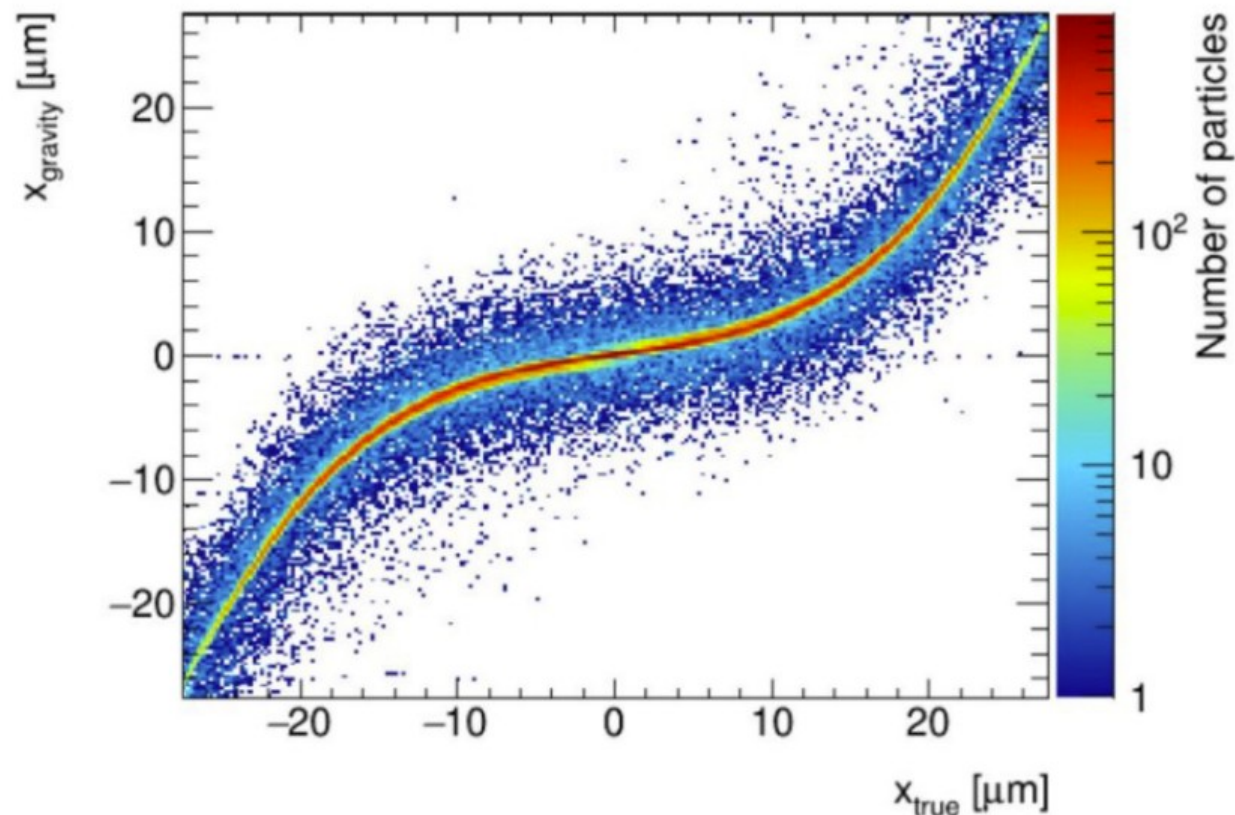


Рис. 10

Третий этап. Текущий статус исследования

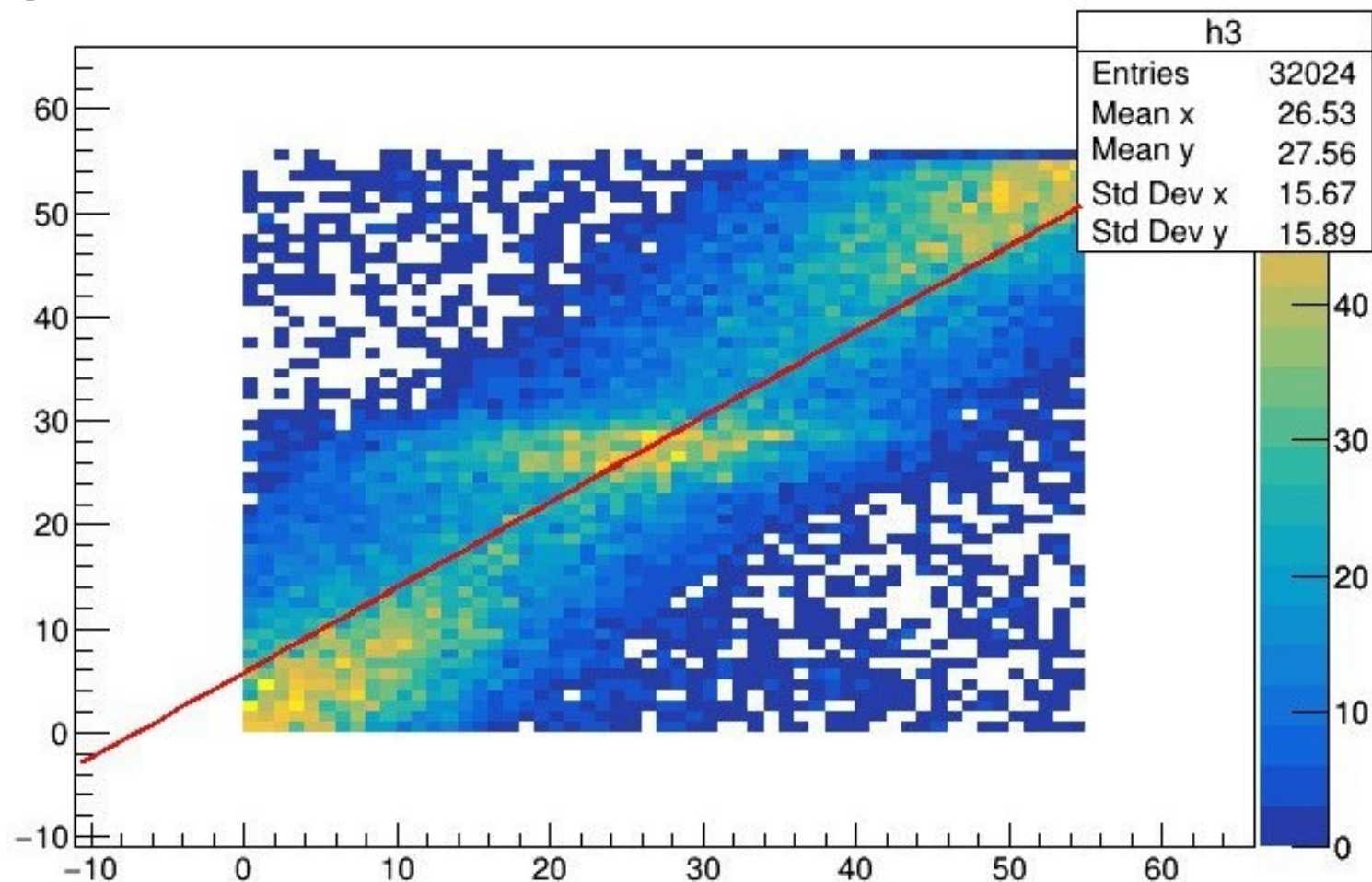


Рис. 11

Результаты

- В результате первого этапа работы сырые данные, полученные непосредственно после эксперимента были приведены в определенный вид, который можно использовать для дальнейшего анализа
- Результатом второго этапа стала юстировка пиксельных плат, позволившая восстановить корректный вид эксперимента в терминах обработки его результатов кодом
- На третьем этапе была посчитана координатная точность детектора, которая составила 22.4 ± 0.3 мкм, а также было выполнено исследование методик улучшения координатной точности, в связи с чем был разработан алгоритм построения S-кривой, которая будет полезна для улучшения координатной точности детектора

Спасибо за внимание!