

Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Кафедра физики элементарных частиц №40

Выпускная квалификационная работа магистра на тему:

Экспериментальное исследование характеристик
комбинированного трекового детектора на основе
полупроводниковой матрицы из GaAs.

Студент
Попова Владимир Сергеевича

Научный руководитель
Смирнов Сергей Юрьевич

г. Москва 2025

Цель работы

Калибровка прототипа детектора переходного излучения, по данным полученным на ускорителе SPS в ЦЕРНе в 2024 году, для последующей возможности анализа экспериментальных данных.

Схема установки на ускорителе SPS

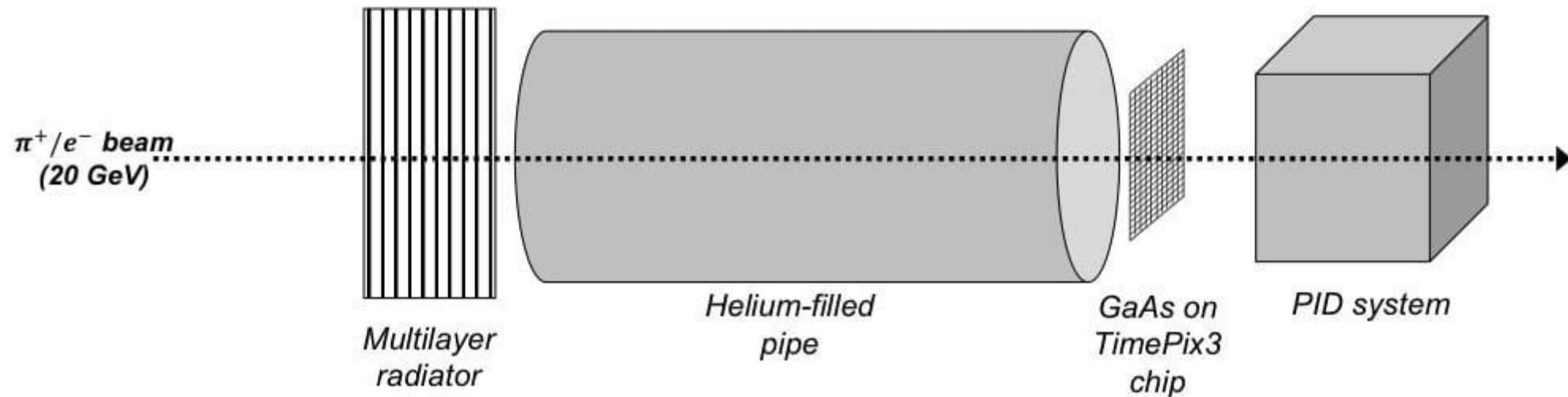
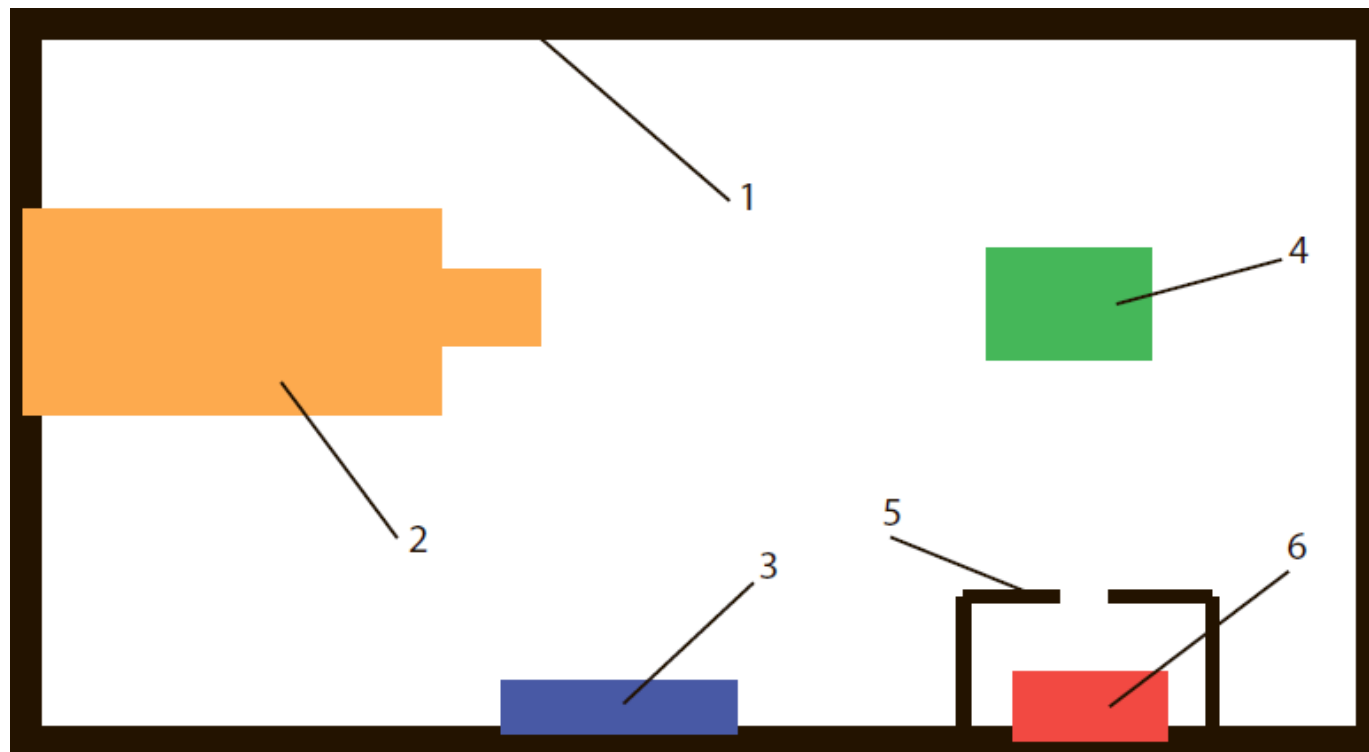


Схема установки для калибровки детектора

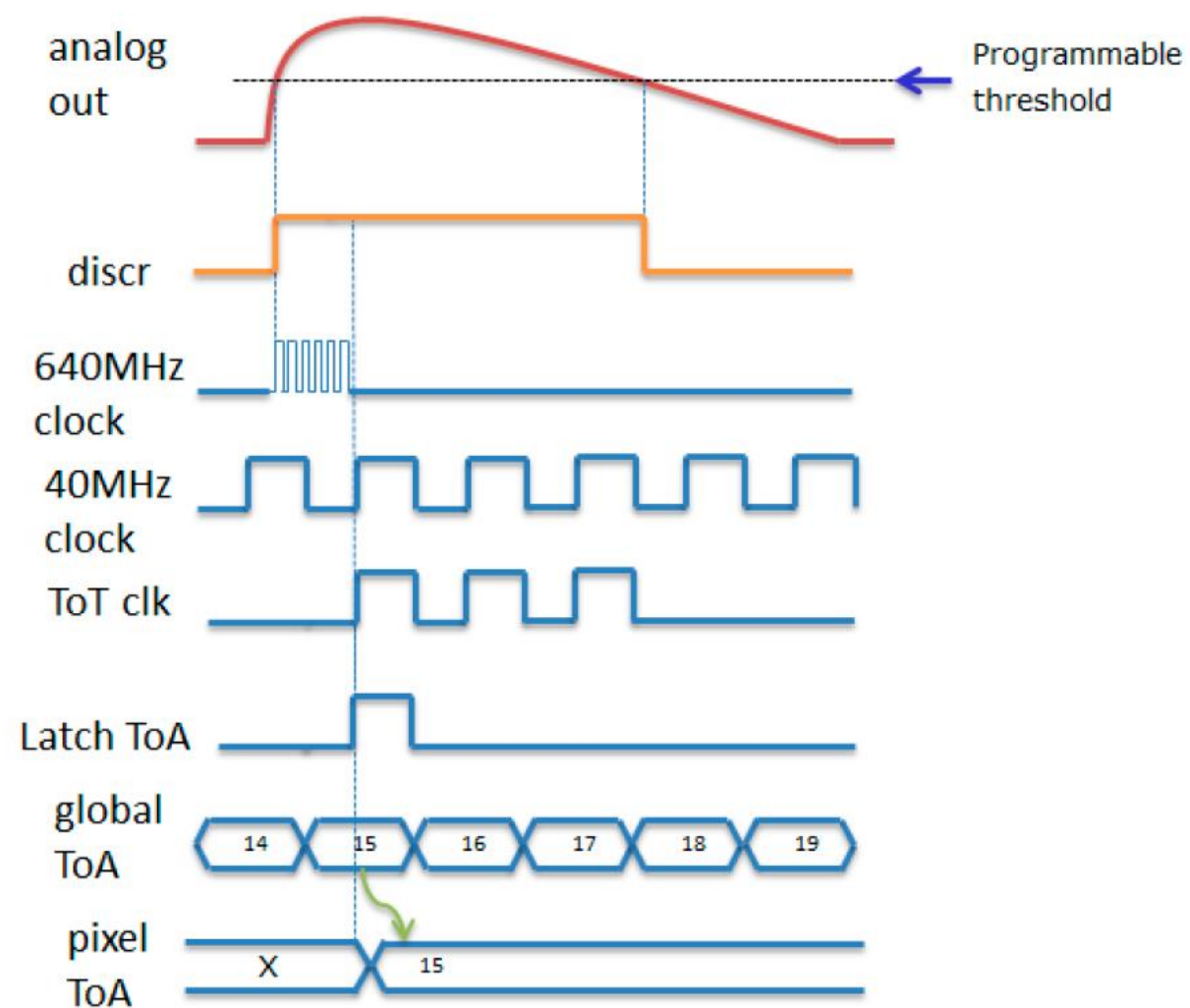


1 – освинцованный бокс, 2 – рентгеновская трубка, 3 - вентилятор,
4 – мишень, 5 – защитный корпус, 6 – детектор

Точки по энергии для калибровки детектора

Материал	Энергия кэВ
^{55}Fe (источник)	5.95
Fe	6.4
Ni	7.46
Cu	8.04
Ge	9.9
Se	11.22
Sr	14.17
Zr	15.77
Mo	17.4
Ag	22.2
In	24.1
Sn	25.3
^{241}Am (источник)	59.5

Принцип работы пикселя Timerix3

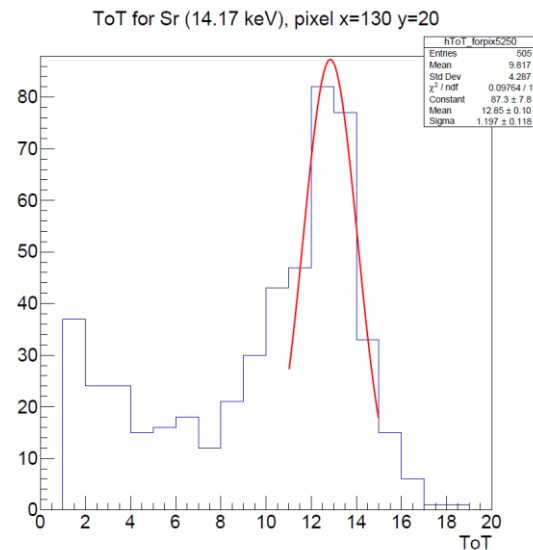


Алгоритм калибровки

Подготовка данных.
Сортировка по времени,
отбор однопиксельных
событий.

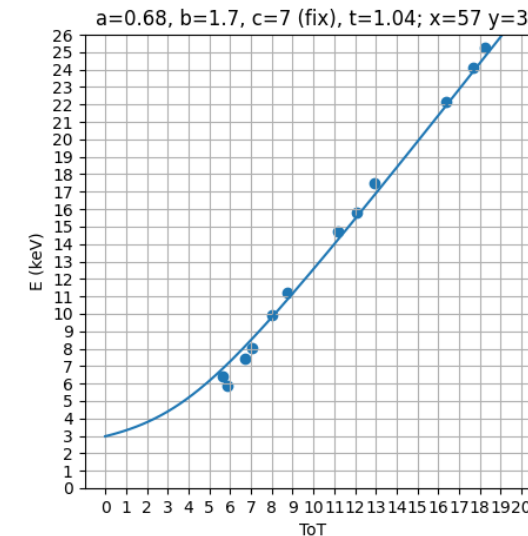
Определение среднего
значения ToT в каждом
пикселе для каждой
точки по энергии

Фитирование
калибровочной
функции в каждом
пикселе с учетом
порогового значения.



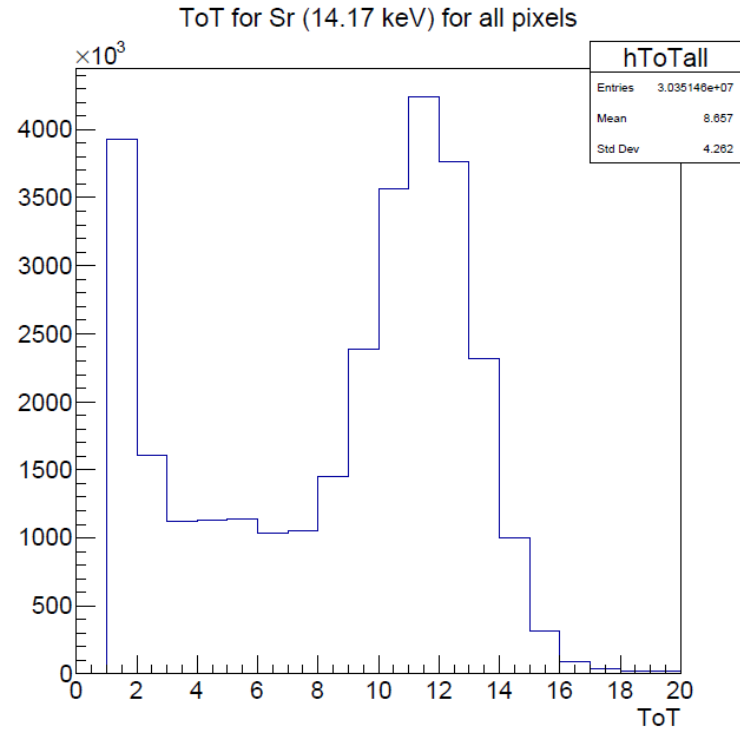
·256 · 256 · 13

$$E = \frac{1}{2a} \left(ToT + a \cdot t - b + \sqrt{(b + a \cdot t - ToT)^2 + 4a \cdot c} \right)$$

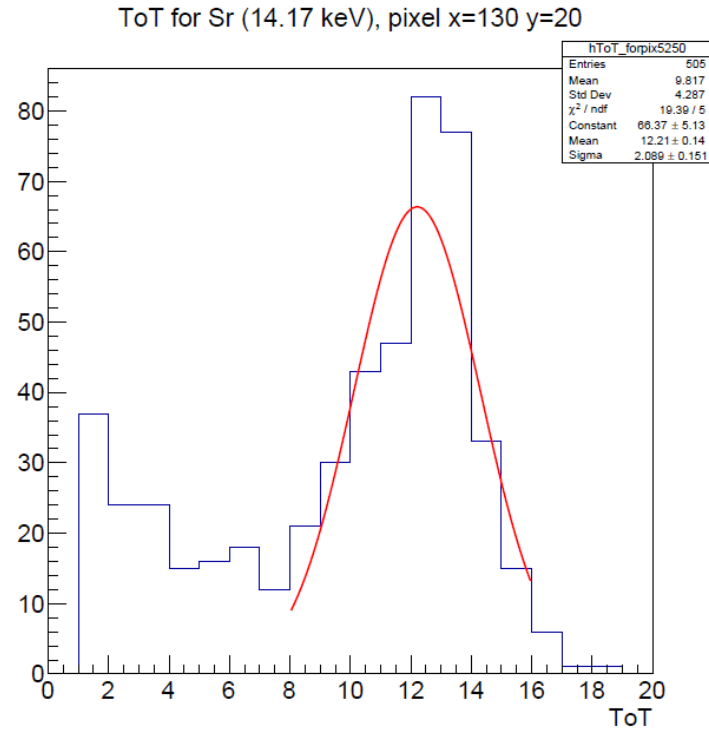


·256 · 256

Проблема с выбором границ фитирования для определения среднего значения ToT

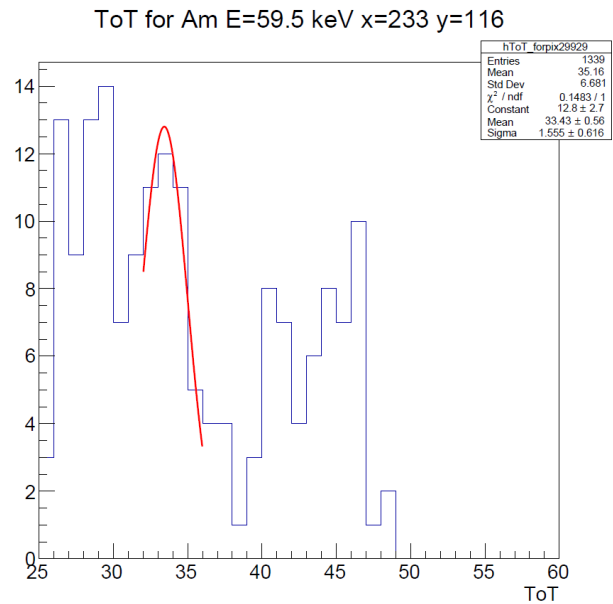
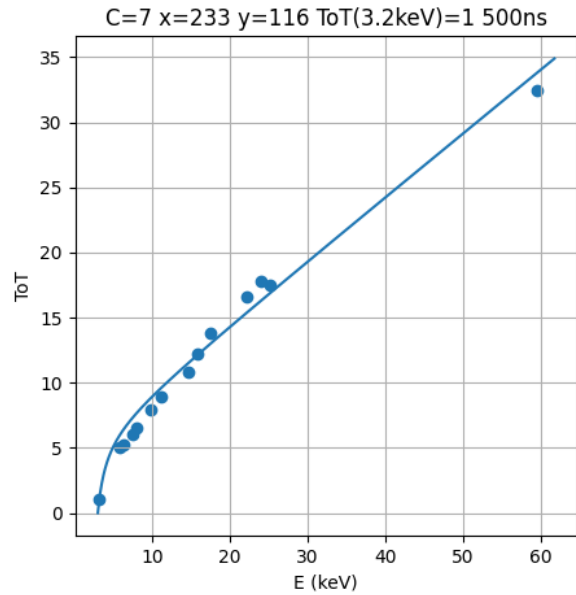


(а) Все пиксели

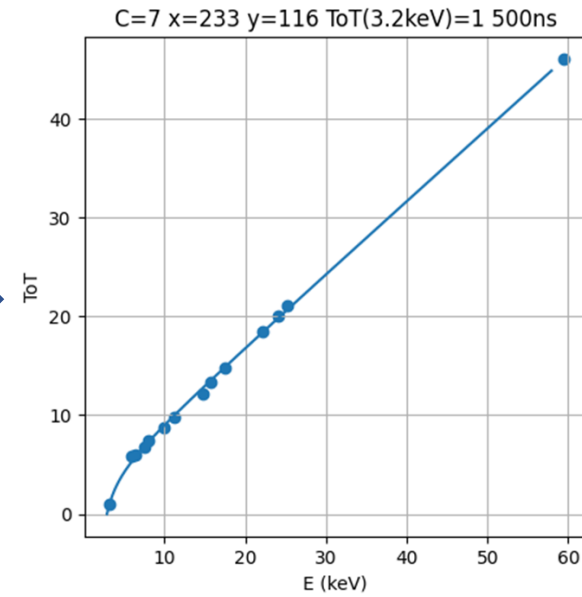


(б) Конкретный пиксель

Проблема с фитированием Am

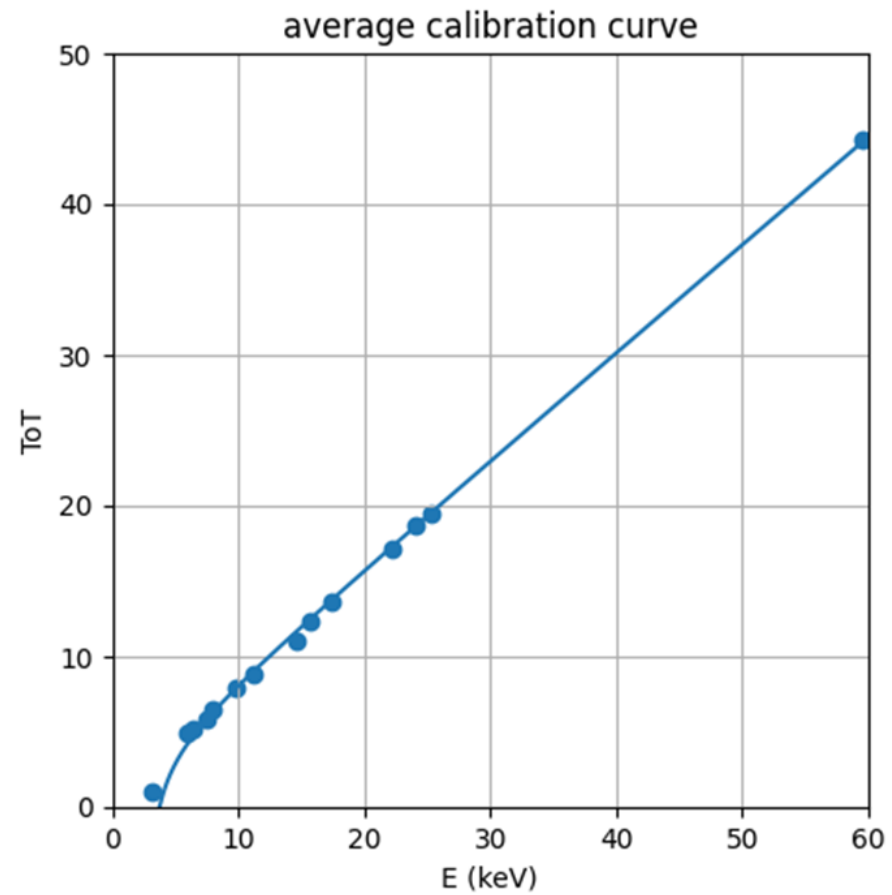
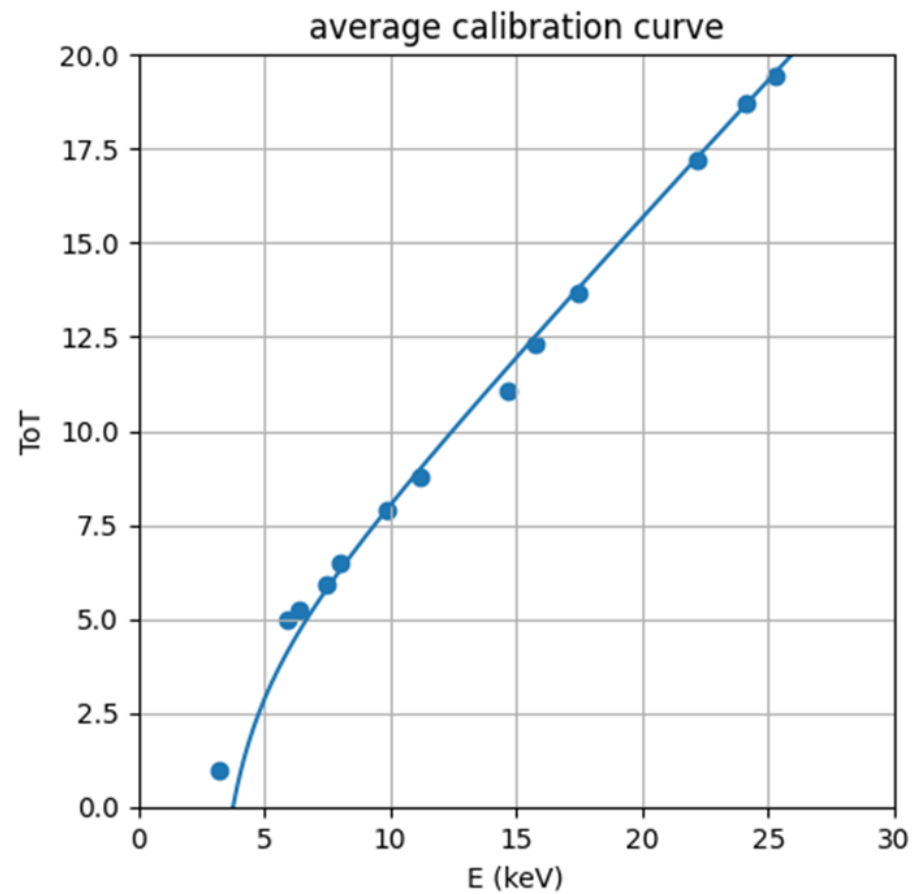


mean_ToT(Am)= среднее по
последним 8 бинам



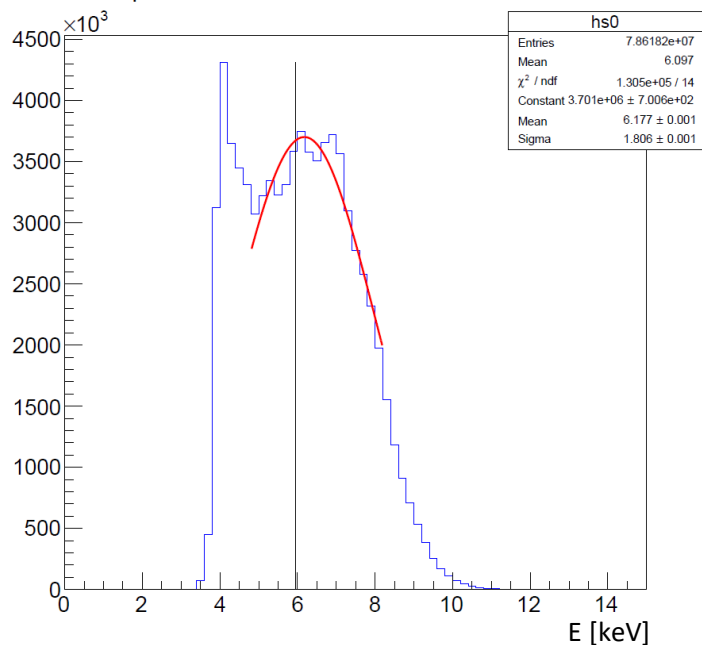
Построение калибровочных кривых

$$ToT = a \cdot E + b - \frac{c}{E-t}$$

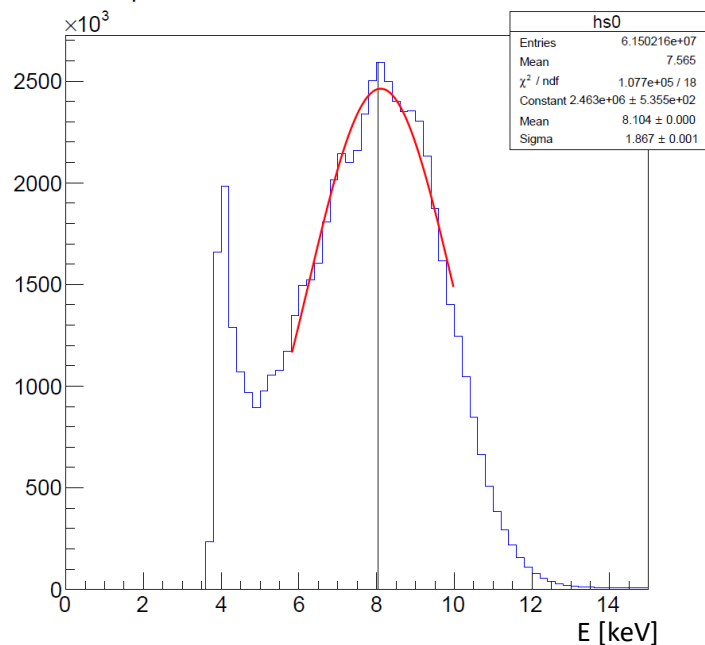


Энергетические спектры однопиксельных событий

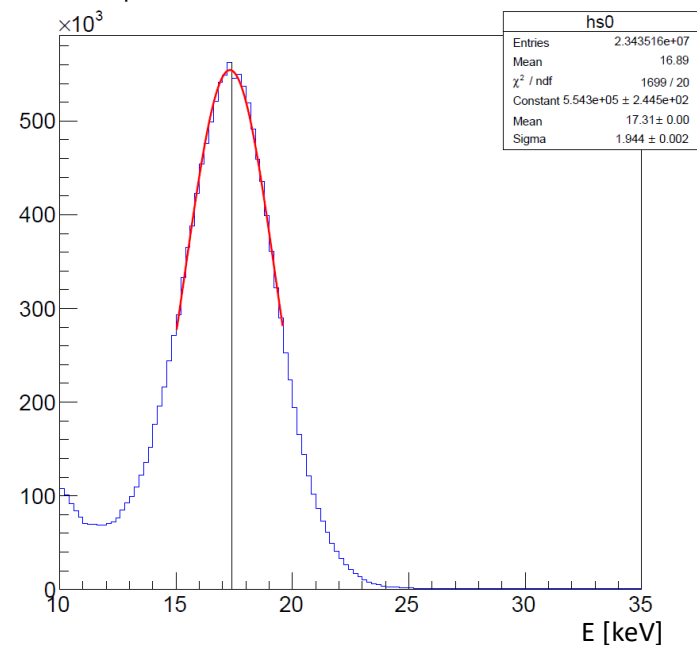
spectrum for Fe55 E=5.95keV cluster size = 1



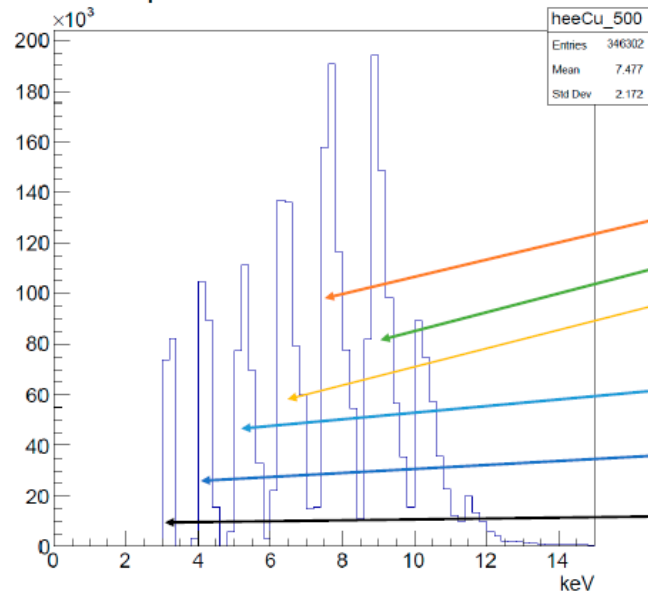
spectrum for Cu E=8.04keV cluster size = 1



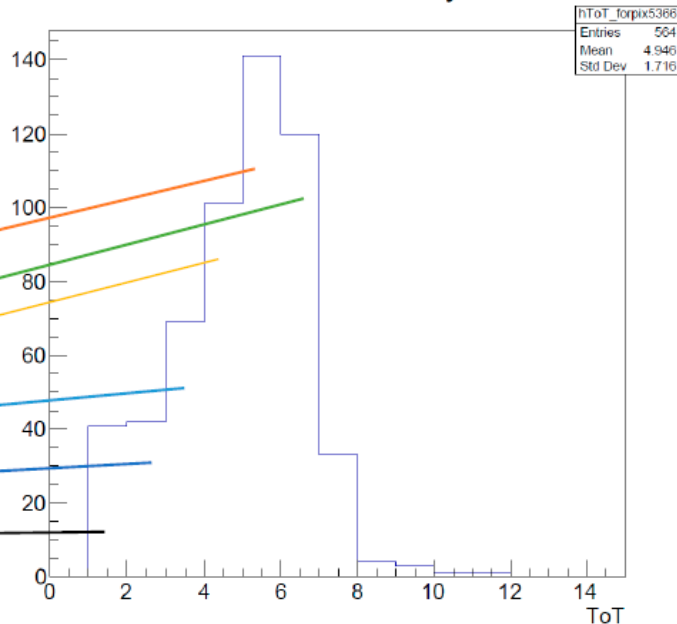
spectrum for Mo E=17.4keV cluster size = 1



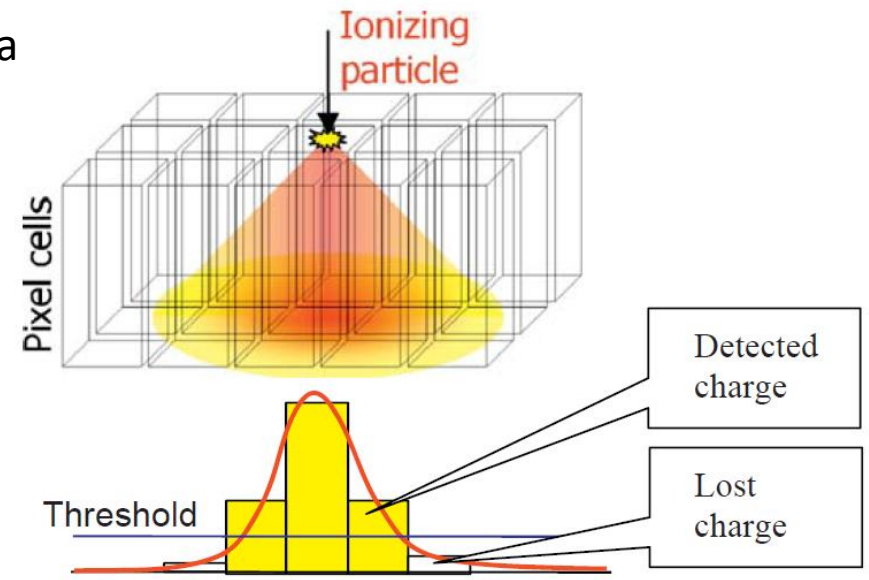
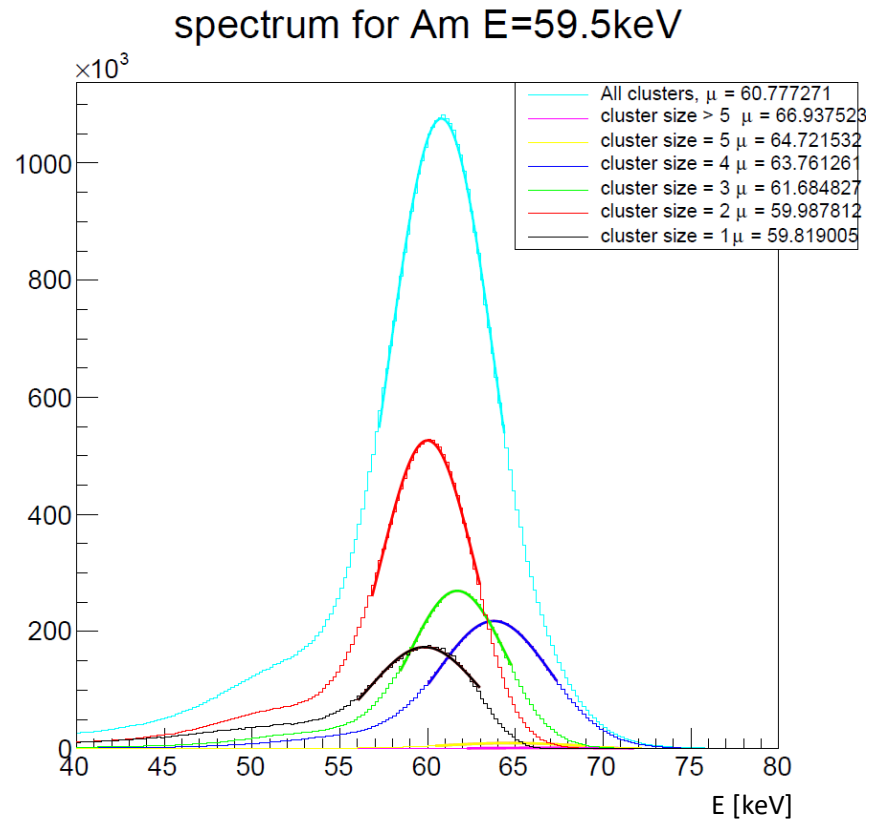
spectrum for Cu E=8.04keV



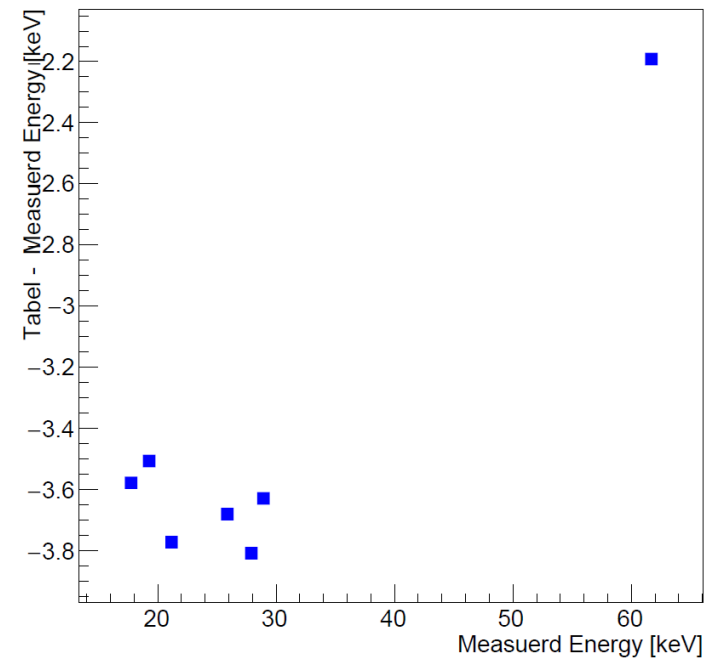
Cu 8.04keV x:246 y:20



Эффект разделения заряда



E shift for Cl size = 3



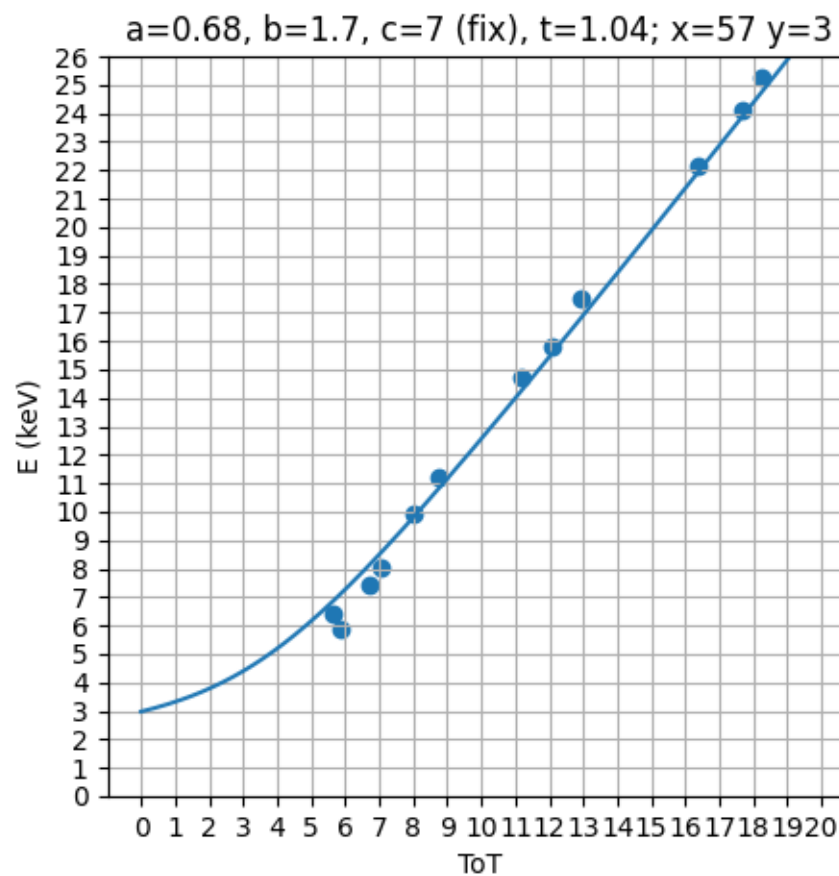
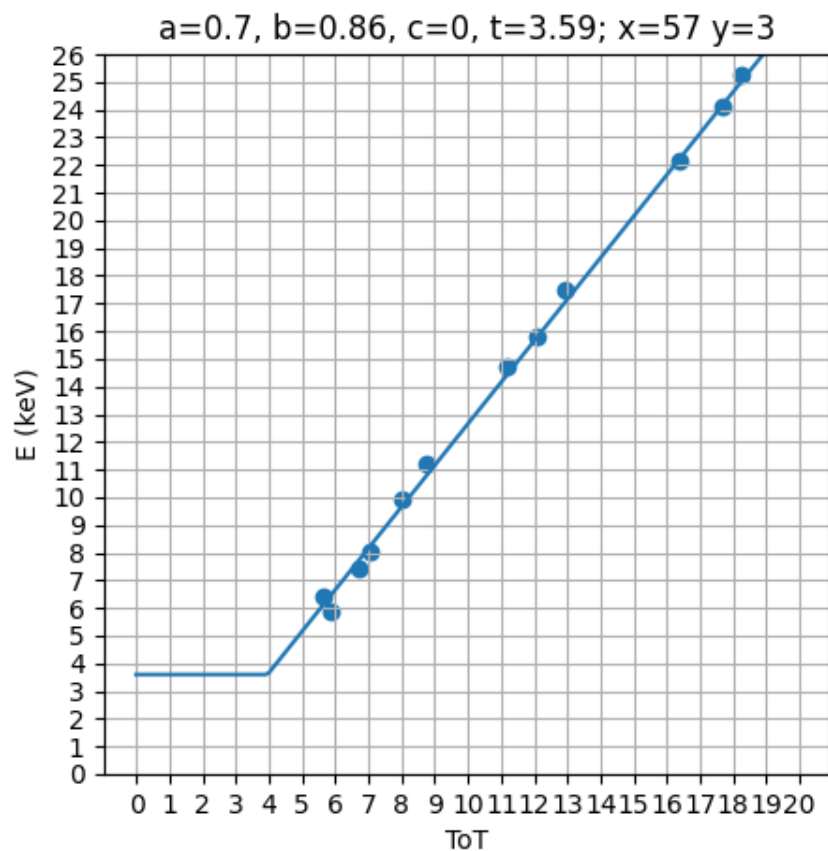
Заключение

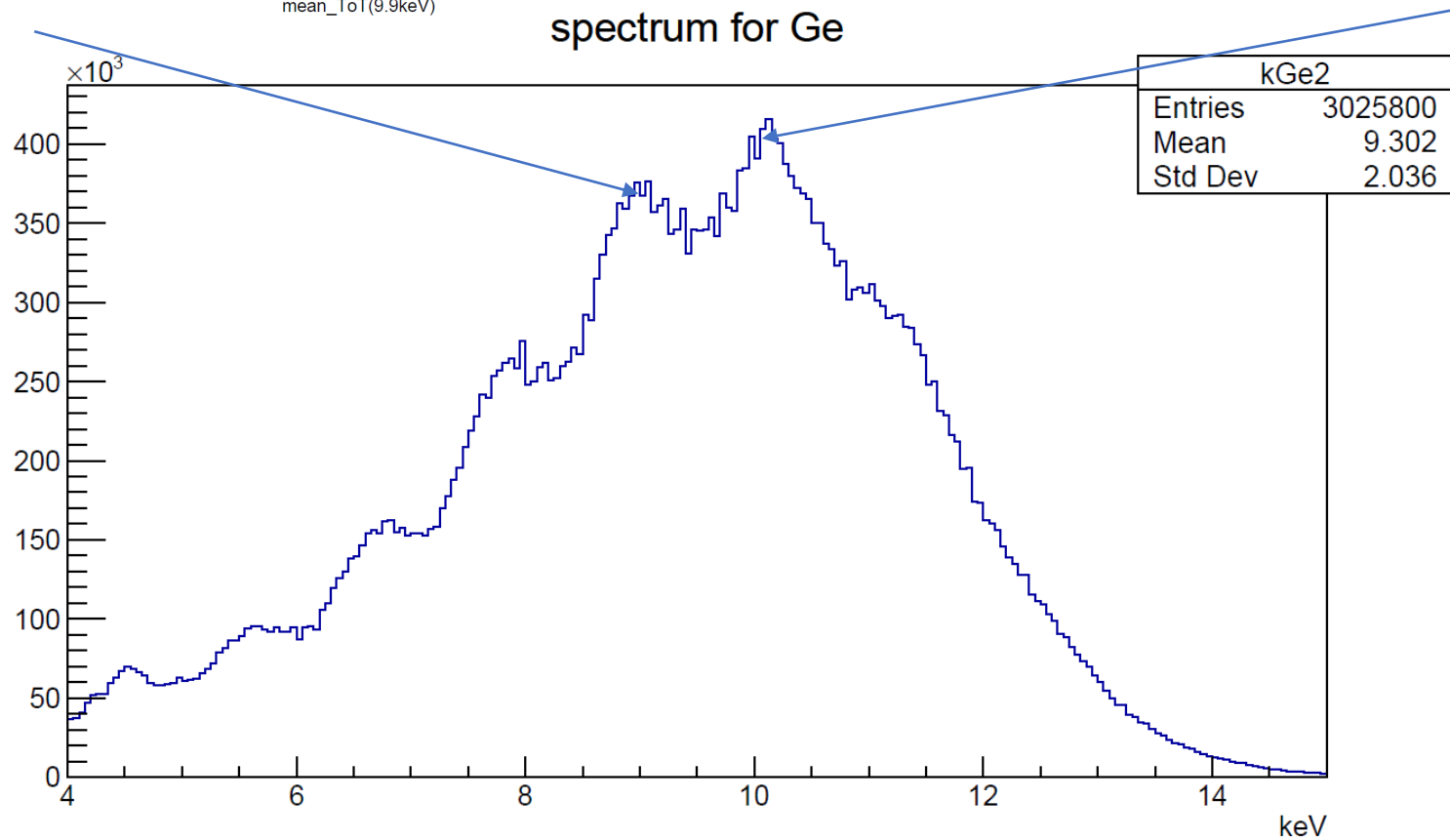
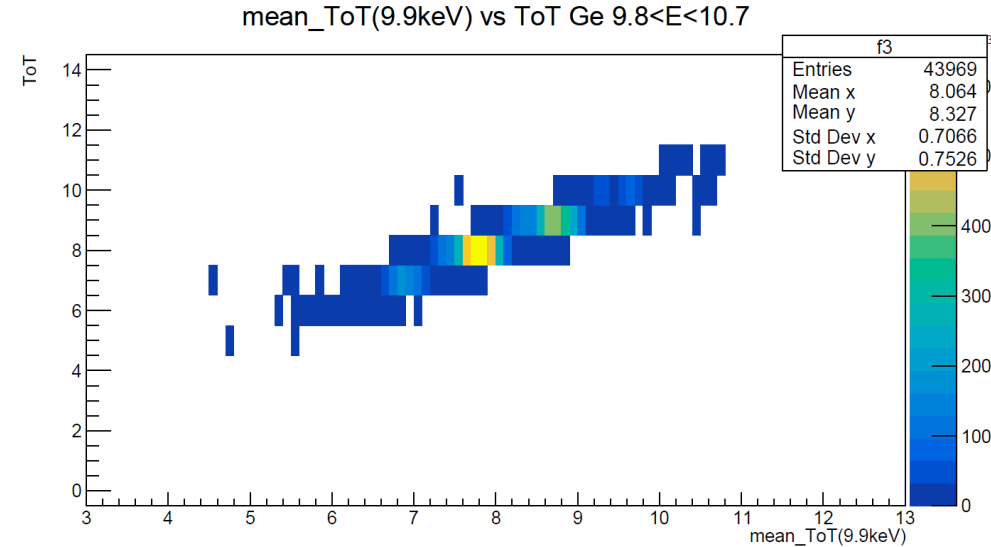
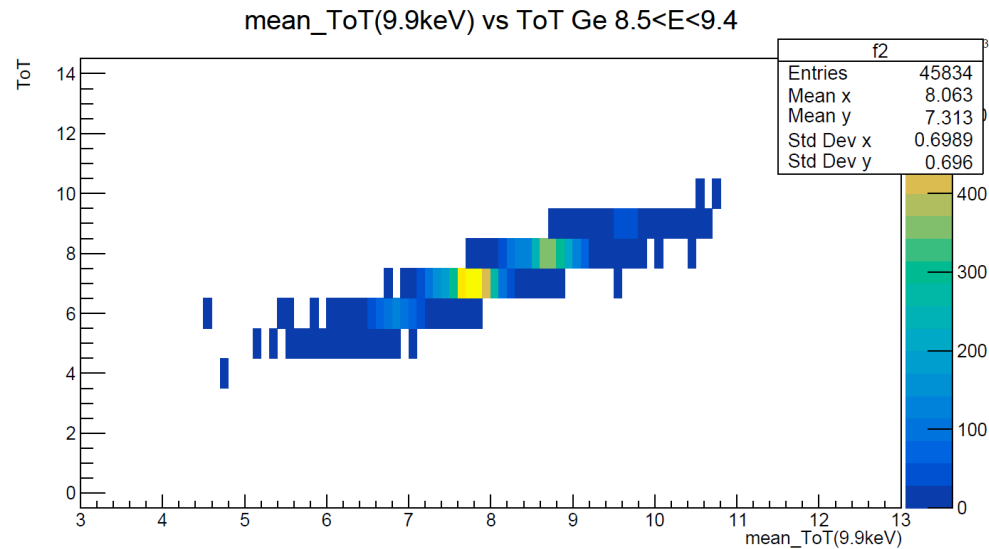
- Был написан отдельный код для подготовки данных и калибровки 65536 пикселей по 13 точкам в диапазоне от 6 до 60 кэВ.
- Динамический выбор пределов фитирования для определения среднего значения ToT позволил сократить количество пикселей, у которых среднее ToT растет не монотонно с энергией, в 2 раза по сравнению с фиксированными границами фитирования.
- Получены калибровочные спектры однопиксельных событий. Проанализирована их форма.
- Построены спектры для кластеров разного размера. На основе спектров получены графики коррекции энергии.
- Полученные результаты уже используются научной группой для последующего анализа данных.

Дополнительные Слайды

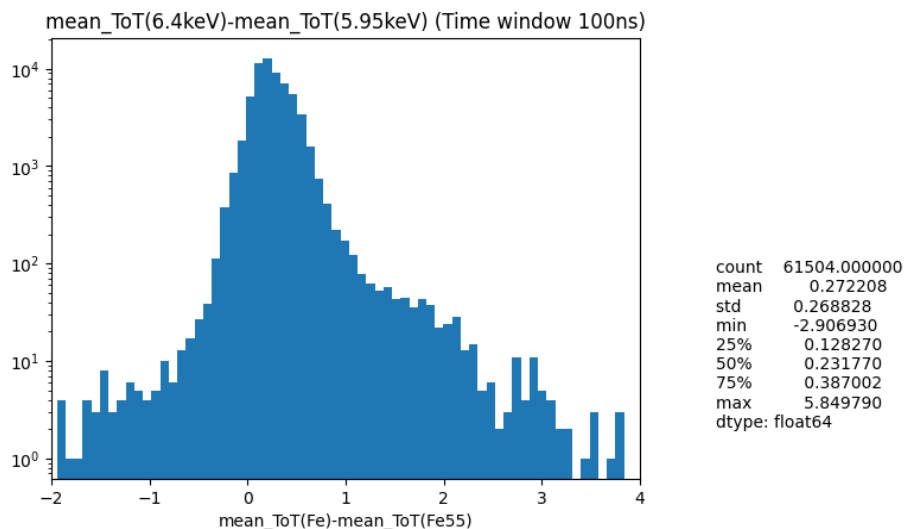
Калибровочные кривые в случае, когда коэффициент $c=0$ и фиксирован $c=7$

$$E = \frac{1}{2a} \left(ToT + a \cdot t - b + \sqrt{(b + a \cdot t - ToT)^2 + 4a \cdot c} \right)$$





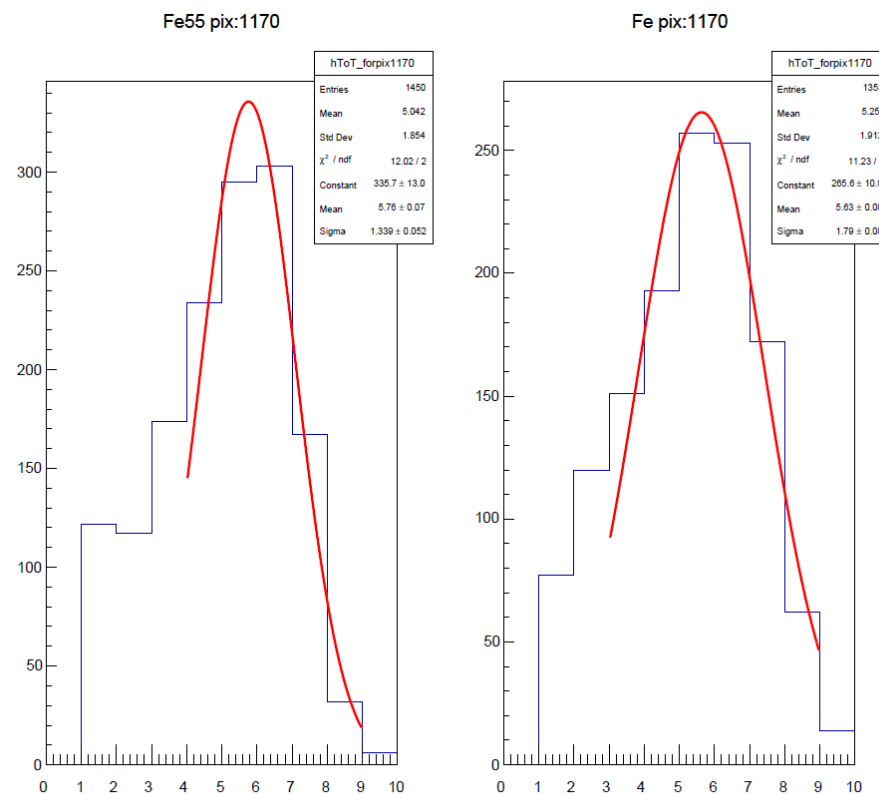
Проблема с выбором границ фитирования для определения среднего значения ToT



Гистограмма разницы средних ToT для 6.4 и 5.95 кэВ

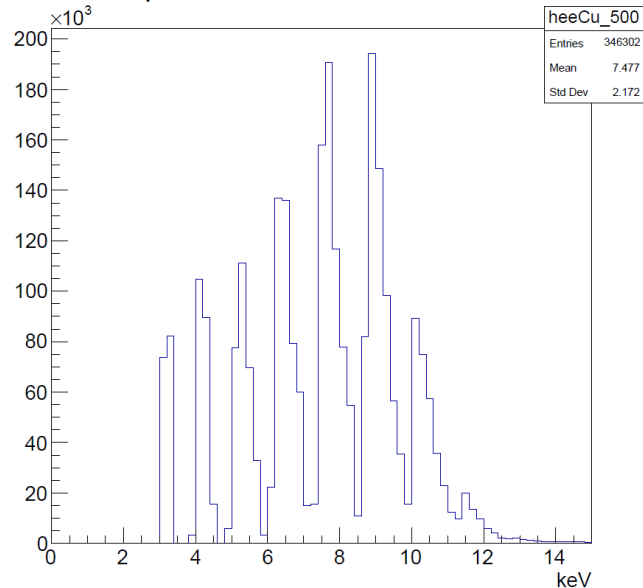
В идеальном случае вхождений в данную гистограмму отрицательных значений не должно быть.

Необходимо при помощи выбора пределов фитирования минимизировать количество пикселей с перепутанным порядком ToT

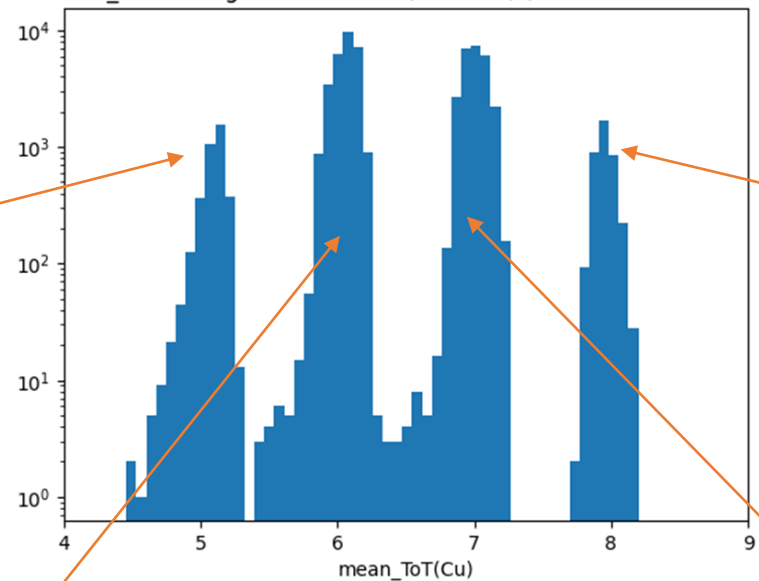


Пример пикселя для которого среднее значение ToT для большей энергии меньше чем среднее значение ToT для меньшей энергии.

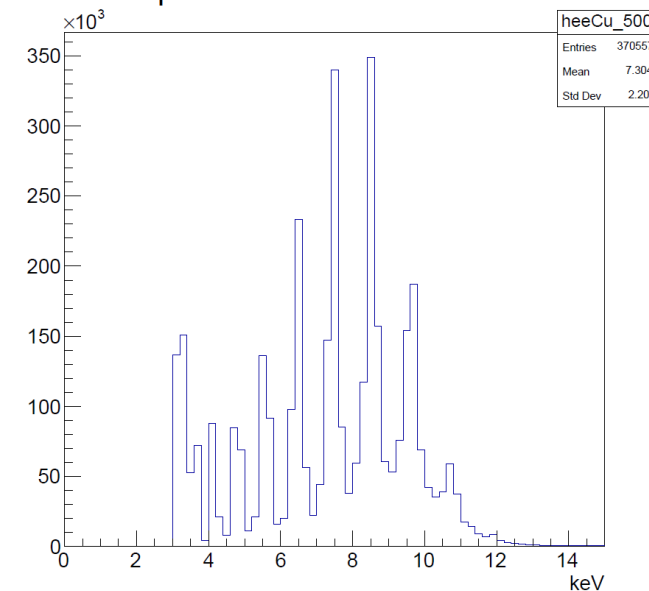
spectrum for Cu E=8.04keV



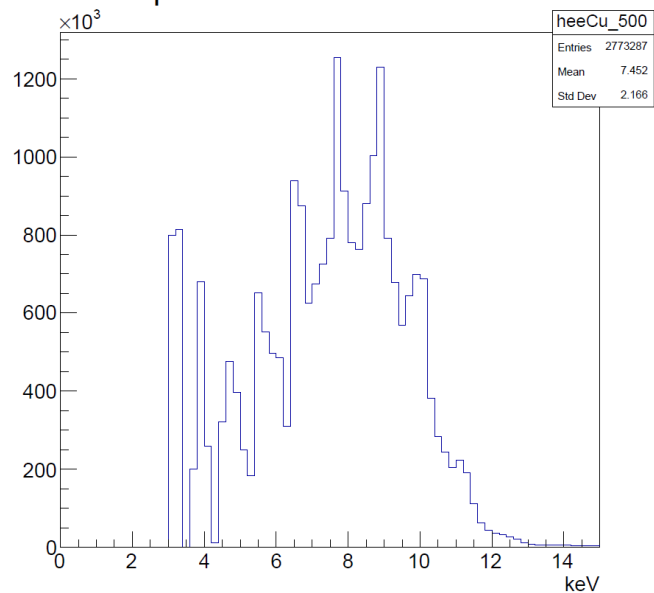
mean_ToT from gauss fit for Cu (8.04keV) (Time window 500ns)



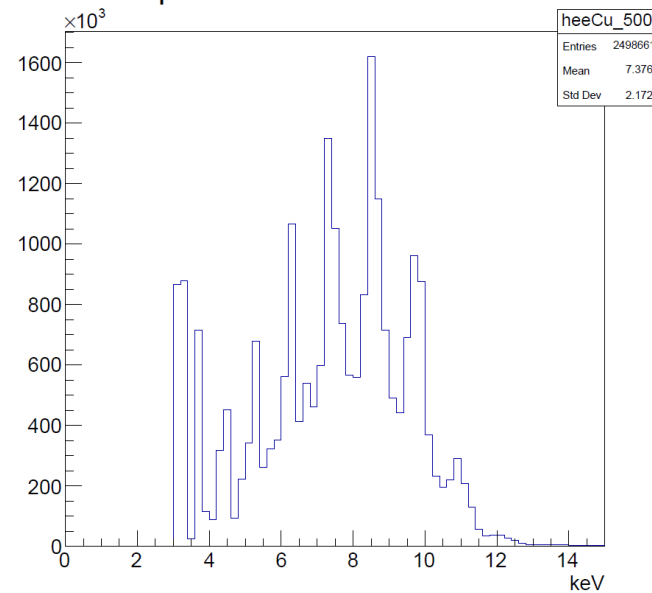
spectrum for Cu E=8.04keV



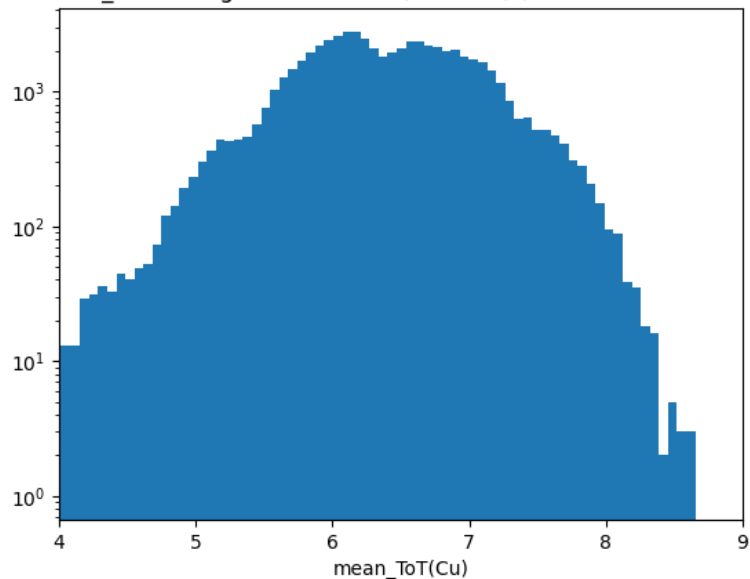
spectrum for Cu E=8.04keV



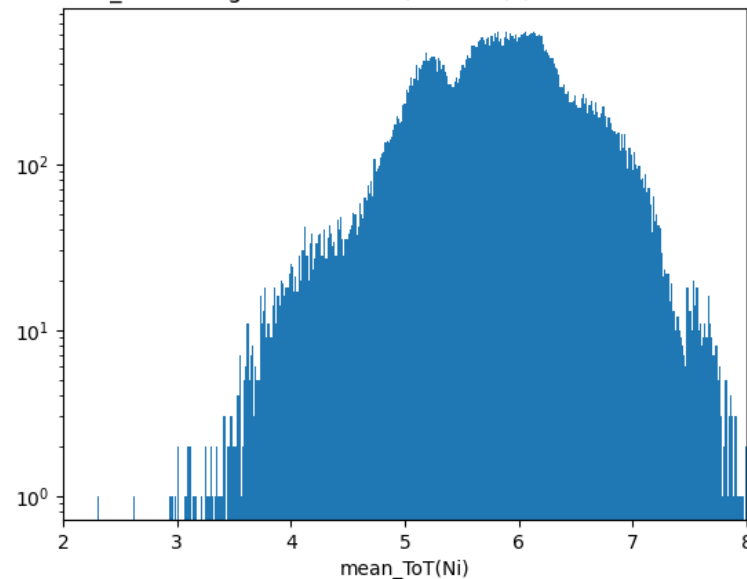
spectrum for Cu E=8.04keV



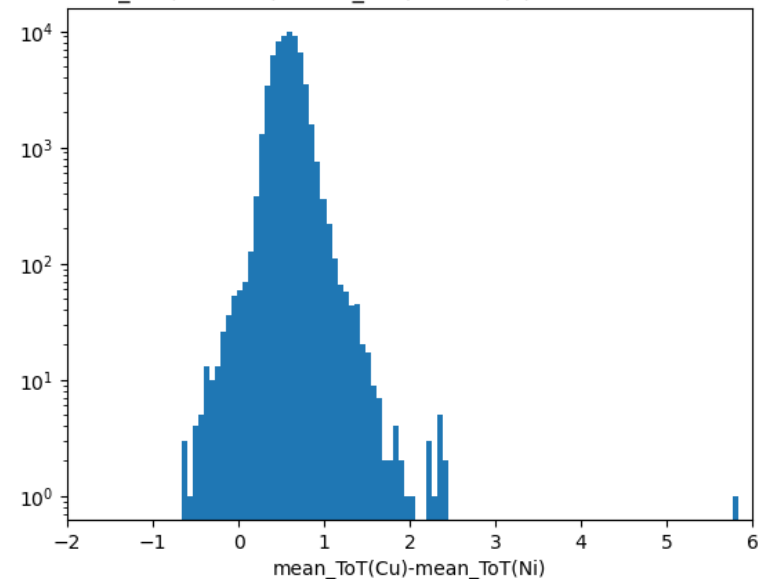
mean_ToT from gauss fit for Cu (8.04keV) (Time window 500ns)



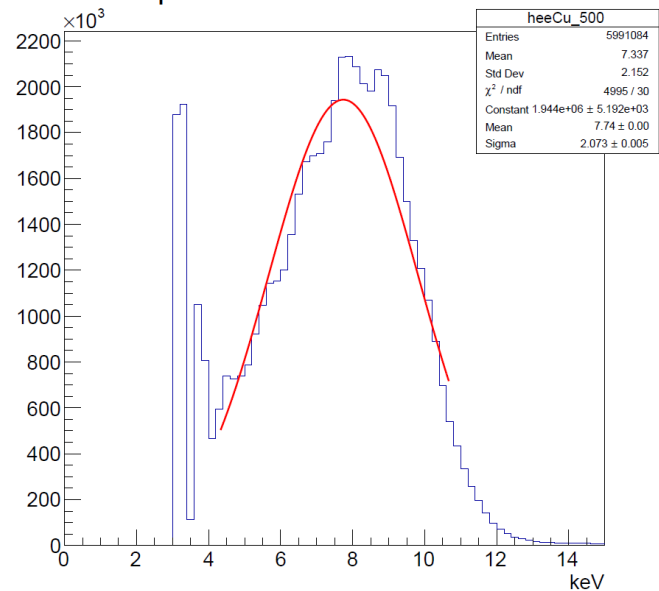
mean_ToT from gauss fit for Ni (7.46keV) (Time window 500ns)



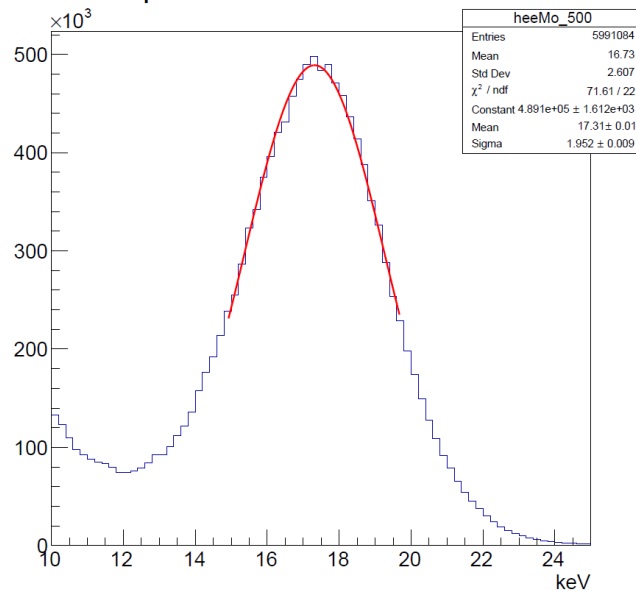
mean_ToT(8.04keV)-mean_ToT(7.46keV) (Time window 500ns)



spectrum for Cu E=8.04keV



spectrum for Mo E=17.4keV



mean_ToT from gauss fit for Mo (17.4keV) (Time window 500ns)

