

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
<<Национальный исследовательский ядерный университет <<МИФИ>>

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА НА ТЕМУ:

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЗИТРОННОГО ТОМОГРАФА НА ОСНОВЕ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ GAGG(Ce)

Научный руководитель
к. ф.-м. н.
Гробов А.В.

Выполнил
студент группы М19-115
Левашко Н.М.



Москва 2021

Содержание

- Позитронно-эмиссионная томография
- Геометрия установки
- Кристалл GAGG(Ce)
- Процесс моделирования
- Алгоритмы отбора и восстановления позиции
- Полученные результаты

Позитронно-эмиссионная томография

Позитронно-эмиссионная томография - это метод медицинской визуализации, используемый для получения трехмерных изображений внутренних органов и частей тела испытуемых. Он основан на детектировании двух гамма-квантов с энергией 511 кэВ, испускаемых вследствие аннигиляции электрона с позитроном.

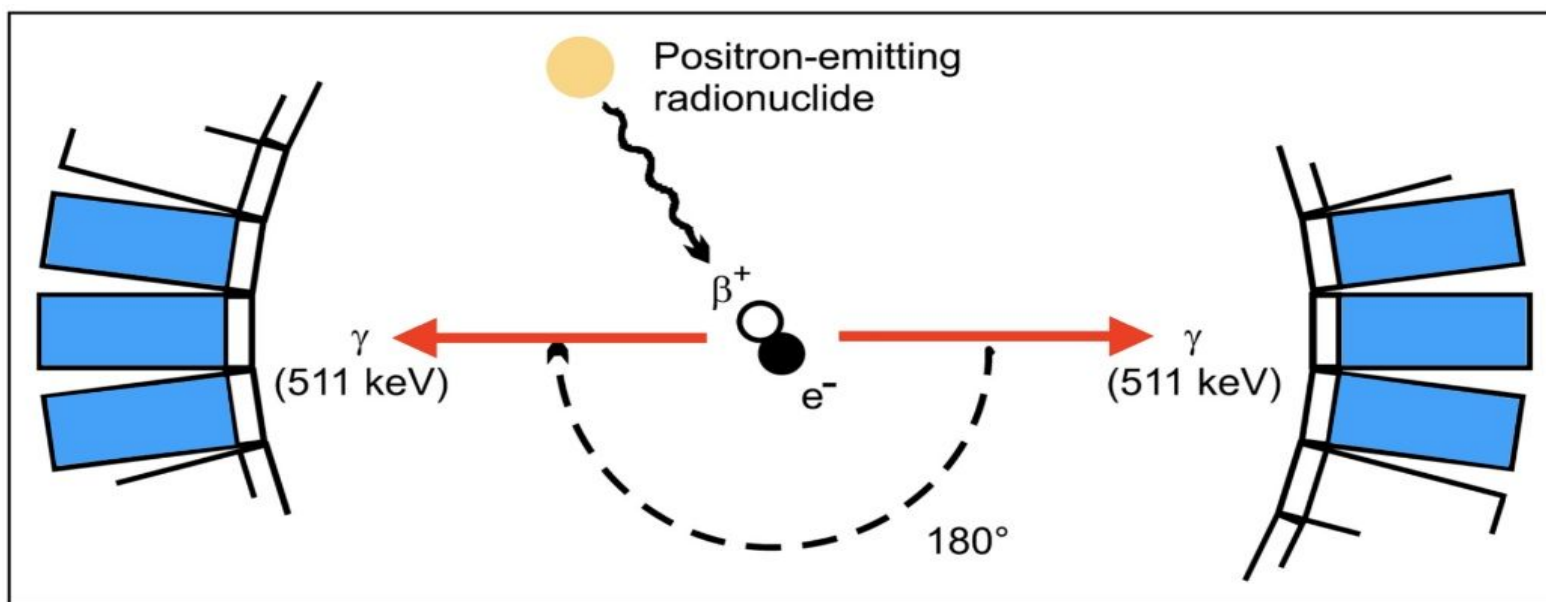
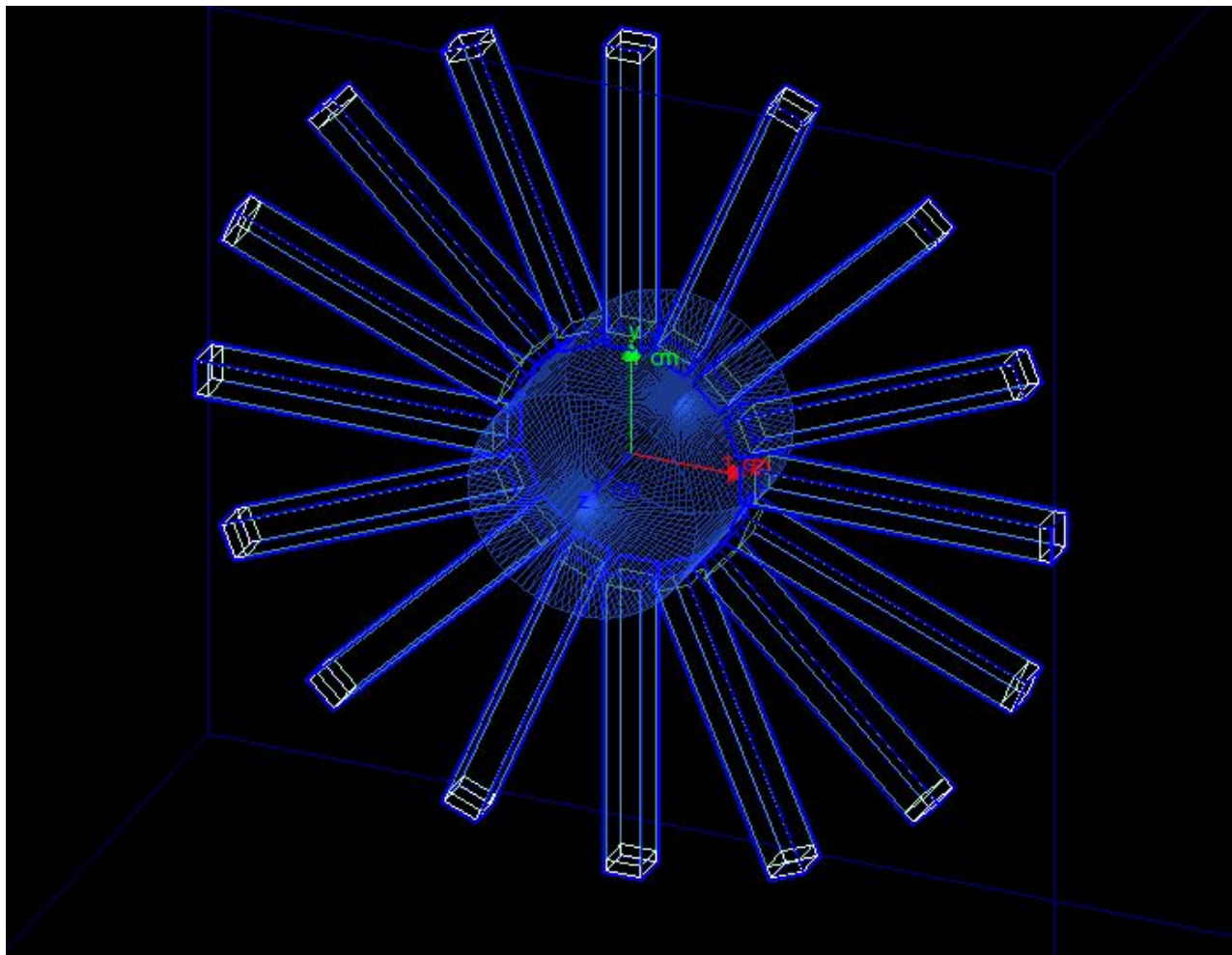


Рис.1 Процесс аннигиляции электрона и позитрона

Геометрия установки



- кристалл GAGG(Ce)- 3x3x25 мм
- SiPM - 3x3x1 мм
- водный цилиндр - $r= 10\text{мм}$, $h= 20\text{мм}$

Рис.2 Модель кольца детектора

Кристалл GAGG(Ce)

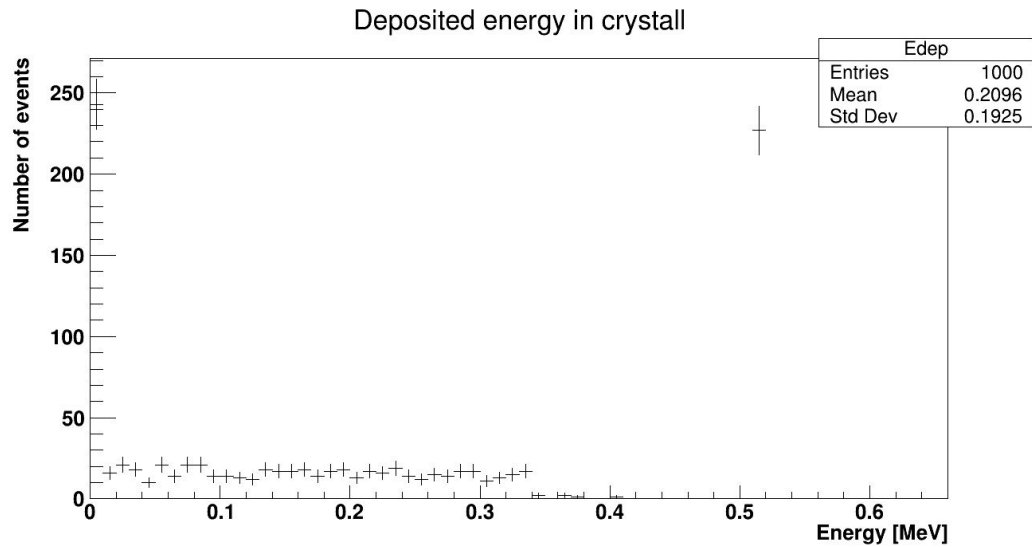


Рис.3 Поглощенная энергия в кристалле

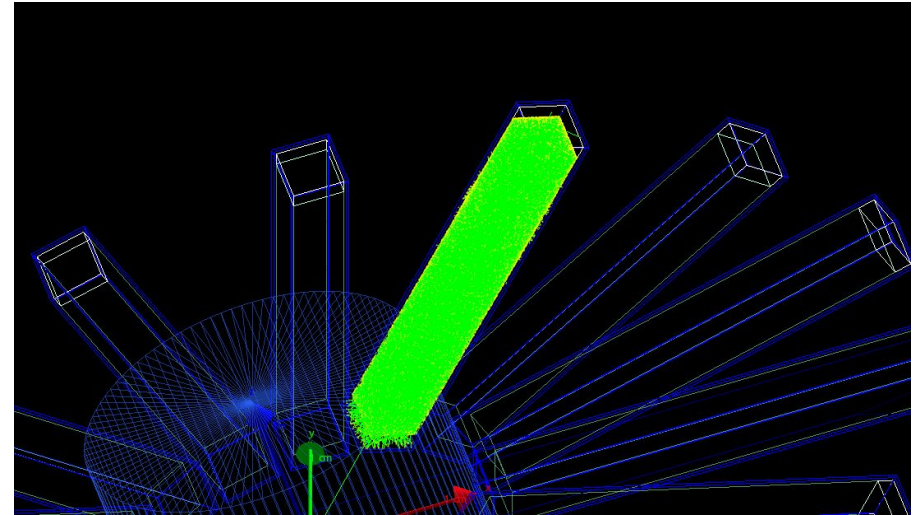


Рис.4 Сцинтилляция гамма-кванта в кристалле

Отдельно исследовались свойства данного кристалла. В частности эффективность регистрации в фотопике. Она составила $22.5 \pm 1.5 \%$

Процесс моделирования

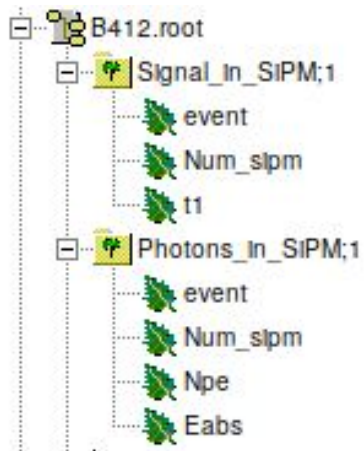


Рис. 5 Структура ROOT файла и записываемой в него информации

Было смоделировано 4 набора данных:

- 5 миллионов событий с водным цилиндром, позиция источника - в центре установки
- 5 миллионов событий с водным цилиндром, позиция источника - 5. 5. 0. мм
- 1 миллион событий без водного цилиндра, позиция источника - в центре установки
- 1 миллион событий без водного цилиндра, позиция источника - 5. 5. 0. мм

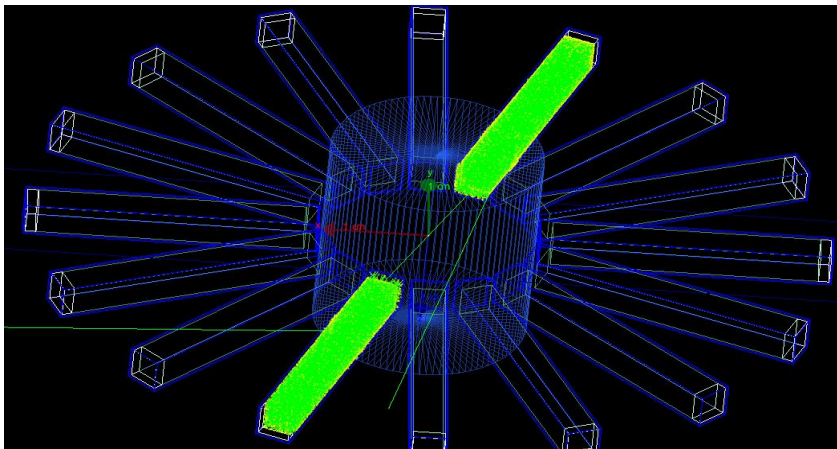
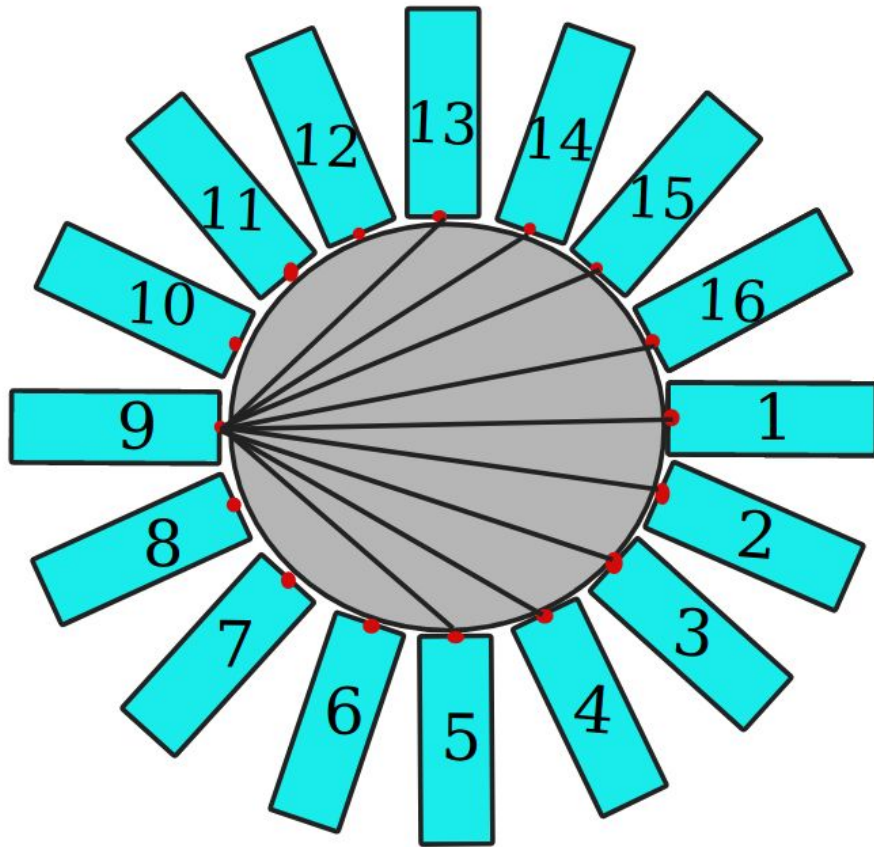


Рис.6 Смоделированное событие

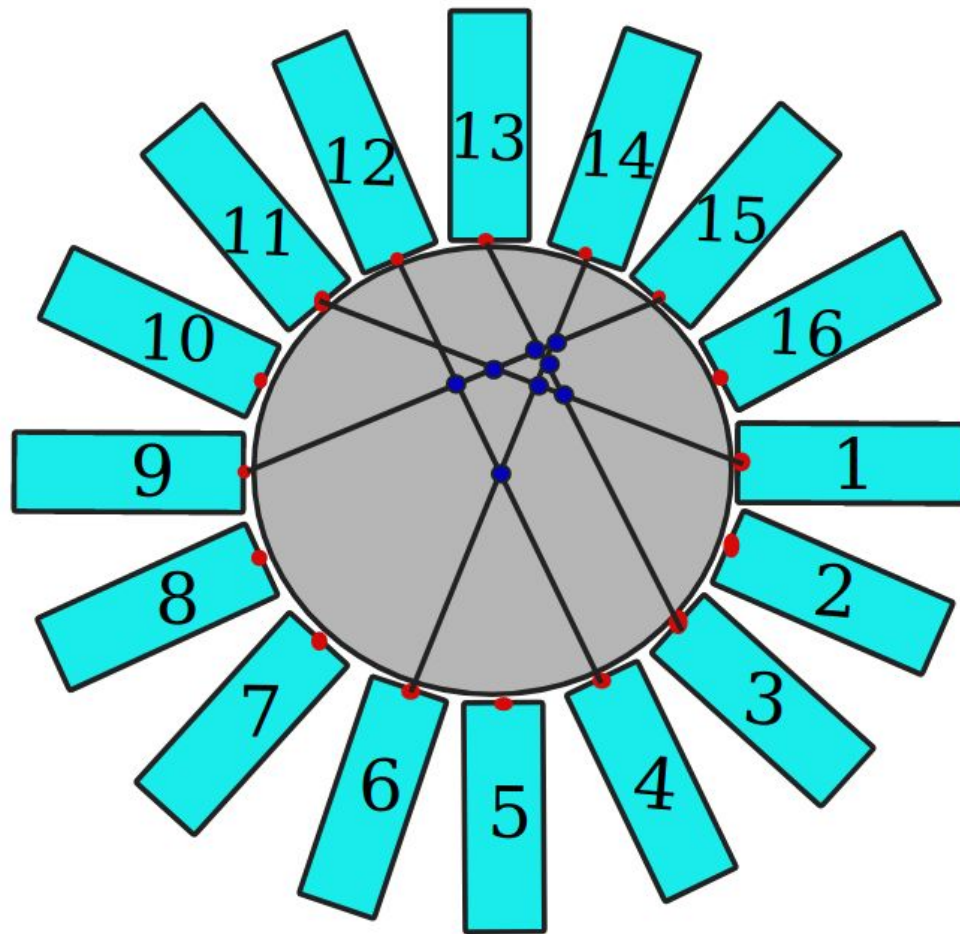
Алгоритм отбора



- В процессе анализа рассматривались следующие ограничения на отбор событий:
- число сработавших SiPM - 2
 - сработавшие кристаллы отстоят друг от друга, как минимум на 90 градусов
 - временное окно регистрации - 3 нс
 - выделившаяся энергия в кристалле соответствует фотопику

Рис.7 Ограничения на взаимное расположение сработавших SiPM

Алгоритмы реконструкции



Преимущества:

- прост в реализации
- для работы достаточно знания номеров сработавших кристаллов

Недостатки:

- малое число кристаллов и их ненулевой размер ограничивают покрытие исследуемой области, что сильно влияет на точность определения координаты источника
- время работы алгоритма

Рис.8 Визуализация работы первого алгоритма, использующего только расположение сработавших кристаллов и факт совпадения

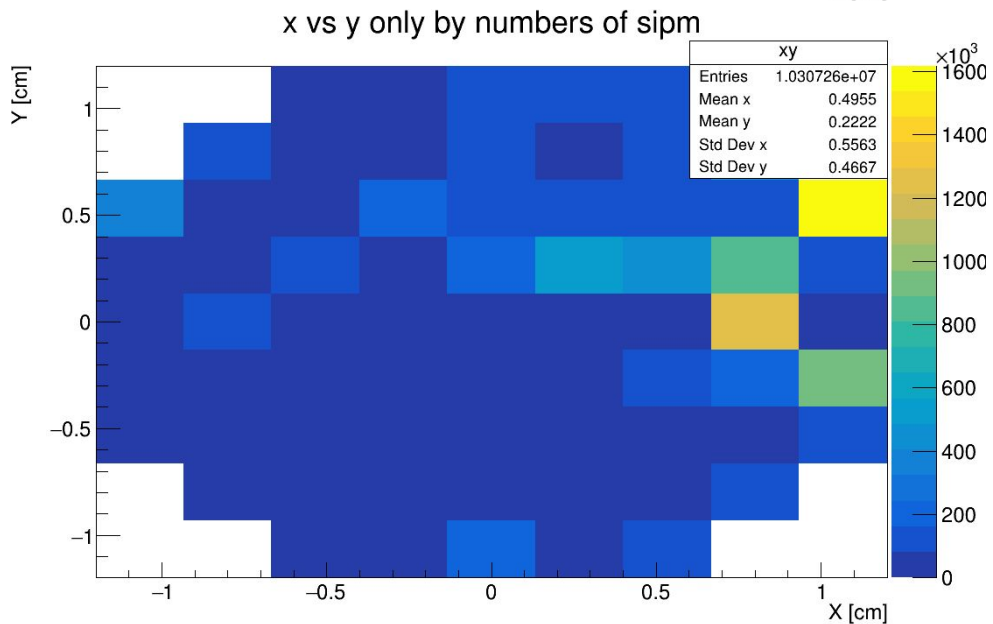
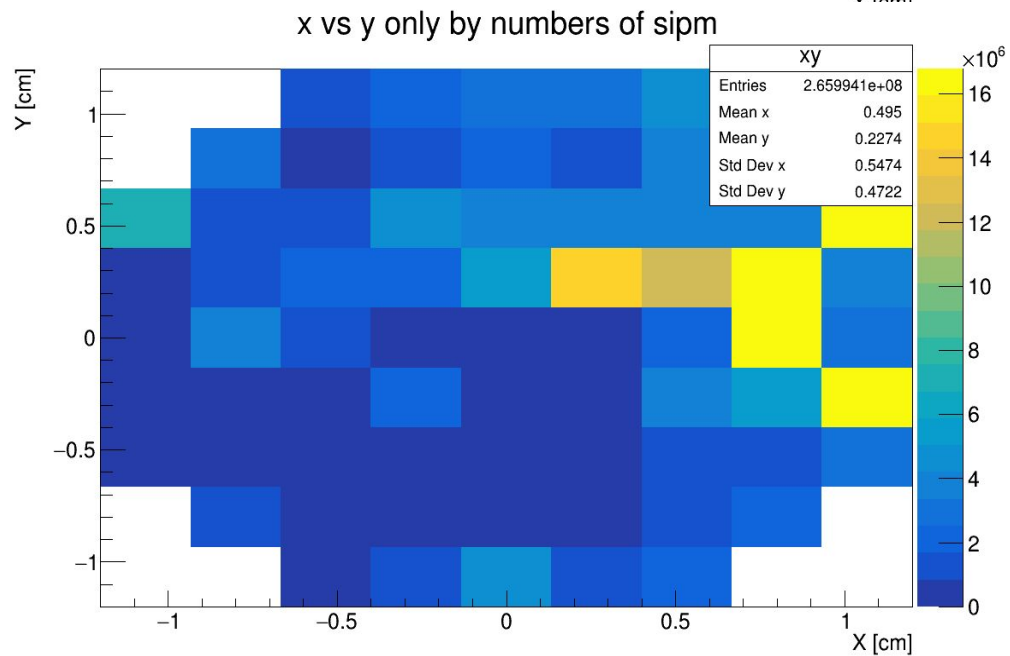
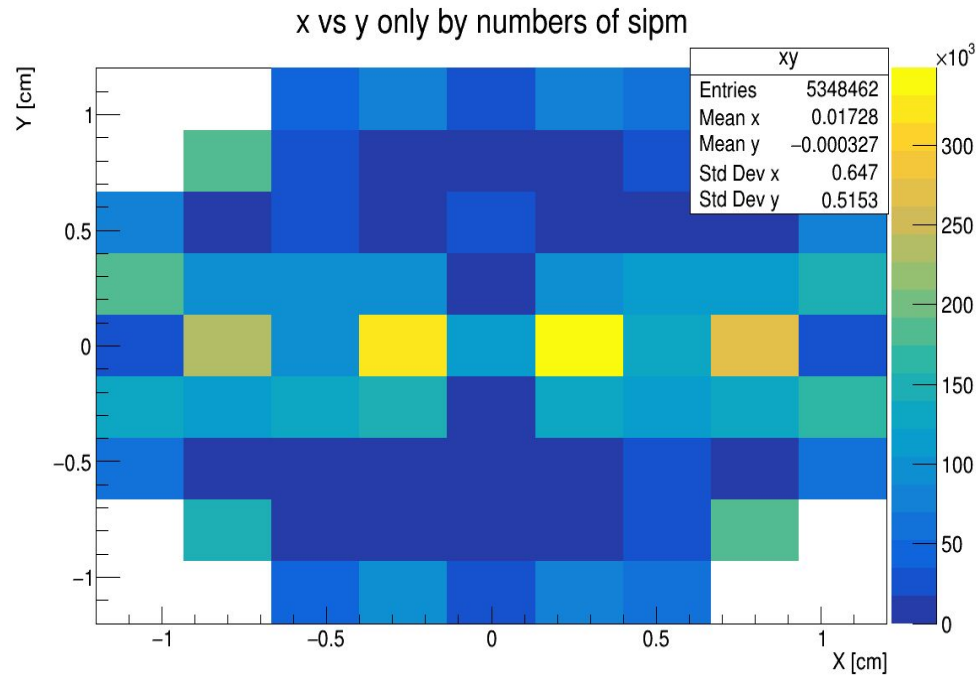
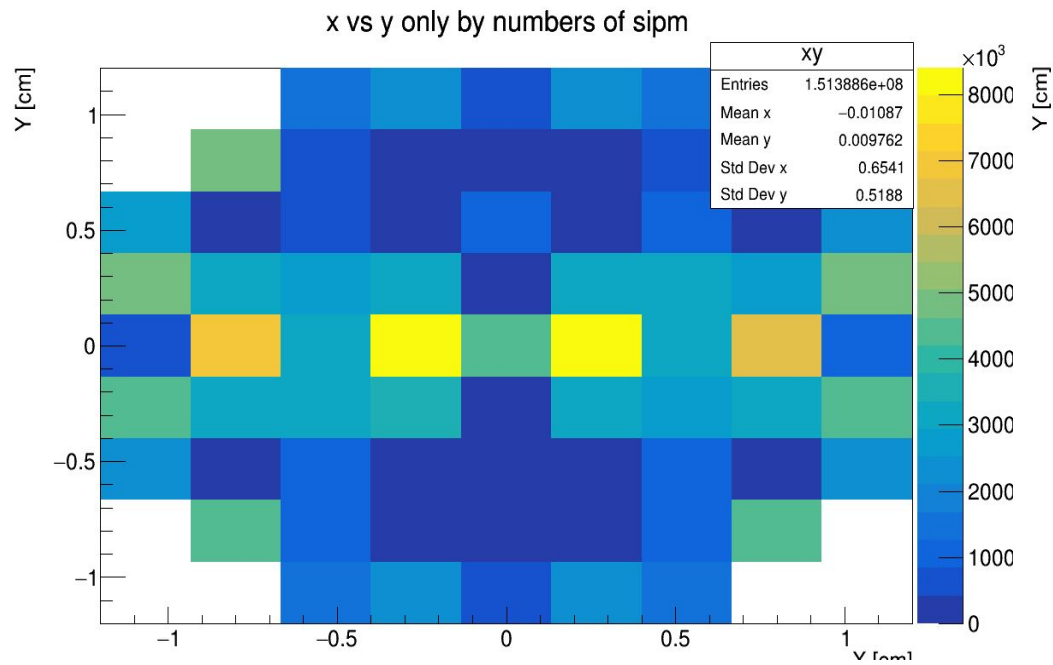


Рис.9 Результат работы первого алгоритма на 4 наборах данных. 1 ряд - источник расположен в центре установки, 2 ряд - позиция источника - $x = 5$ мм, $y = 5$ мм

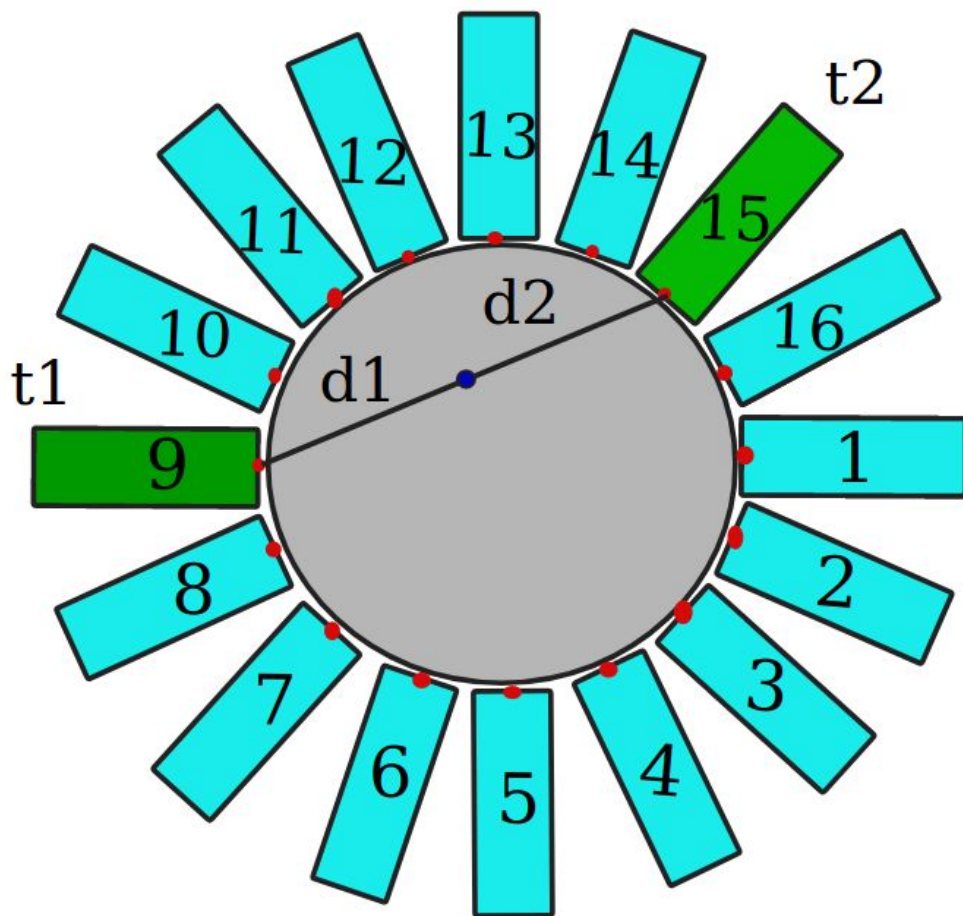


Рис.10 Визуализация работы второго алгоритма, использующего геометрию установки и время регистрации сигнала

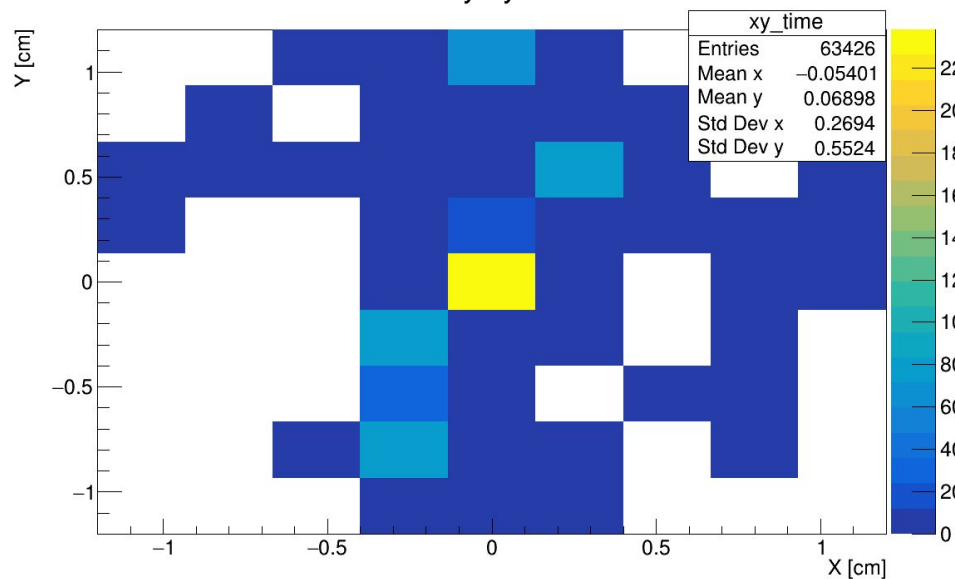
Преимущества:

- повышенная точность по сравнению с предыдущим алгоритмом благодаря учету времени регистрации сигнала
- время работы алгоритма

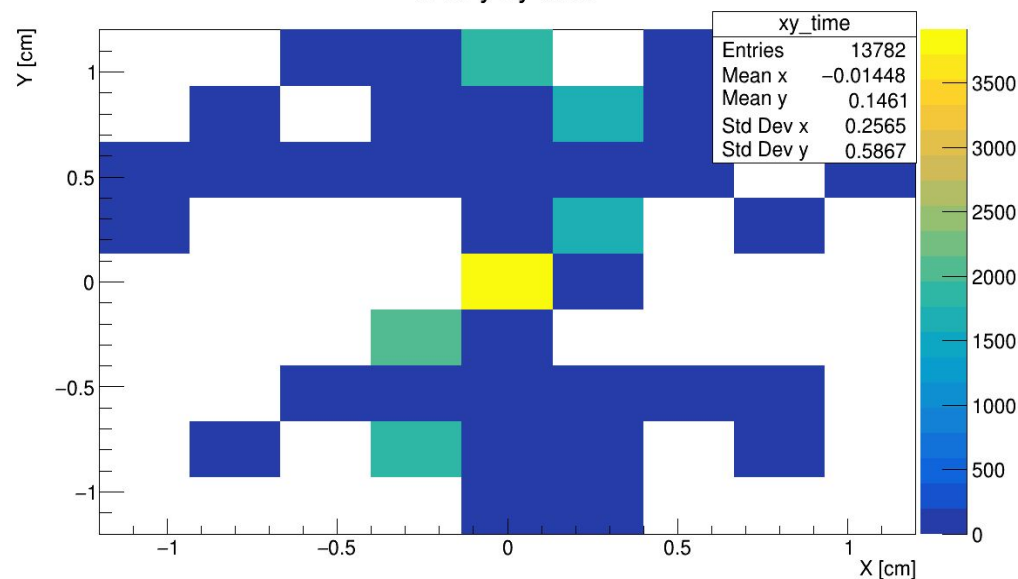
Недостатки:

- отбрасывание событий из-за возможности гамма-кванта просцинтиллировать в разных частях кристалла, благодаря чему изменяется время регистрации сигнала
- не учитываются ненулевые размеры кристалла (позиция определяется вдоль полосы, соединяющей кристаллы)

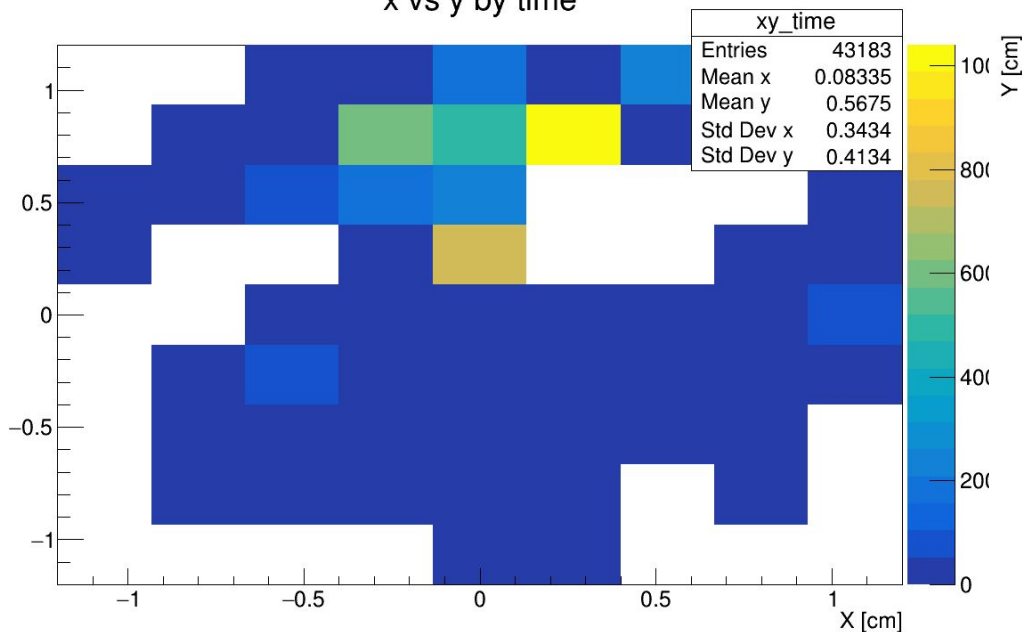
x vs y by time



x vs y by time



x vs y by time



x vs y by time

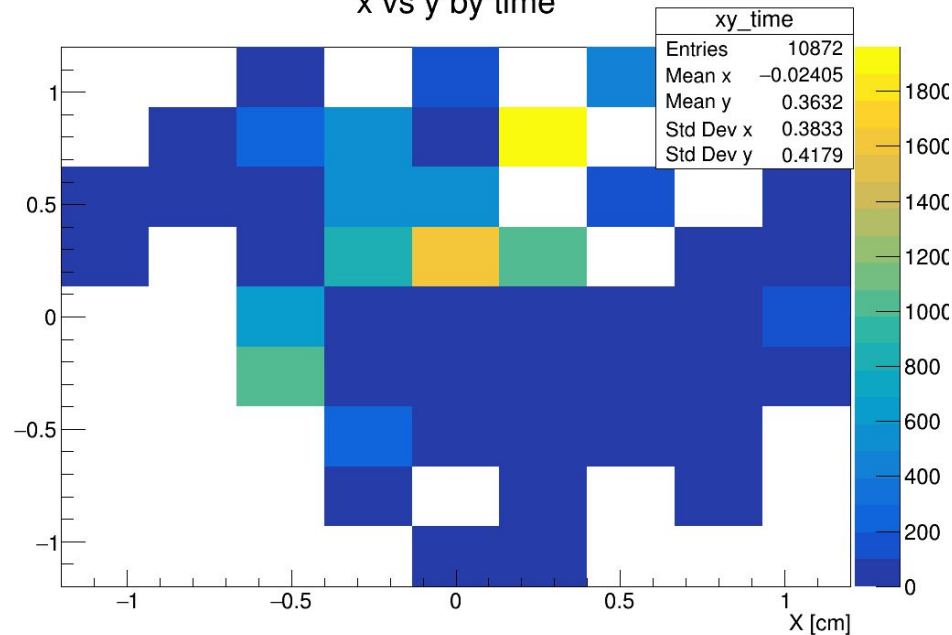


Рис.11 Результат работы второго алгоритма на 4 наборах данных. 1 ряд - источник расположен в центре установки, 2 ряд - позиция источника - $x = 5$ мм, $y = 5$ мм

Полученные результаты

Координата	Позиция источника, см	Среднее значение, см	Стандартное отклонение, см
x	0	0.0	0.7
y	0	0.0	0.45
x	0.5	0.6	0.6
y	0.5	0.2	0.3

Таблица 1 — Результаты обработки данных, полученных в результате работы первого алгоритма

Координата	Позиция источника, см	Среднее значение, см	Стандартное отклонение, см
x	0	-0.08	0.14
y	0	0.0	0.6
x	0.5	0.10	0.2
y	0.5	0.7	0.3

Таблица 2 — Результаты обработки данных, полученных в результате работы второго алгоритма

Заключение

В данной работе рассматривался один из модулей установки ПЭТ. Были представлены сведения о принципах работы данного устройства, результаты по моделированию работы, а также имеющиеся на данный момент алгоритмы по восстановлению позиции источника.

Была создана модель кольца детектора в среде компьютерного моделирования GEANT4 с целью отработки необходимых методов анализа и считывания данных с будущего элемента детектора, был написан алгоритм отбора событий по совпадениям и два алгоритма определения координаты. Представлены результаты работы данных алгоритмов на 4 наборах данных. Указаны недочеты данных алгоритмов и методы их устранения, а именно - подбор такого временного окна регистрации событий, при котором влияние эффекта рассеяния гамма-кванта и сцинтилляции в разных частях кристалла будет сведено к минимуму, добавление в алгоритмы вероятностного распределения вдоль прямой отклика и учет неточечных размеров кристаллов.

В будущем планируется модификация данных алгоритмов определения координаты источника и, кроме того, получение изображения исследуемого тела.

Дополнительные слайды

Таблица 2.1: Некоторые сцинтилляционные кристаллы и их свойства

Кристалл	Время высве- чивания, нс	Длина вол- ны света, нм	Световыход фото- нов/кэВ	Плотность, г/см ³	Гигроскопичность
LYSO	40	410	25	7.15	Нет
LuAP(Ce)	18	365	10	8.34	Нет
GAGG(Ce)	50 - 150	520	40 - 60	6.63	Нет
LaBr3(Ce)	16	380	61	5.08	Да

Таблица 3 — Сводная таблица рассматриваемых сцинтилляционных кристаллов

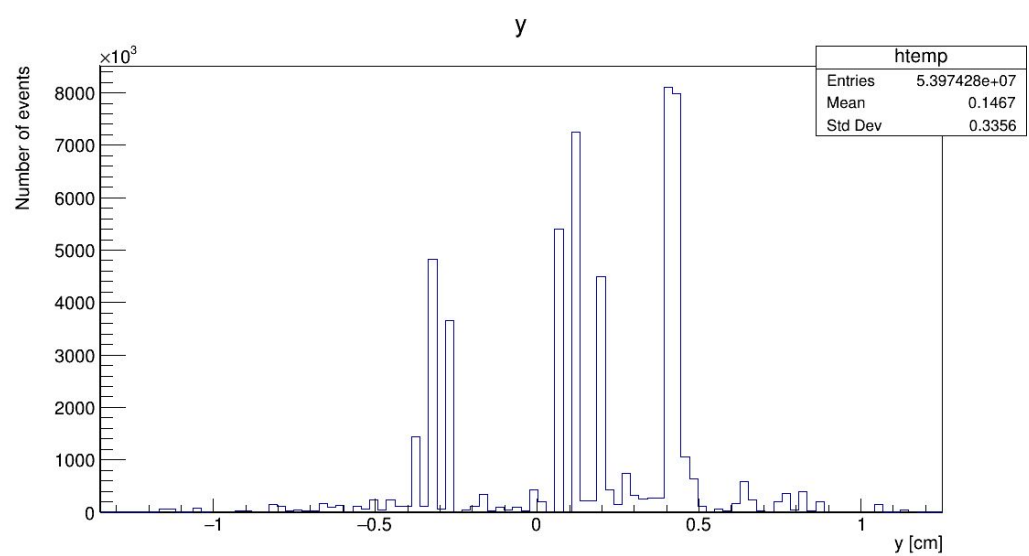
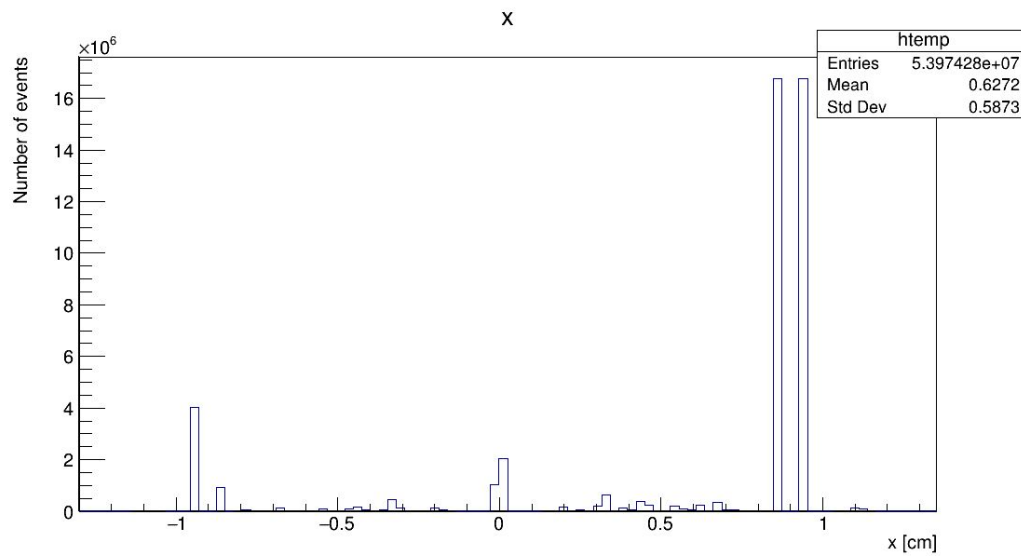
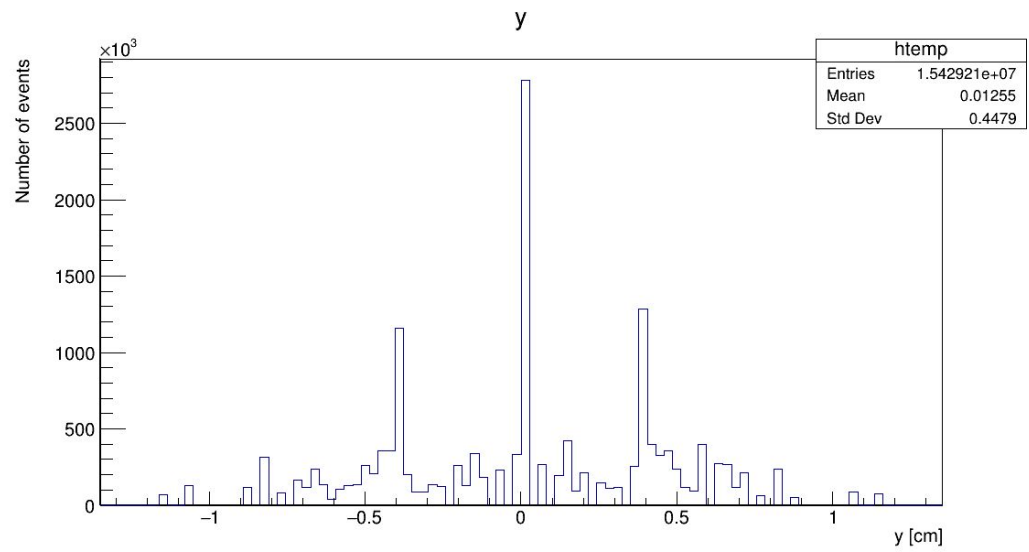
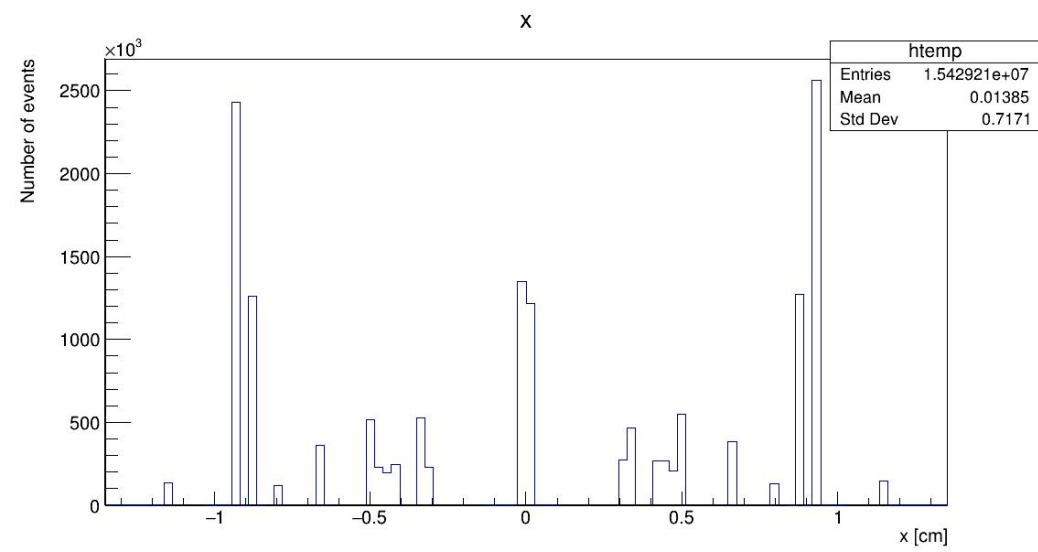


Рис.12 Результат работы первого алгоритма: 1 ряд - источник расположен в центре установки, 2 ряд - позиция источника - $x = 5$ мм, $y = 5$ мм

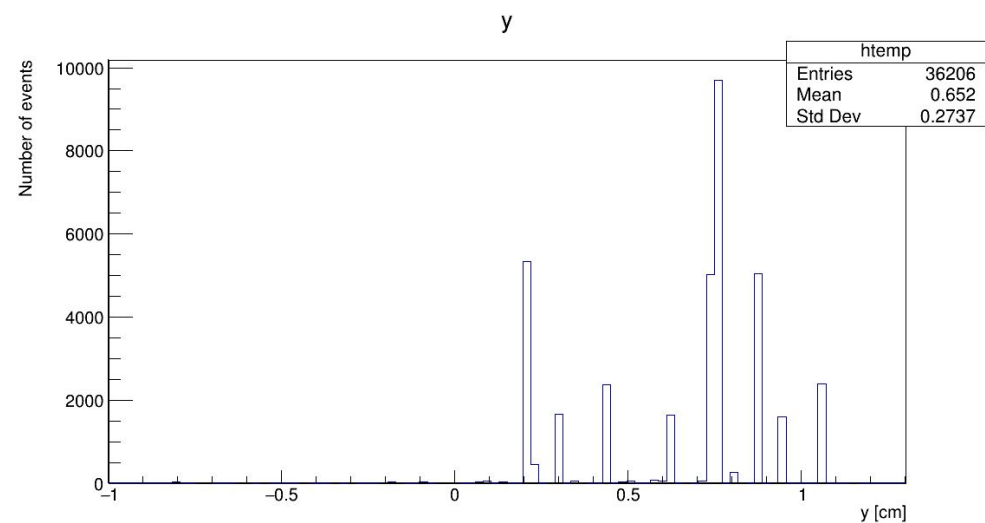
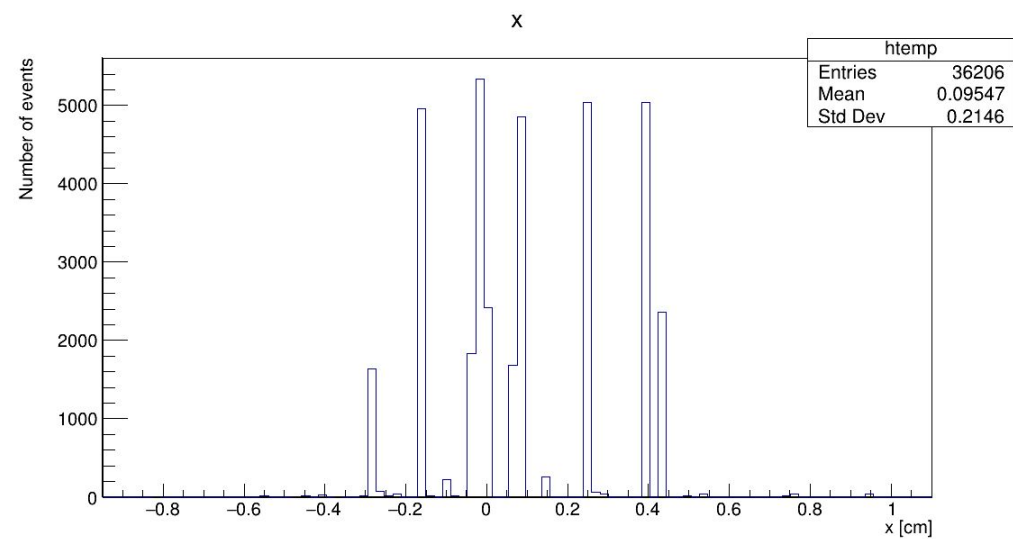
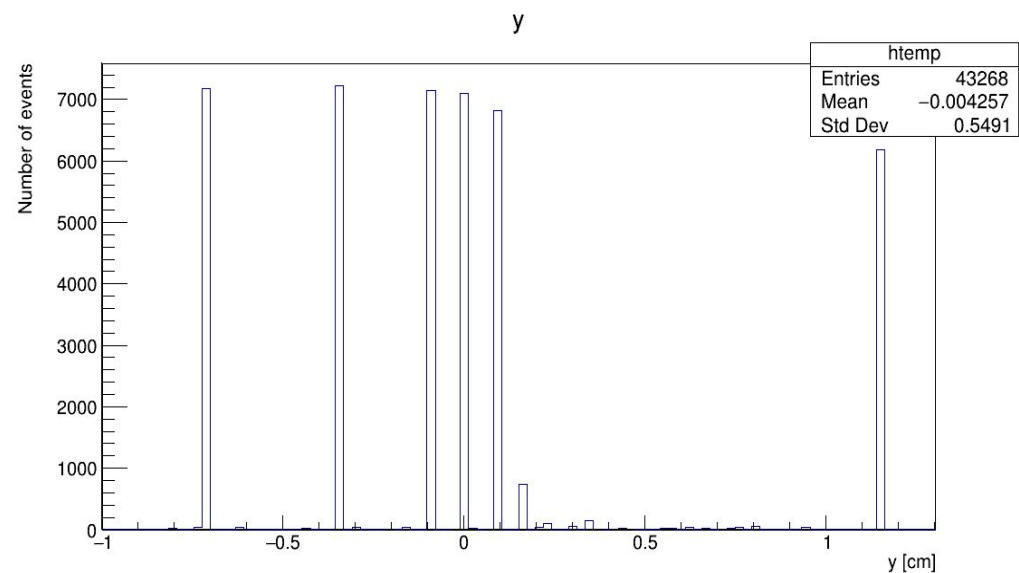
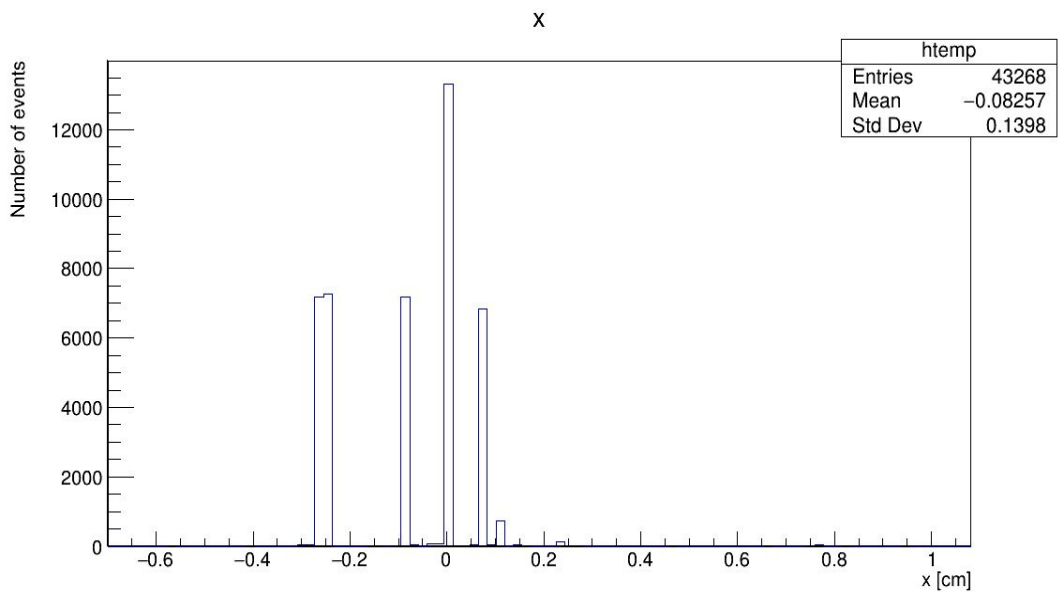


Рис.13 Результат работы второго алгоритма: 1 ряд - источник расположен в центре установки, 2 ряд - позиция источника - $x = 5$ мм, $y = 5$ мм

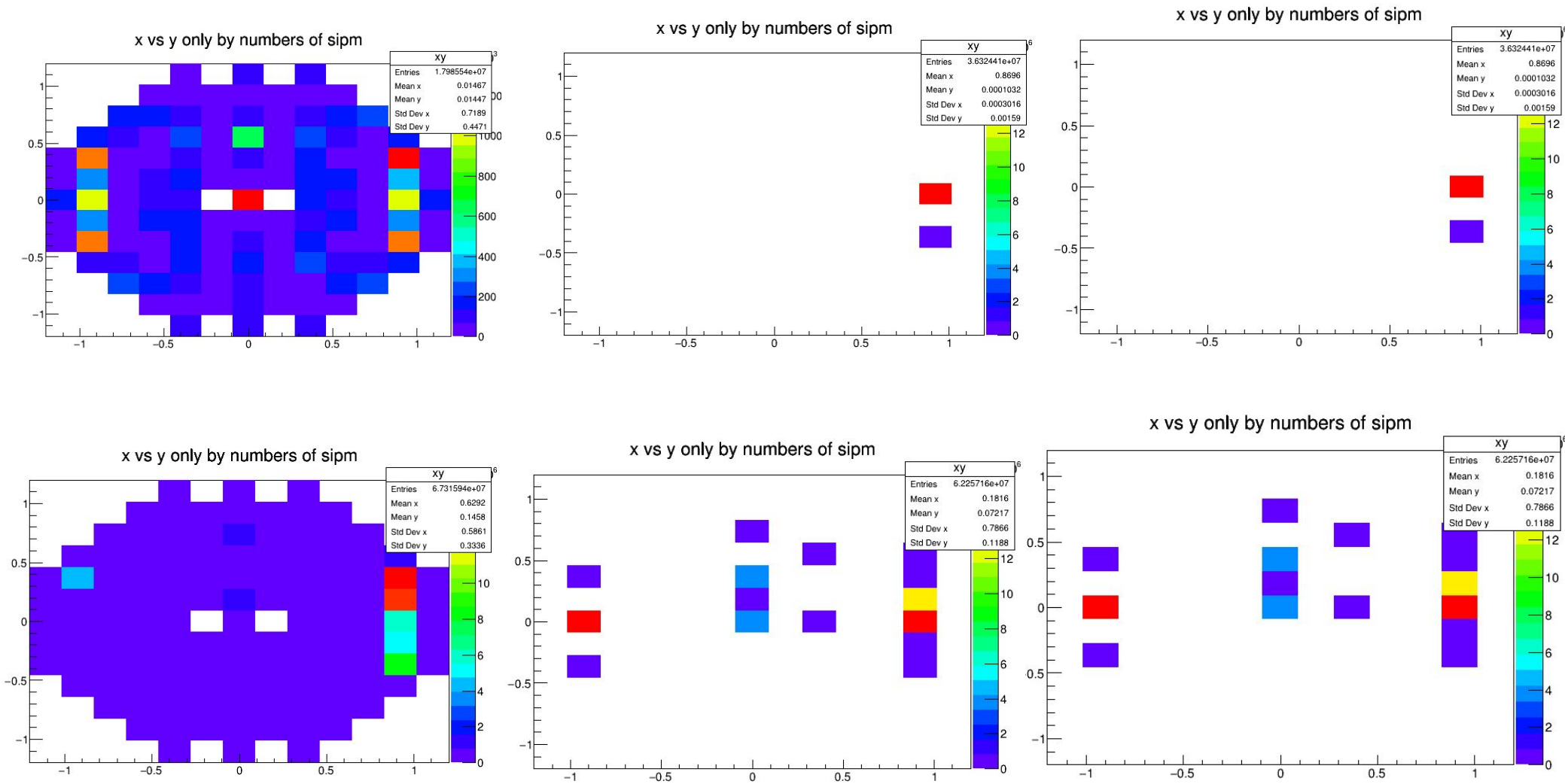


Рис.14 Результат применения ограничений на отбор для результатов работы первого алгоритма: 1 столбец - взаимное расположение, 2 - фотопик, 3 - временное окно

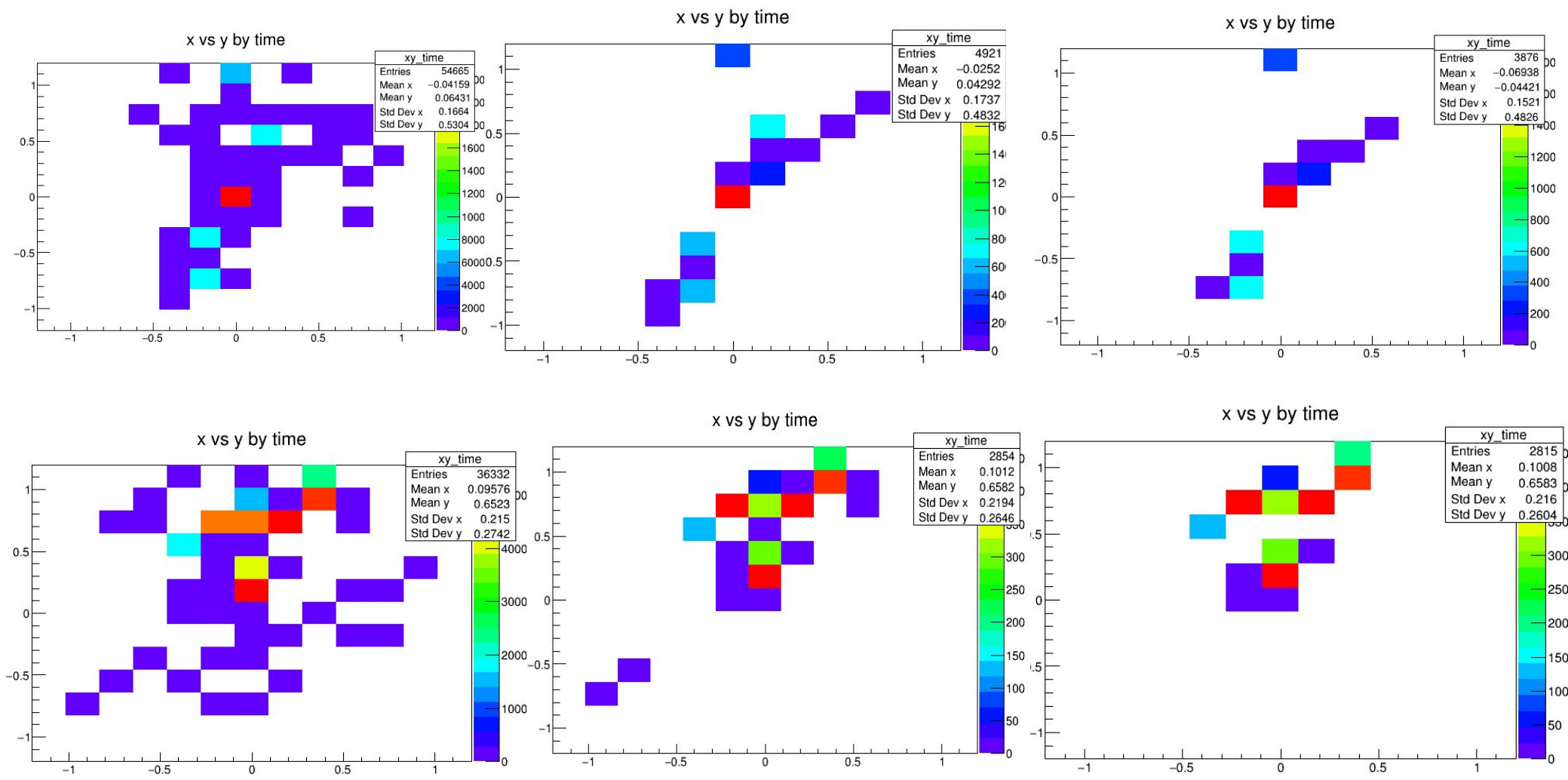


Рис.15 Результат применения ограничений на отбор для результатов работы второго алгоритма: 1 столбец - взаимное расположение, 2 - фотопик, 3 - временное окно