

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.144.3

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
**ПОДГОТОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО  
ИЗМЕРЕНИЯМ ПРОТОТИПА ДПИ НА ПУЧКЕ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ.**

Научный руководитель  
доцент

\_\_\_\_\_ С. Ю. Смирнов

Студент

\_\_\_\_\_ В. С. Попов

Москва 2022

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>3</b>
Актуальность . . . . .	3
Цель работы . . . . .	3
<b>1 Описание экспериментальной установки</b>	<b>4</b>
<b>2 Описание модели</b>	<b>4</b>
<b>3 Обработка данных</b>	<b>6</b>
<b>4 Вывод</b>	<b>10</b>

# Введение

Переходное излучение – это вид электромагнитного излучения, возникающего при пересечении заряженной частицей границы раздела сред с разными диэлектрическими проницаемостями.

Наибольший интерес представляет переходное излучение, созданное ультрарелятивистской частицей ( $\gamma \gg 1$ ), основная энергия которого лежит в области Рентгеновского спектра. Рентгеновские лучи излучаются в диапазоне от нескольких кэВ до десятков кэВ в прямом направлении под малыми углами.

В рентгеновском спектре переходное излучение имеет сильную зависимость от Лоренц-фактора ( $\gamma$ ). Метод, основанный на переходном излучении в рентгеновском спектре, является одним из четырех неразрушающих методов определения частиц и охватывает диапазон  $\gamma \gtrsim 500$

Для определения частиц с  $\gamma \sim 10^5$  используется зависимость угла распространения переходного излучения  $\theta$  от  $\gamma$ .

## Актуальность

Столкновение адронов с адронами при  $\sqrt{s} = 13\text{ТэВ}$  и малым  $p_T$  мало изучены, однако изучение этих процессов могло бы помочь в исследовании спектров космических лучей, например аномальное количество мюонов в них может быть следствием распада адронов содержащих кварки очарования и красоты, которые никогда не изучались при больших  $\sqrt{s}$ . Для этих целей предлагается провести эксперимент [1] по изучению рассеяния адронов под малыми углами и образованию заряженных адронов в адрон-адронных взаимодействиях. Последний раз аналогичные исследования проводились почти 50 лет назад на первом поколении адронного коллайдера ISR при энергиях столкновения  $\sqrt{s} = 63\text{ГэВ}$ .

Этот эксперимент подразумевает создание адронного спектрометра **VFHS** на основе детектора переходного излучения. В отличие от черенковского детектора который не эффективен при ТэВ-ном диапазоне энергий, детектор переходного излучения, который измеряет  $\gamma$  способен эффективно работать при таких энергиях. Для данного эксперимента необходимо что бы детектор работал в диапазоне от  $\gamma = 10^3$  для 1Тэв  $p$  до  $\gamma = 3.6 \cdot 10^4$  для 5 ТэВ  $\pi$ . Измерение гамма с точностью в 10% должно дать возможность корректно разделять  $\pi$ ,  $K$  и  $p$ . В ходе данного эксперимента предполагается использовать детектор переходного излучения, определяющий гамма по углу распространения излучения.

Детектор переходного излучения прототип которого описан в статье [2] является возможно единственным подходящим детектором для создания **VFHS**. За счет того, что диапазон эффективной работы детектора зависит от многих параметров, таких как расстояние между пластинами радиатора, материала радиатора и ширина пластин, детектор позволяет работать в большом диапазоне гамма.

## Цель работы

Целью работы является разработка программного обеспечения для анализа данных, полученных с детектора переходного излучения на пучке заряженных частиц, в частности, создание программной модели события описывающей пролет частицы через экспериментальную установку.

# 1 Описание экспериментальной установки

В ходе работы производился анализ данных полученных с экспериментальной установки (Схема установки 1 из статьи [3]) которая представляет из себя: многослойный радиатор находящийся на расстоянии порядка 2 м от детектора, трубу заполненную гелием для предотвращения поглощения фотонов переходного излучения, сенсор из компенсированного хромом GaAs толщиной 500 мкм соединенный с Timepix3 чипом использовался как детектор с квадратной матрицей  $256 \times 256$  пикселей с шагом пикселя в 55 мкм. За детектором располагается система определения частиц, состоящая из ливневого и черенковского детектора, а также калориметра из свинцового стекла. В статье [3] описываются результаты измерений 2018 года. Данные анализируются в этой работе с сеанса измерений №187 2021 года (смешанный пучок частиц – электроны и пионы с энергией 20 ГэВ), были получены при помощи той же экспериментальной установки, но с другой схемой считывающей электроники, именно это послужило причиной разработки новой программной модели событий

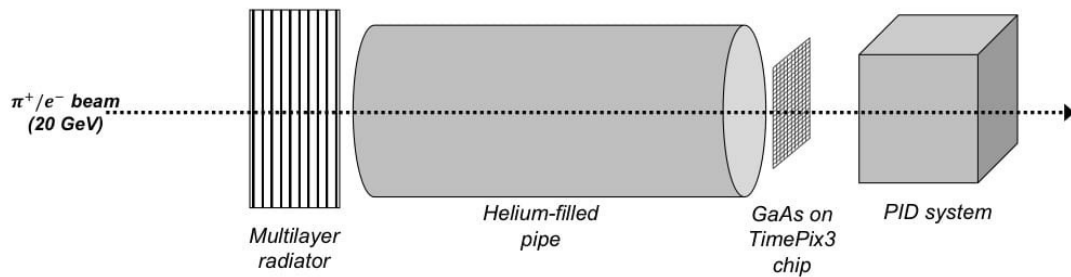


Рисунок 1 — Схема экспериментальной установки

# 2 Описание модели

Был создан класс на языке C++ который является моделью пролета частицы через детектор. Объекты класса включают в себя всю имеющуюся информацию о данном событии в формате представленном на рисунке 2.

```
(количество сработавших пикселей)
(флаг триггера)           (Время срабатывания триггера)
(X координата) (Y координата) (Время срабатывания пикселя) (ToT)
.
.
.
.
(X координата) (Y координата) (Время срабатывания пикселя) (ToT)
```

Рисунок 2 — Формат записи данных в модели события.

Все времена, кроме ToT который записывается в единицах 25нс, записываются в наносекундах до целых. Координаты X и Y лежат в пределах от 1 до 256. Флаг триггера

равен 2 в случае электрона и 4 в случае пи-мезона. Объект созданного класса состоит из целого числа сработавших пикселей (`num_elems` – тип `int`), флага триггера (`flag` – тип `int`), и времени его срабатывания (`s` – тип `unsigned long long`), а также из 4 массивов длиной `n`, X координат пикселей и Y соответственно (`pixelX[ ]`, `pixelY[ ]` – тип `int`), времена срабатываний пикселей (`t[ ]` – тип `unsigned long long`), и времена над барьером (`ToT[ ]` – тип `int`).

ToT – время над порогом или барьером это величина характеризующая количество энергии выделенной в пикселе. Так как установка на каждый пиксель интегратора крайне затратна, используется система в которой при превышении сигналом с пикселя установленного порогового значения включается тактовый счетчик с частотой 640МГц который перестает работать в момент нарастания импульса счетчика с частотой 40 МГц с этого времени при помощи 40 МГц счетчика измеряет ToT до момента пока сигнал не станет ниже порогового значения, далее ToT вместе с ToA (временем срабатывания пикселя) и номером пикселя записываются в буфер для считывания, затем в процессе анализа данных ToT будет переведено в энергию. Очевидно, что ToT измеряется с точностью в 25 нс. Принцип работы пикселя Timerix3 приведен на рисунке 3 из статьи [4].

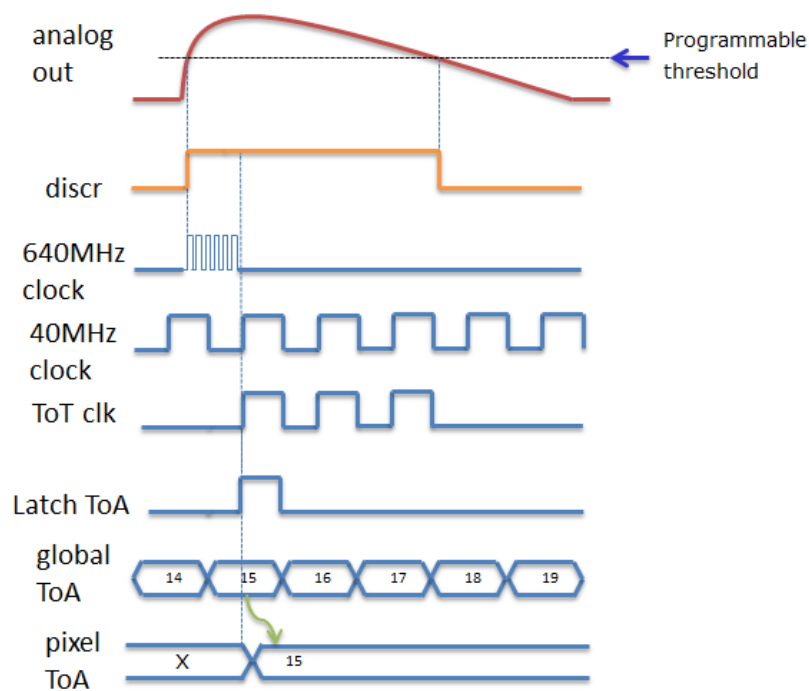


Рисунок 3 – Принцип работы пикселя Timerix3

Сработавший пиксель входит в событие если его время срабатывания было раньше времени срабатывания триггера минимум на 250 нс и максимум на 400нс. Данные значения были определены при помощи гистограммы разности времён срабатывания триггеров и пикселей 4.

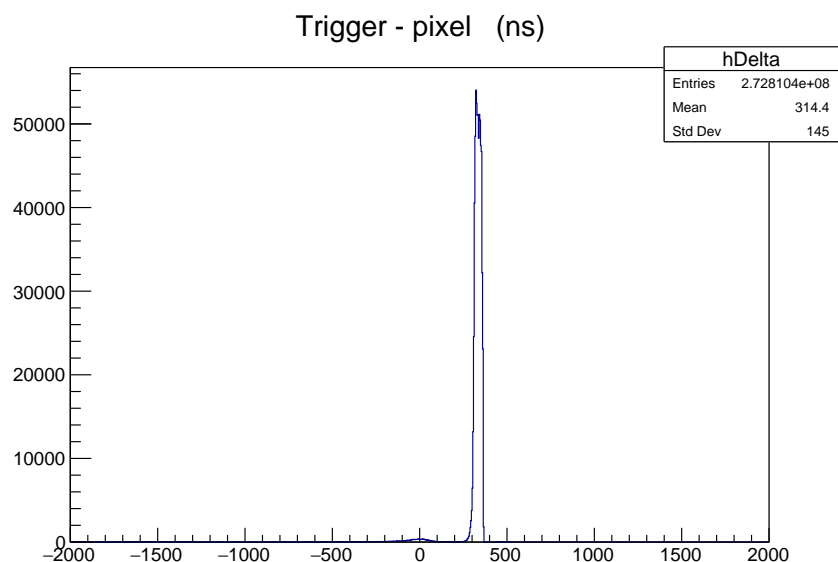


Рисунок 4 — гистограмма разности времён срабатывания триггеров и пикселей. (ось абсцисс - наносекунды)

### 3 Обработка данных

При помощи созданной модели были обработаны экспериментальные данные сеанса измерений №187 2021 года и записаны в деревья структура которых соответствует структуре модели. Деревья - это объекты класса TTree предназначенные для хранения большого количества данных, в заранее установленном пользователем формате. Описание класса TTree приведено в статье [5]. Также были построены гистограммы координат сработавших пикселей по оси X и Y для электронов 5 и пионов 6, количества сработавших пикселей на пролет одной частицы для электрона и пиона 7.

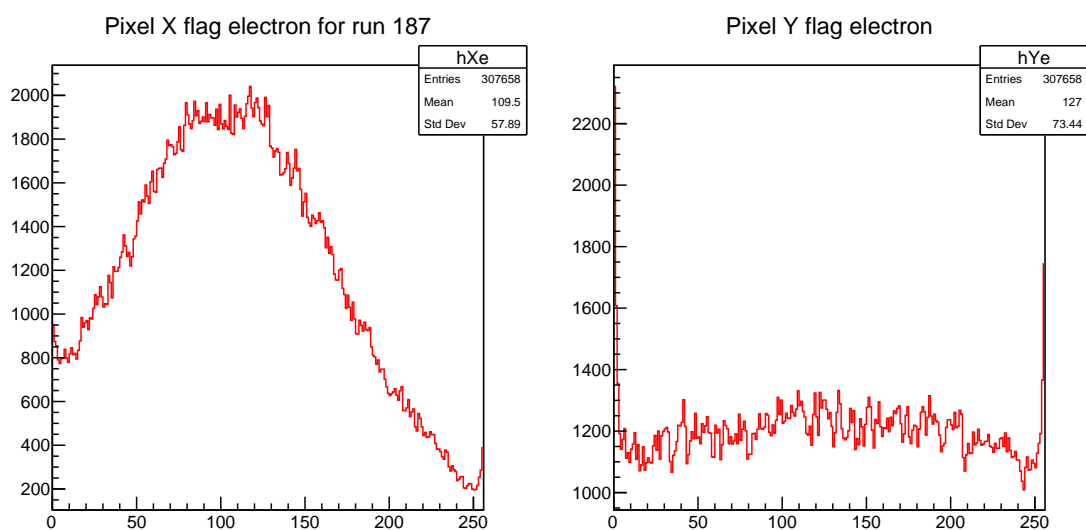


Рисунок 5 — гистограммы координат сработавших пикселей по оси X и Y для электронов. (ось абсцисс - координаты пикселей)

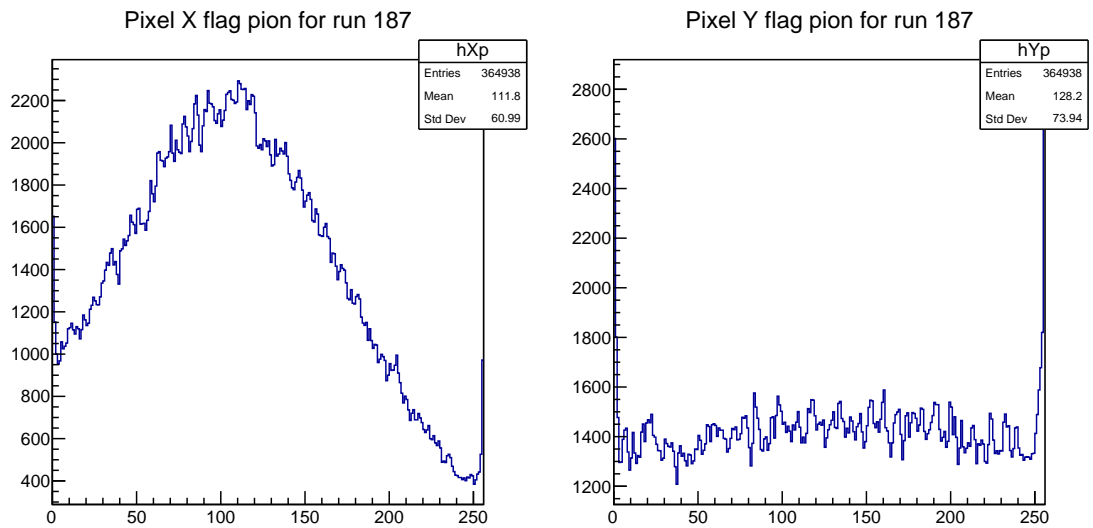


Рисунок 6 — гистограммы координат сработавших пикселей по оси X и Y для пионов. (ось абсцисс - координаты пикселей)

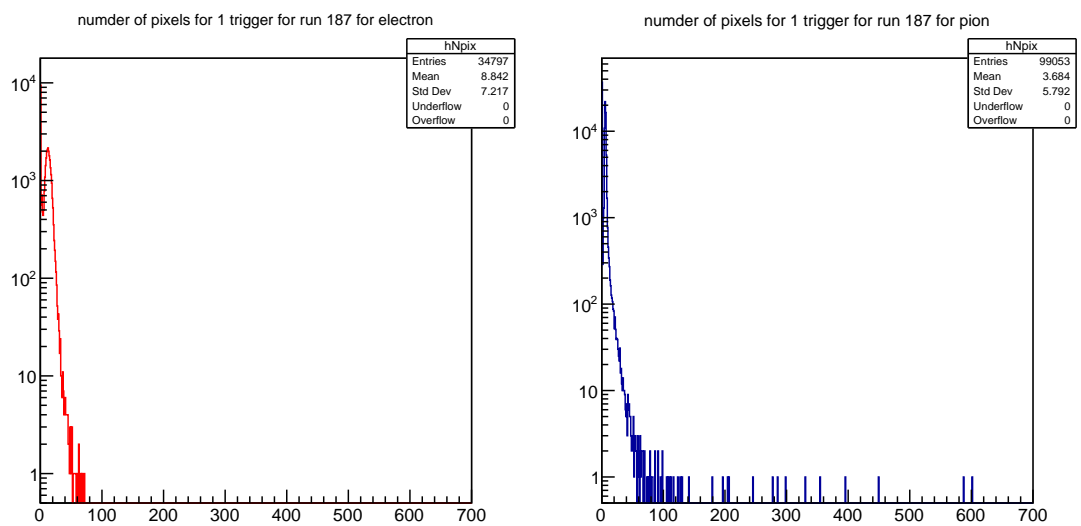


Рисунок 7 — гистограммы количества сработавших пикселей на пролет одной частицы для электронов и пионов в логарифмическом масштабе (ось абсцисс - количество сработавших пикселей)

Из рисунка 7 следует что события с высокой множественностью пикселей (число сработавших пикселей больше 100) свойственны только пионам. В сеанс измерений №187 2021 года таких было 23, были построены снимки данных событий, по которым видно, что некоторые события такого рода обусловлены сбоем электроники как на рисунке 8 (a), а некоторые как на рисунке 8 (b) связаны с ядерными взаимодействиями.

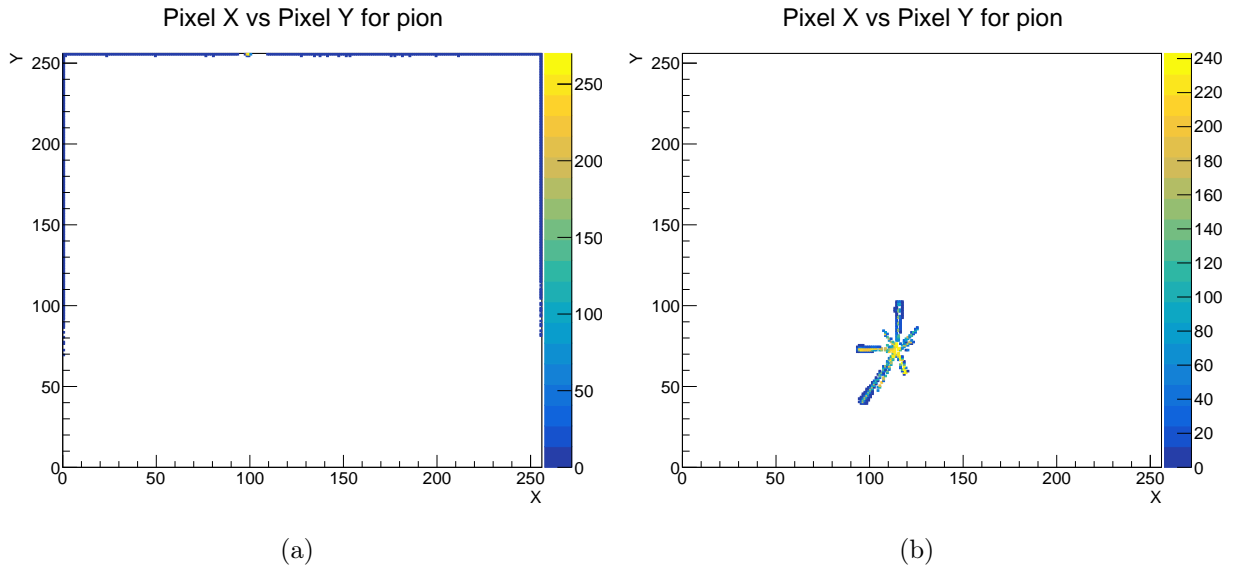


Рисунок 8 — Снимки событий (Цветом обозначены сработавшие пиксели с соответствующим ToT)

Был проведён анализ полученных гистограмм из рисунков 5 и 6 видно что количество пикселей сработавших по краям детектора крайне велико, и явно не имеет отношения к переходному излучению, так же как было сказано выше события с числом сработавших пикселей больше 100 обусловлены либо сбоем электроники либо с ядерными взаимодействиями GaAs из чего следует вывод что они так же не представляют интереса для изучения детектора переходного излучения. В связи с этим были созданы дополнительные условия для отбора событий, а именно в дерево записываются только события с множественностью пикселей меньше 100, так же в анализе не учитываются 5 крайних рядов пикселей с каждой стороны детектора.

С учетом этих дополнительных параметров были получены следующие гистограммы: времена над пороговым значением энергии для электронов 9(a) и пионов 9(b), координаты сработавших пикселей по оси X и Y для электронов 10 и пионов 11, количество сработавших пикселей на пролет одной частицы для электрона и пиона 12.



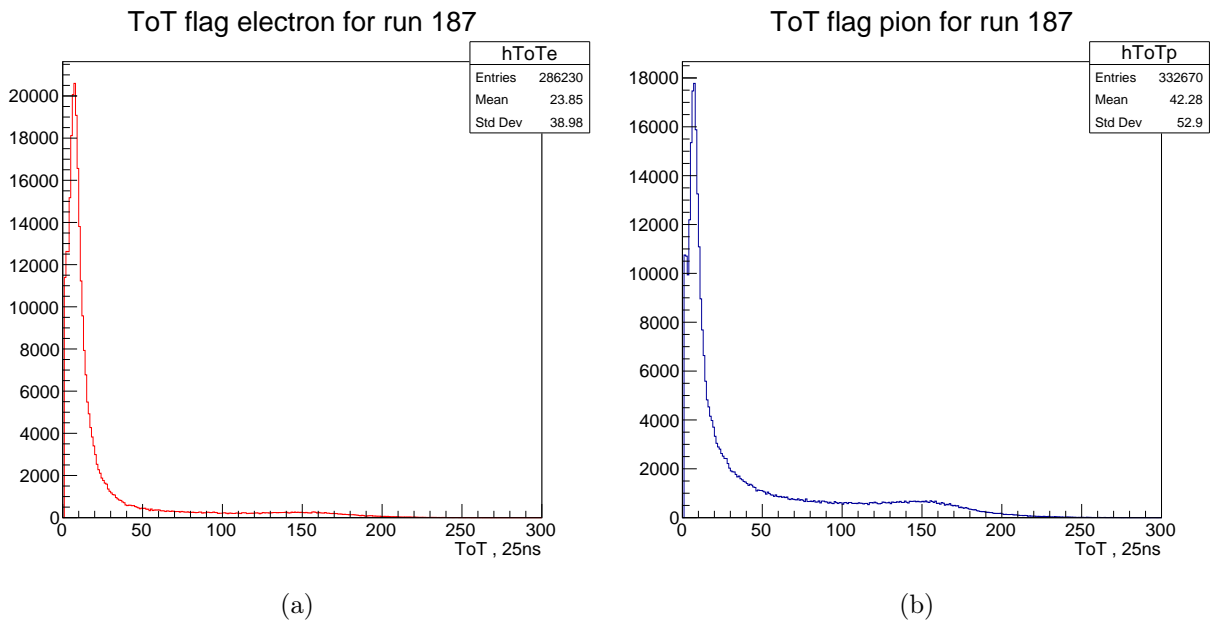


Рисунок 9 — гистограммы времен над пороговым значением энергии. (a) - электрон, (b) - пион (ось абсцисс - 25 наносекунд)

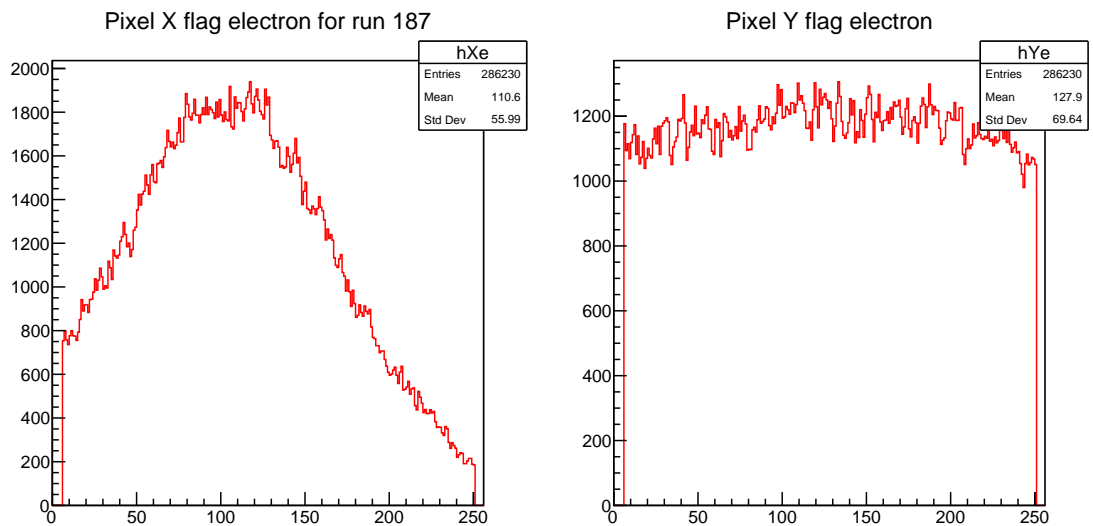


Рисунок 10 — гистограммы координат сработавших пикселей по оси X и Y для электронов. (ось абсцисс - координаты пикселей)

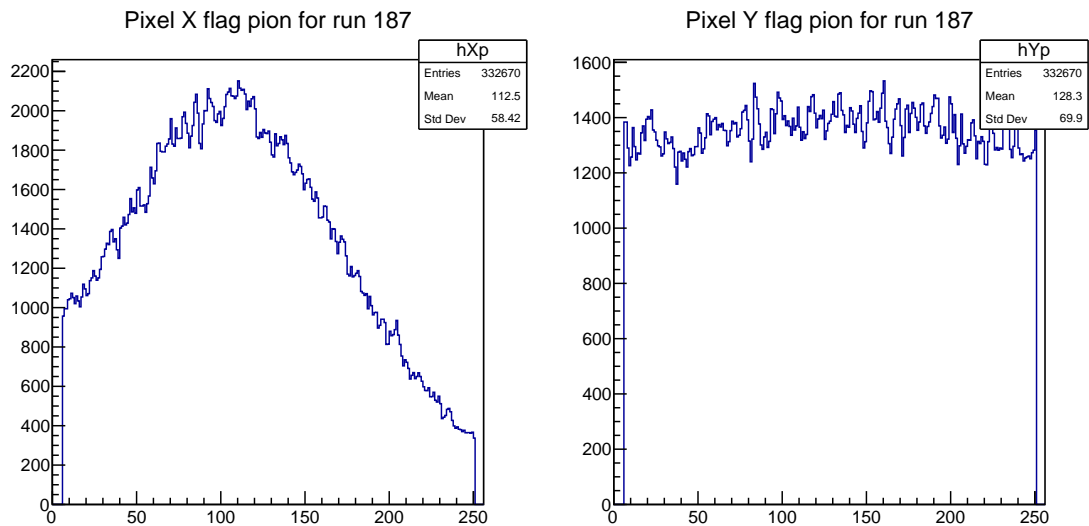


Рисунок 11 — гистограммы координат сработавших пикселей по оси X и Y для пионов. (ось абсцисс - координаты пикселей)

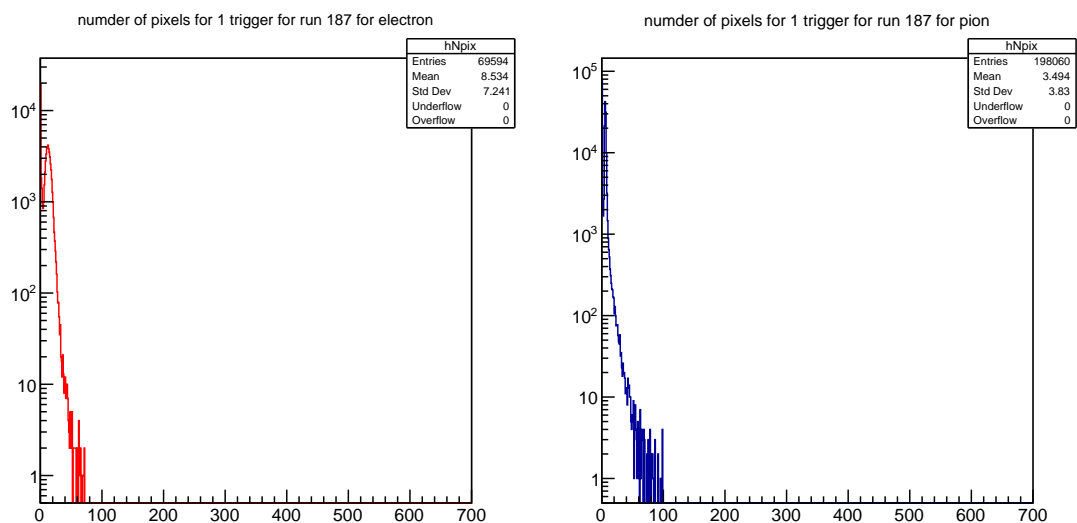


Рисунок 12 — гистограммы количества сработавших пикселей на пролет одной частицы для электронов и пионов в логарифмическом масштабе (ось абсцисс - количество сработавших пикселей)

## 4 Вывод

Были получены числовые значения критериев отбора событий. Диапазон в 250-400 нс между временем срабатывания триггера и пикселя, ограничение на рабочую зону пиксельного сенсора (5 рядов пикселей с каждого края не учитываются), а также ограниченно максимальное число сработавших пикселей на одно событие, не более 100. Была создана модель события и с ее помощью обработаны экспериментальные данные. Полученные гистограммы совпадают с данными предыдущих лет что свидетельствует о корректности модели события. Разработанная модель события вместе с критериями отбора будет использоваться для окончательного анализа данных сеанса 2021 года.

## Список литературы

- [1] Michael Albrow. A Very Forward Hadron Spectrometer for the LHC and Cosmic Ray Physics. *PoS*, EDSU2018:048, 2018.
- [2] N Belyaev, M L Cherry, S A Doronin, K Filippov, P Fusco, F Gargano, S Kononov, F Loparco, M N Mazziotta, A Mufazalova, S Nechaeva, D Ponomarenko, C Rembser, A Romaniouk, A A Savchenko, E Shulga, S Smirnov, Yu Smirnov, P Spinelli, L Sultanaliyeva, P Teterin, V Tikhomirov, K Vorobev, and K Zhukov. A concept of the transition radiation detector for a hadron separation in a forward direction of the LHC experiments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1690(1):012043, dec 2020.
- [3] J. Alozy et al. Registration of the transition radiation with GaAs detector: Data/MC comparison. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1690(1):012041, 2020.
- [4] T Poikela, J Plosila, T Westerlund, M Campbell, M De Gaspari, X Llopart, V Gromov, R Kluit, M van Beuzekom, F Zappone, V Zivkovic, C Brezina, K Desch, Y Fu, and A Kruth. Timepix3: a 65k channel hybrid pixel readout chip with simultaneous ToA/ToT and sparse readout. *Journal of Instrumentation*, 9(05):C05013–C05013, may 2014.
- [5] R. Brun and F. Rademakers. ROOT: An object oriented data analysis framework. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 389:81–86, 1997.