

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.1.07

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕЖЕКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТЕКТОРА
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Студент _____ В. С. Попов

Научный руководитель _____ С. Ю. Смирнов

Москва 2023

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕЖЕКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТЕКТОРА
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Студент

_____ В. С. Попов

Научный руководитель

_____ С. Ю. Смирнов

Рецензент,

к.ф.-м.н.

_____ А. Г. Майоров

Секретарь ГЭК,

к.ф.-м.н.

_____ А. А. Кириллов

Зав. каф. №40,

д.ф.-м.н., проф.

_____ М. Д. Скорохватов

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Актуальность	3
Цель работы	5
1 Описание экспериментальной установки	6
1.1 Радиаторы переходного излучения	7
1.2 Система PID	8
1.3 Схема триггерной логики	9
1.4 Принцип работы детектора на основе чипа Timerix3	10
2 Подготовка к изучению режекции	12
2.1 Предварительный анализ программного обеспечения	12
2.2 Описание входного формата данных	12
2.3 Очистка данных от фоновых событий	13
3 Анализ режекционных характеристик	16
3.1 Понятие режекции, поиск возможных путей ее улучшения	16
3.2 Изучение режекции для различных радиаторов	18
3.3 Проверка корректности данных	20
4 Заключение	22
Список использованных источников	23

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 ультррелятивистской 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 (γ). Метод определения частиц, 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 $\gamma \sim 10^5$ дополнительно используется зависимость угла распространения переходного излучения θ от γ .

АКТУАЛЬНОСТЬ

Рождение адронов с малым поперечным импульсом p_T в столкновениях с $\sqrt{s} = 13$ ТэВ мало изучено, что является большим упущением. Измерение спектров частиц с большим значением фейнмановской скейлинговой переменной $x_F = p_z/p_{BEAM}$ с импульсами от сотен ГэВ до нескольких ТэВ крайне полезно. Существует несколько различных моделей, дающих различающиеся на порядки результаты, описывающих эту область фазового пространства. Точное измерение спектров рождения частиц с малым p_T в протон-протонных столкновениях не только поможет уточнить модели описывающие данные процессы, но и может привести к новому понима-

нию КХД. Также изучение космических лучей высоких энергий зависит от наших знаний о рождении адронов с большим x_F . 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 изучения описанных выше физических вопросов предлагается провести эксперимент на ЛНС [1] по исследованию рассеяния адронов под малыми углами и образованию заряженных адронов в адрон-адронных взаимодействиях. Последний раз аналогичные измерения проводились почти 50 лет назад на первом поколении адронного коллайдера ISR в ЦЕРНе, при энергиях столкновения $\sqrt{s} = 63$ ГэВ.

Этот эксперимент подразумевает создание адронного спектрометра **VFHS** (Very Forward Hadron Spectrometer), состоящего из трековых детекторов, детектора переходного излучения, калориметра и мюонной камеры. Спектрометр предполагается расположить в туннеле ЛНС, в зоне без магнитного поля после разделяющих диполей и квадрупольей. Немного изменив конструкцию вакуумных труб коллайдера для того, чтобы отклонённые частицы не взаимодействовали со стенками, можно выделить место под детектор от точки $z = 116$ м, от места пересечения пучков, где будет расположена тонкая металлическая пластина, через которую отклоненные частицы будут выходить из вакуумной трубы и до точки $z = 126$ м, так как в точке $z = 127$ м уже начинается поглотитель TAxN, расположенный в туннеле ЛНС.

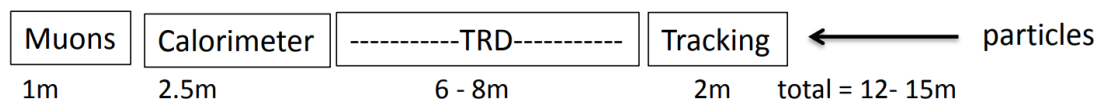


Рисунок 1 — Принципиальная схема расположения детекторов в **VFHS**

VFHS может функционировать как независимая система, однако, лучше установить данный спектрометр как подсистему уже имеющихся детекторов ЛНС, например ATLAS. В этом случае мы будем иметь более полный набор данных, так как большая часть детекторов на ЛНС предназначена для регистрации частиц с малым значением псевдобыстроты η , а **VFHS** в свою очередь направлен на фиксацию частиц с большим значением η . Объединяя эти детекторы и, соответственно, сигналы, приходящие с

них, мы сможем получать более полную картину для каждого события.

Основой **VFHS** будет детектор переходного излучения. В отличие от черенковского детектора, неэффективного при ТэВ-ном диапазоне энергий, детектор переходного излучения, который измеряет γ , способен эффективно работать при таких энергиях. Для данного эксперимента необходимо, чтобы детектор работал в диапазоне от $\gamma = 10^3$ для 1 ТэВ p (протонов) до $\gamma = 3.6 * 10^4$ для 5 ТэВ π (пионов). Измерение гамма-фактора с точностью в 10% должно дать возможность корректно разделять π , K (каоны) и p . Так как интенсивность переходного излучения имеет пороговую зависимость от гамма-фактора, его определение при помощи распределения по интенсивности может быть затруднительно при столь высоких энергиях, однако угловое распределение фотонов имеет непрерывную зависимость от гамма-фактора, поэтому в ходе данного эксперимента предполагается использовать детектор переходного излучения, способного измерять не только интенсивность переходного излучения, но и угол вылета фотонов переходного излучения. Для возможности одновременного получения и углового, и энергетического спектра используется пиксельный детектор.

Детектор переходного излучения, прототип которого описан в статье [2–4], является, возможно, единственным подходящим детектором для создания **VFHS**. Так как диапазон эффективной работы детектора зависит от многих параметров, таких как расстояние между пленками радиатора, материал радиатора и толщина пленки, детектор позволяет работать в большом диапазоне гамма-факторов. Из-за отсутствия тестовых пучков с несколькими ТэВ, для тестов используются пучки электронов и пионов на SPS ЦЕРНе.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение режекционных характеристик прототипа детектора переходного излучения, из статей [3; 4], и поиск путей возможного улучшения этих параметров, а также оценка максимально возможных значений режекционных параметров для различных радиаторов на основе данных, полученных в эксперименте со смешанным пучком пионы/электроны 20 ГэВ на ускорителе SPS в ЦЕРНе.

1 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В ходе работы производился анализ данных, полученных с экспериментальной установки (Схема установки 1.1 из статьи [5]), которая представляет из себя: многослойный радиатор, находящийся на расстоянии порядка 2 м от детектора; трубу, заполненную гелием для предотвращения поглощения фотонов переходного излучения в воздухе; сенсор из компенсированного хромом GaAs толщиной 500 мкм, соединенный с TimePix3 чипом, используемый как детектор с квадратной матрицей 256×256 пикселей с размером пикселя в 55 мкм. За GaAs располагается ливневый детектор и калориметр из свинцового стекла, перед радиатором находится черенковский детектор. Вместе они образуют систему определения частицы. В статье [5] описываются некоторые результаты измерений 2018 года. Данные, анализируемые в этой работе, были получены в 2018 и 2021 годах на ускорителе SPS в ЦЕРНе.

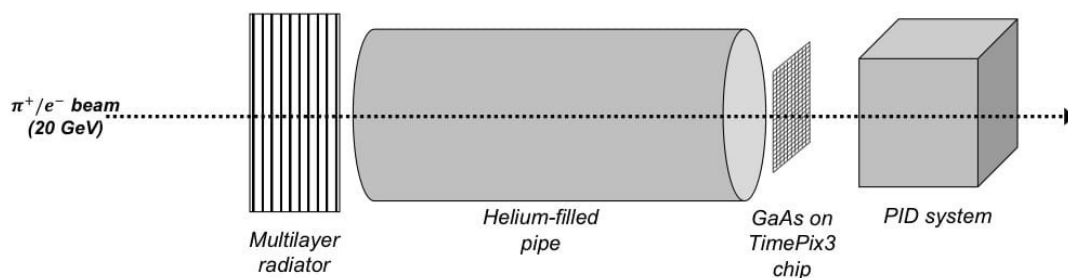


Рисунок 1.1 — Схема экспериментальной установки

1.1 РАДИАТОРЫ ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для рождения фотонов переходного излучения заряженная частица должна пересекать границы разделов сред с различными диэлектрическим проницаемостями. Вероятность излучения переходного излучения мала, в связи с этим для функционирования детектора необходим радиатор, создающий множество границ разделов сред. Материал радиатора должен обладать различными свойствами, например его диэлектрическая проницаемость должна отличаться от проницаемости среды, так же материал пленок радиатора должен слабо поглощать фотоны переходного излучения.

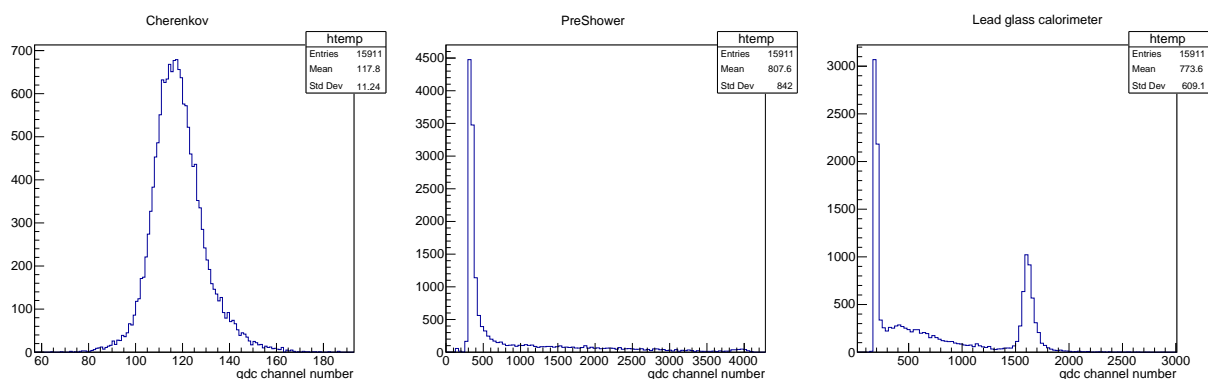
Данные анализируемые в этой работе были получены с установки с различными конфигурациями радиаторов, все конфигурации приведены в таблице 1.1, а также комбинированный радиатор из 300 пленок полиэтилена толщиной 35 мкм. и расстоянием между пленками 0.5мм., и 108 полипропиленовых пленок толщиной 15.5 мкм. и расстоянием между пленками 0.2мм и аналогичный ему с 400 и 72 пленками соответственно.

Таблица 1.1 — Радиаторы анализируемые в работе

Материал	Межплёночное расстояние, мм.	Толщина пленки, мкм.	Количество пленок
Майлар	3	50	30
			90
Полиэтилен	0,5	35	100
			300
			400
		28	500
			100
			300
	3	67	500
			30
	2	67	90
			30
	2,3	91	90
			30
Полипропилен	0,2	15,5	180

1.2 СИСТЕМА PID

- Черенковский детектор работает на излучении Вавилова-Черенкова, которое испускает частица, движущаяся в среде быстрее скорости света в ней. Угол испускания фотона зависит от скорости частицы. Так как в эксперименте электрон и пион имеют одинаковый импульс, их скорость будет различной ввиду различных масс. Основываясь на этом, по спектру, получаемому с детектора Черенкова, можно разделить один частицы от других.
- Детектор предварительного развития ливня представляет свинцовую пластину толщиной 5мм (поглотитель) и присоединенный к ней сцинтиллятор толщиной 20 мм. В отличие от пиона, который скорее всего никак не провзаимодействует с веществом детектора, кроме ионизации, электрон имеет высокую вероятность развить электромагнитный ливень в свинце. В связи с этим сигнал, получаемый с детектора в случае пролета электрона, будет выше, чем при пролете пиона.
- Калориметр из свинцового стекла является гомогенным калориметром. Аналогично ливневому детектору сигнал от электрона будет выше, чем сигнал от пиона. Это связано с различными сечениями взаимодействия электронов и пионов с атомами свинца. Электроны с большей вероятностью будут развивать электромагнитные ливни и оставлять значительную часть своей энергии в калориметре.



(а) Черенковский детектор (б) Ливневый детектор (в) Калориметр

Рисунок 1.2 — Амплитудные спектры сигналов детекторов для смешенного пучка электроны пионы 20 ГэВ

1.3 СХЕМА ТРИГГЕРНОЙ ЛОГИКИ

За пиксельным детектором располагается 3 сцинтилляционных детектора. Первые два (s2, s3) работают как телескоп и определяют, прошла ли частица через детектор вдоль оси пучка. Последним детектор является счетчиком множественности. При помощи него отсекаются события, в которых через детектор одновременно прошли несколько пучковых частиц.

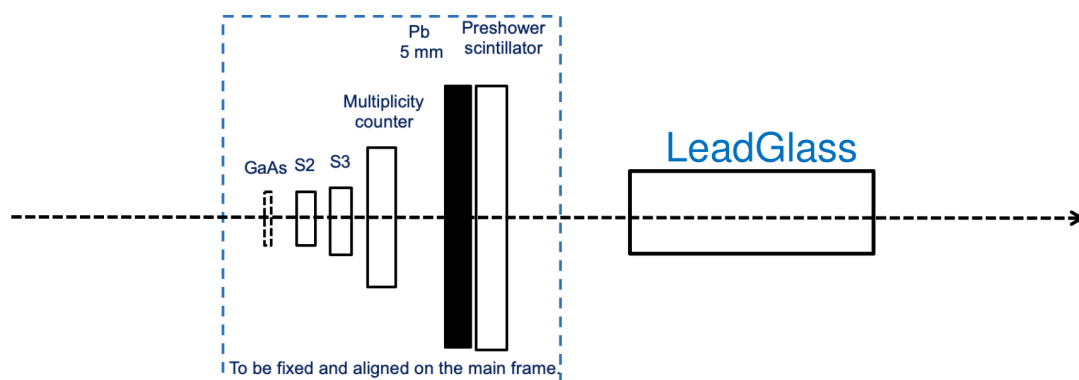


Рисунок 1.3 — Схема экспериментальной установки за пиксельным детектором

Рассмотрим логику, по которой идет процесс записи данных. Из рисунка 1.4 видно, что элемент «gate» будет находиться в рабочем состоянии только если оба детектора s2 и s3 будут на выходе иметь сигнал выше порога детектора. Это соответствует тому случаю, когда частица с достаточной энергией прошла через оба детектора. Нижний блок схемы состоит из трех детекторов системы PID и соответствующих им дискриминаторов, а также из детектора множественности. Если через установку пролетел один электрон, тогда сигнал на выходах детекторов будет выше порога дискриминаторов и на входы элемента логического умножения (&), ассоциируемого с пролетом электрона, будут поступать логические «1», а на входы элемента связанного с пионом «0». Если через установку пролетит несколько частиц одновременно, сигнал с счетчика множественности будет выше порога дискриминатора и на инвертирующем входе логических элементов & будет «1», что заблокирует возможность записи триггерного сигнала. Соответственно, чтобы триггерный сигнал был записан, нужно чтобы выпол-

нялись следующие условия - все сигналы с детекторов системы PID были либо ниже, либо выше порогов соответствующих дискриминаторов, сигналы с сцинтилляторов s2 и s3 были выше порога дискриминатора, а сигнал со счетчика множественности - ниже. При выполнении этих условий на чип Timerix3 поступит триггерный сигнал, сообщающий, что через установку пролетел либо пион, либо электрон. Важно отметить, что при анализе данных не представляется возможность сопоставить событию, полученному с чипа Timerix3, соответствующие амплитуды с детекторов системы PID, так как на пиксельный чип подается только логический сигнал определяющий тип пролетевшей частицы, а амплитуды с детекторов системы PID преобразуются в цифровую информацию по независимому от пиксельного чипа каналу, и записываются в отдельный файл, асинхронно по отношению к данным с Timerix3.

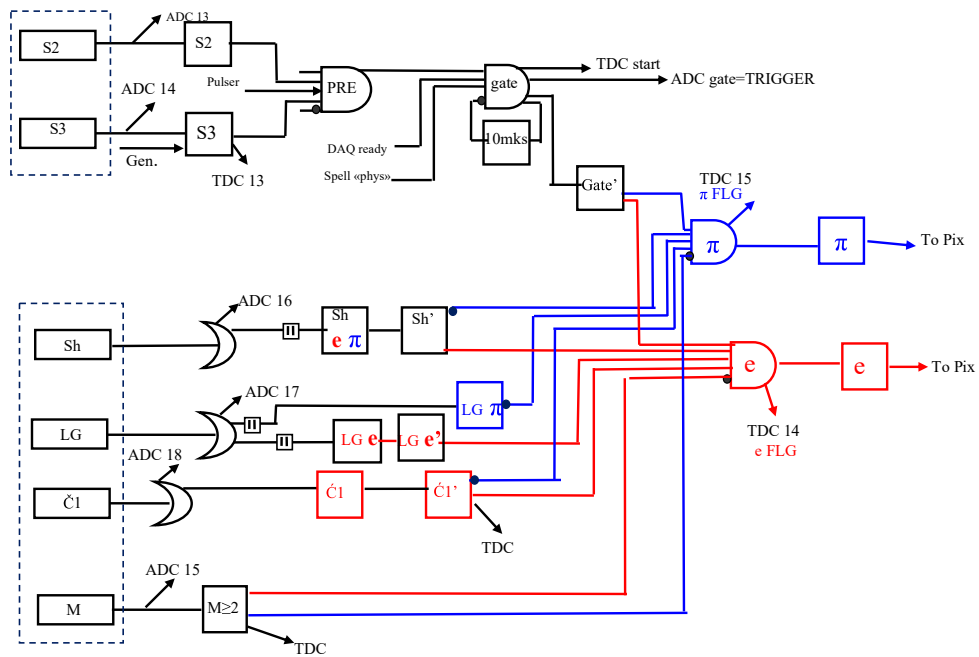


Рисунок 1.4 — Схема триггерной логики

1.4 ПРИНЦИП РАБОТЫ ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ ЧИПА ТИМЕРИХ3

На выходе с пиксельного детектора мы получаем определенный набор данных, а именно координаты сработавших пикселей, времена этих сраба-

тиваний, а также некоторая величина, связанная с энерговыделением в каждом пикселе для данного детектора (ToT – время над порогом). Рассмотрим, как происходит формирование этой информации в нашем случае. В момент пролета частицы через пиксель детектора происходит образование электрон дырочных пар, из-за чего появляется импульс напряжения на входе чипа, связанного с данным пикселем. В момент, когда амплитуда входного сигнала достигает установленного заранее порогового значения, включается тактовый счетчик с частотой 640 МГц. Этот счетчик выключается в момент, когда приходит импульс с постоянно включенного генератора с частотой 40 МГц. Количество тактов постоянно работающего генератора записывается до того момента, пока входной импульс не станет меньше заранее установленного порога. Соответственно время срабатывания пикселя определяется временем прихода первого импульса генератора с частотой 40 МГц, когда амплитуда аналогового сигнала превышала порог минус время, соответствующее тому количеству периодов, которое успел проработать счетчик с частотой 640 МГц. Энерговыделение в пикселе определяется количеством тактов генератора с частотой 40 МГц, которые он успел произвести, пока амплитуда входного сигнала была выше порогового значения. Принцип работы пикселя Timerix3 приведен на рисунке 1.5 из статьи [6].

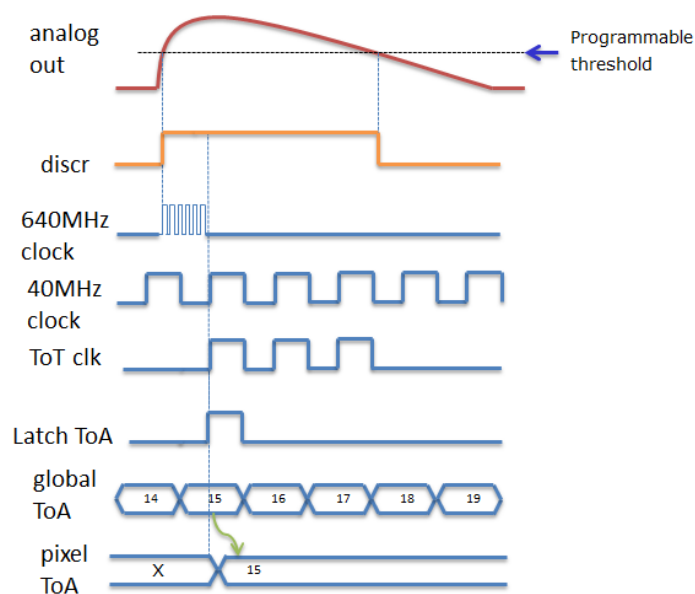


Рисунок 1.5 — Принцип работы пикселя Timerix3

2 ПОДГОТОВКА К ИЗУЧЕНИЮ РЕЖЕКЦИИ

2.1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Перед началом работы по изучению режекционных свойств детектора была решена проблема, связанная с программным обеспечением, написанным сотрудниками эксперимента. До этого момента данные 2018 года обрабатывались только программой, написанной в том же году, однако, после обработки данных программой 2020 года, было выявлено несоответствие по количеству итоговых данных. При проведении анализа программ была обнаружена ошибка в коде 2018 года, из-за которой события, которые должны были отсеиваться (так как происходили на краях детектора), входили в итоговую статистику.

2.2 ОПИСАНИЕ ВХОДНОГО ФОРМАТА ДАННЫХ

Каждому пролету частицы через детектор соответствует широкий набор измеряемых величин. Перечислим важные для последующего анализа параметры и понятия, употребляемые в работе.

Кластер – набор сработавших пикселей, объединённых в единый объект при помощи алгоритма кластеризации. Существует 2 алгоритма кластеризации: первый объединяет в кластер сработавшие пиксели, имеющие только общую грань (Sides Only), второй объединяет в кластер пиксели, имеющие не только общую грань, но и общий угол (Sides Plus Corners).

Размер кластера пучковой частицы – это число, равное количеству пикселей, которые входят в состав кластера с наибольшим энерговыделе-

нием. Кластер с наибольшим энерговыделением и является кластером пучковой частицы.

Размер вторичных кластеров – это количество пикселей, входящих в состав каждого вторичного кластера данного события. Вторичными кластерами считаются все кластеры этого события, кроме кластера пучковой частицы. В идеальных условиях каждому вторичному кластеру тождественен фотон переходного излучения.

Также в массиве входных данных мы имеем такие параметры как энерговыделение в кластере, количество вторичных кластеров и тип частицы - определенный при помощи внешней системы определения частиц (PID).

2.3 ОЧИСТКА ДАННЫХ ОТ ФОНОВЫХ СОБЫТИЙ

Так как эксперимент проводится не в идеальных условиях, кроме событий, соответствующих пролету одной частицы через детектор, существуют события не имеющие отношения к анализу и загрязняющие массив данных. К ним относятся: пролет сразу нескольких пучковых частиц через детектор, пролет дельта электрона через детектор, ядерное взаимодействие пиона с веществом детектора, помехи в электронике. Для отсеивания фоновых событий наложим ограничения на такие параметры, как максимальный размер кластера, максимальное энерговыделение во вторичном кластере, минимальное энерговыделение в кластере пучковой частицы. Также выберем алгоритм кластеризации, при котором разница между фоновым и интересующим нас событием будет максимальна.

Из рисунка 2.1а следует, что для отсеивания фоновых событий лучше подходит алгоритм кластеризации «Sides Plus Corners», так как при нем предполагаемый след от дельта электрона будет объединён в аномально большой вторичный кластер, и при введении ограничения на размер кластера данное событие будет отброшено из последующего анализа.

При помощи гистограмм по перечисленным выше параметрам определим ограничения, которые необходимо наложить на соответствующие параметры.

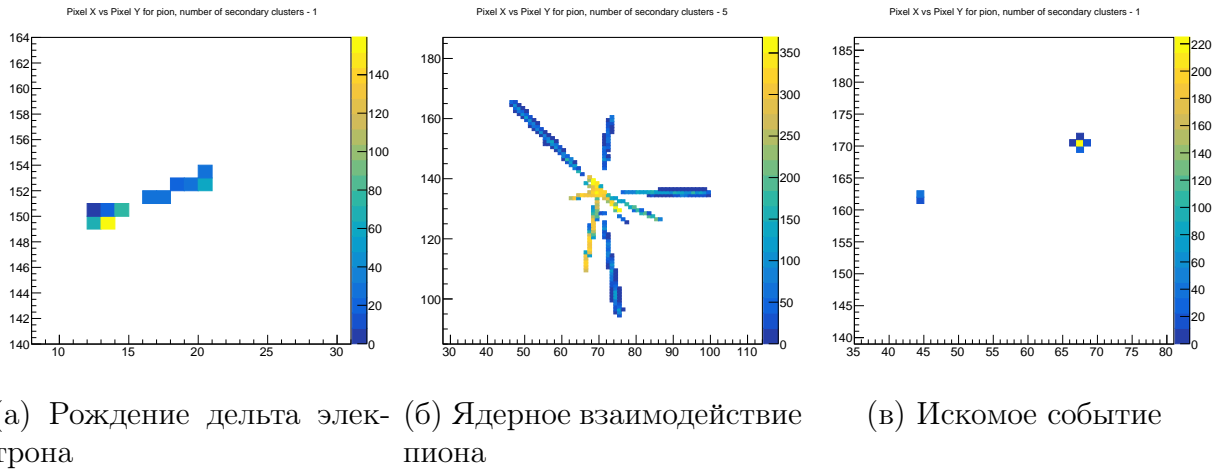


Рисунок 2.1 — Снимки событий (Цветом обозначено энерговыделение в каждом пикселе в кэВ)

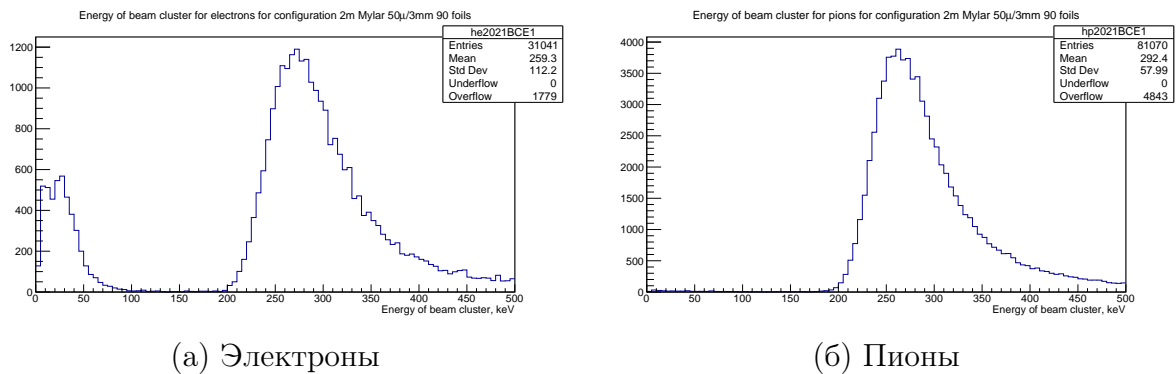
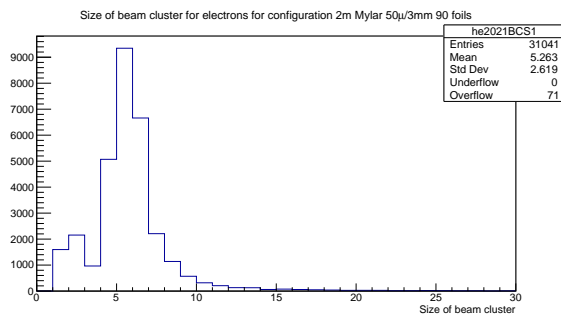


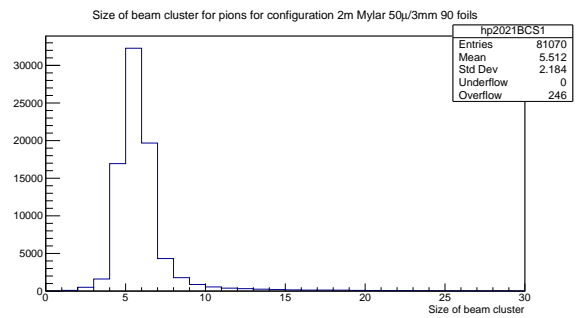
Рисунок 2.2 — Гистограммы энерговыделения в кластере пучковой частицы

Из рисунка 2.2а видно наличие двух пиков. Первый из них соответствует фотонам переходного излучения, которые, если сам электрон пролетел мимо детектора, будут определены как пучковая частица, а второй начинается с 200 кэВ, и соответствует интересующим нас электронам, - это значение и будет выбрано как наименьшее допустимое энерговыделение в кластере пучковой частицы.

Из рисунка 2.3 видны границы пиков. Выберем 9 пикселей как максимально возможный размер кластера частицы. Данное число обусловлено не только полученными гистограммами, но и представлением о форме кластера, который не должен быть больше квадрата 3 на 3 пикселя. Сделав аналогичные выводы из рисунков 2.4 и 2.5, выберем максимальное энерговыделение во вторичном кластере 100 кэВ, а максимальный размер 4 пикселя.

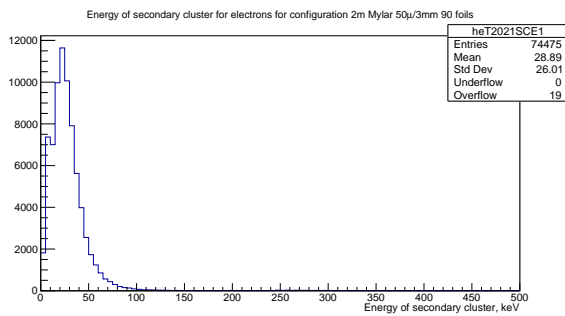


(а) Электроны

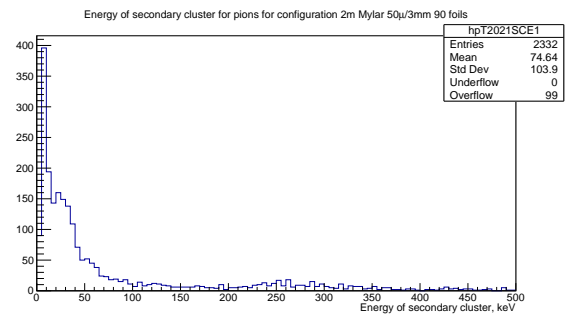


(б) Пионы

Рисунок 2.3 — Гистограммы размера кластера пучковой частицы в пикселях

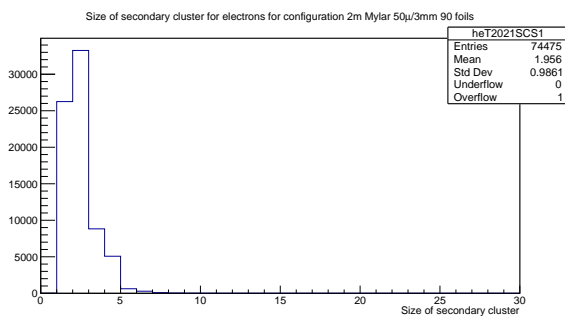


(а) Электроны

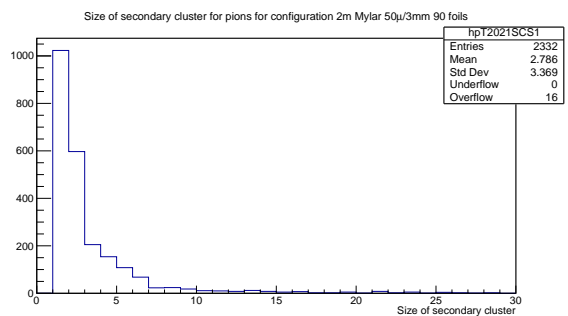


(б) Пионы

Рисунок 2.4 — Гистограммы энерговыделения во вторичных кластерах



(а) Электроны



(б) Пионы

Рисунок 2.5 — Гистограммы размера вторичных кластеров в пикселях

3 АНАЛИЗ РЕЖЕКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 ПОНЯТИЕ РЕЖЕКЦИИ, ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ЕЕ УЛУЧШЕНИЯ

Режекция – это эффективность детектора по выделению одного типа частиц на фоне других. В нашем случае, это выделение электронов на фоне пионов. Нужно провести отбор так, чтобы максимальное число электронов его прошло, и наибольшее число пионов не смогло. В качестве параметра отбора будет использовано количество переходных фотонов. Так, например, все события, в которых количество вторичных кластеров больше или равно 2, будут считаться электронными, а остальные пионными. Выбор данного параметра становится очевидным при ознакомлении с рисунком 3.1. Так как испускание фотона переходного излучения заряженной частицей при пересечении раздела сред является случайным процессом, то распределение количества этих фотонов должно соответствовать распределению Пуассона: $P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$. Из рисунка 3.1 видно, что параметр распределения Пуассона λ сильно различается для электронов и пионов.

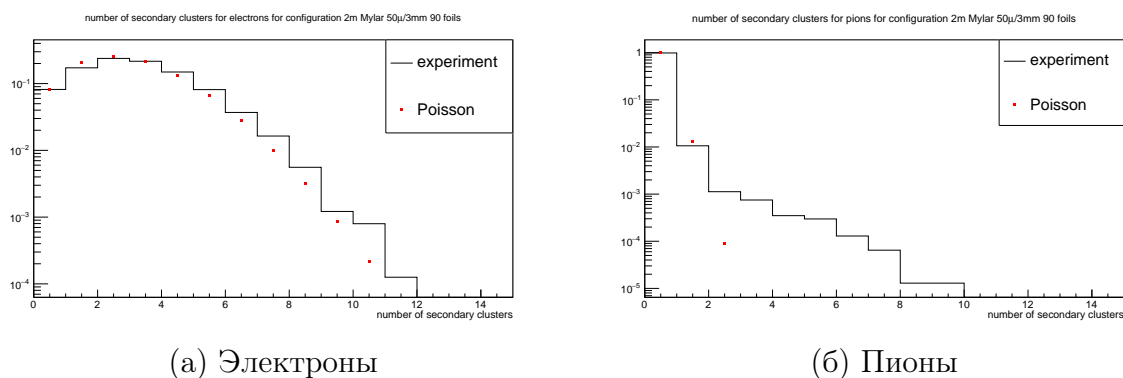


Рисунок 3.1 — Гистограммы количества вторичных кластеров

Для визуализации режекционных параметров для различных радиаторов будут использоваться графики, подобные рисунку 3.2, где по оси x отложена эффективность регистрации электронов, а по оси y эффективность регистрации пионов. Для экспериментальной кривой ошибка считалась по формуле для биномиального распределения. Очевидно, что чем ниже идет кривая, тем лучше режекция детектора. Видно, что возможно улучшение режекции, так как экспериментальная кривая идет выше теоретической.

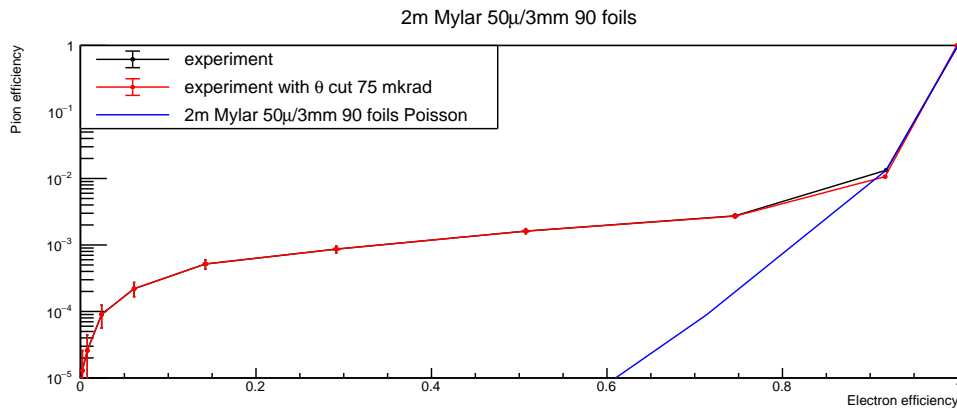


Рисунок 3.2 — График эффективности регистрации пионов от эффективности регистрации электронов

Проверим предположение о том, что режекцию можно улучшить, если ввести дополнительный параметр отбора, связанный с углом вылета переходного фотона относительно импульса частицы. Из рисунка 3.3 видно, что пики угла вылета для электронных событий и пионных находятся в разных точках - это связано с тем, что угол вылета переходного фотона имеет зависимость от γ . Введем дополнительный параметр отбора. Будем считать, что частица, у которой все переходные фотоны вылетели под углом меньше 75 мкрад., является пионом. Из рисунка 3.2 видно, что ввод данного параметра отбора мало влияет на режекцию, из чего следует, что предположение о возможном улучшении режекции при помощи отбора по углу вылета переходного фотона неверно, для использовавшихся в эксперименте радиаторов при энергии пучка 20 ГэВ.

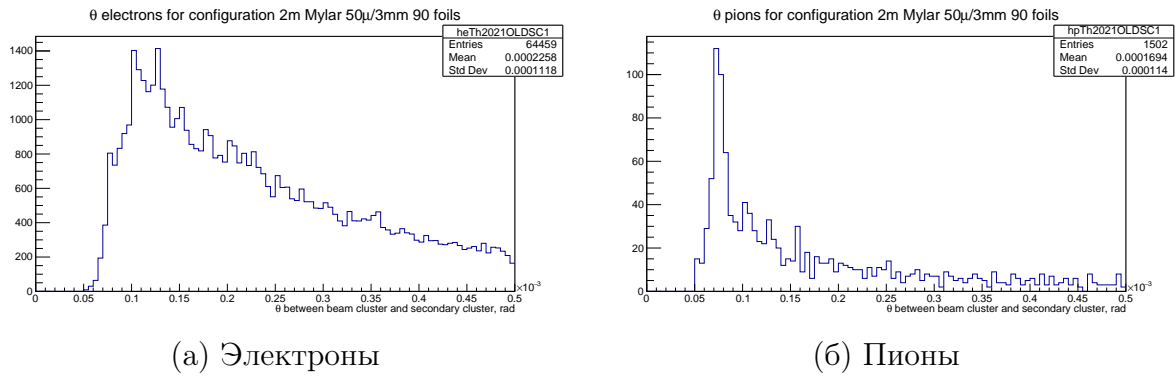
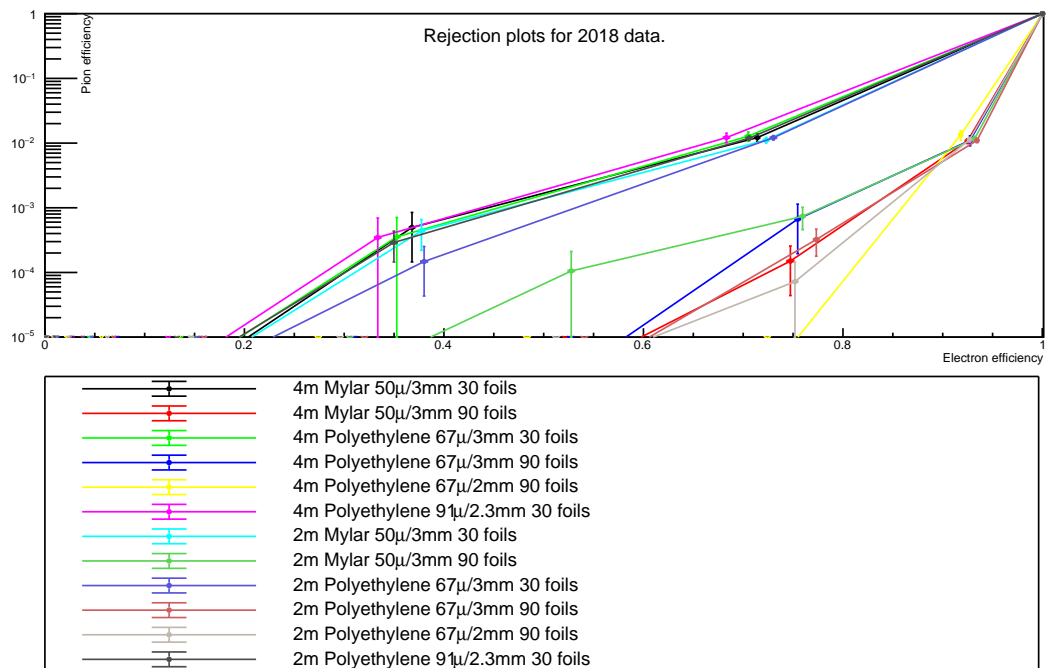


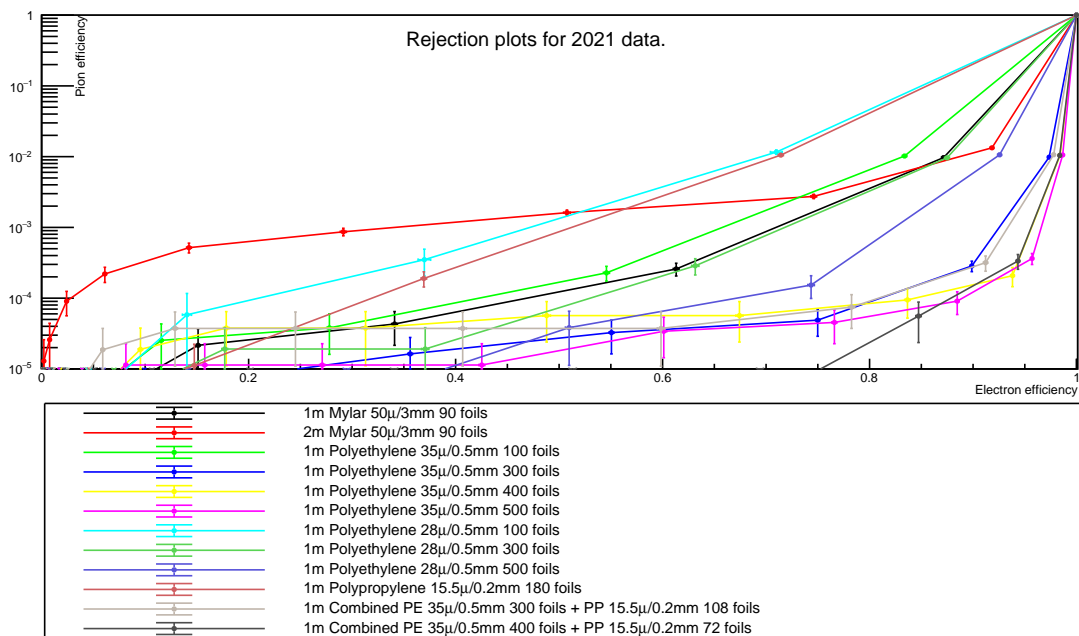
Рисунок 3.3 — Гистограммы угла вылета фотонов переходного излучения

3.2 ИЗУЧЕНИЕ РЕЖЕКЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАДИАТОРОВ

Детектор переходного излучения состоит из двух частей: детектирующей пластины с Timerix3 чипом и радиатора. Радиатор представляет из себя набор тонких пленок из различных материалов, расположенных на определенных расстояниях друг от друга. Радиатор определяется четырьмя параметрами: толщиной пленки, материалом пленки, расстоянием между пленками, количеством пленок, расстоянием от радиатора до детектирующей плоскости. Во время измерений 2018 и 2021 года проводилось изучение различных радиаторов. На рисунке 3.4 приведены режекционные кривые для различных конфигураций радиаторов. На рисунке 3.4а видно, что режекционная кривая не имеет сильной зависимости от расстояния между радиатором и детектирующей плоскостью. Видно, что режекционные параметры тем лучше, чем больше пленок, хотя большее количество пленок подразумевает и большее поглощение в них сгенерированного переходного излучения. Из рисунка 3.4б видно, что полипропиленовый радиатор показывает себя хуже, чем полиэтиленовый.



(а) Данные 2018 года



(б) Данные 2021 года

Рисунок 3.4 — График эффективности регистрации пионов от эффективности регистрации электронов для различных радиаторов. Параметры радиатора записываются в формате «расстояние до детектирующей плоскости, материал, толщина пленки, расстояние между пленками, количество пленок»

3.3 ПРОВЕРКА КОРРЕКТНОСТИ ДАННЫХ

Сравним данные, полученные в разных годах для одной и той же конфигурации радиатора. В идеальной ситуации все полученные графики и гистограммы для данных 2018 года и 2021 должны совпадать. Проанализируем конфигурацию радиатора, располагающегося на расстоянии двух метров от детектирующей плоскости, состоящего из 90 майларовых пленок толщиной в 50 мкм и с межплёночным расстоянием в 3мм. Из рисунка 3.5 видно расхождение в распределении количества вторичных кластеров для пионных событий, оно может быть объяснено как нехваткой статистики в данных 2018 года, так и ошибочной регистрацией электронов как пионов в данных 2021 года.

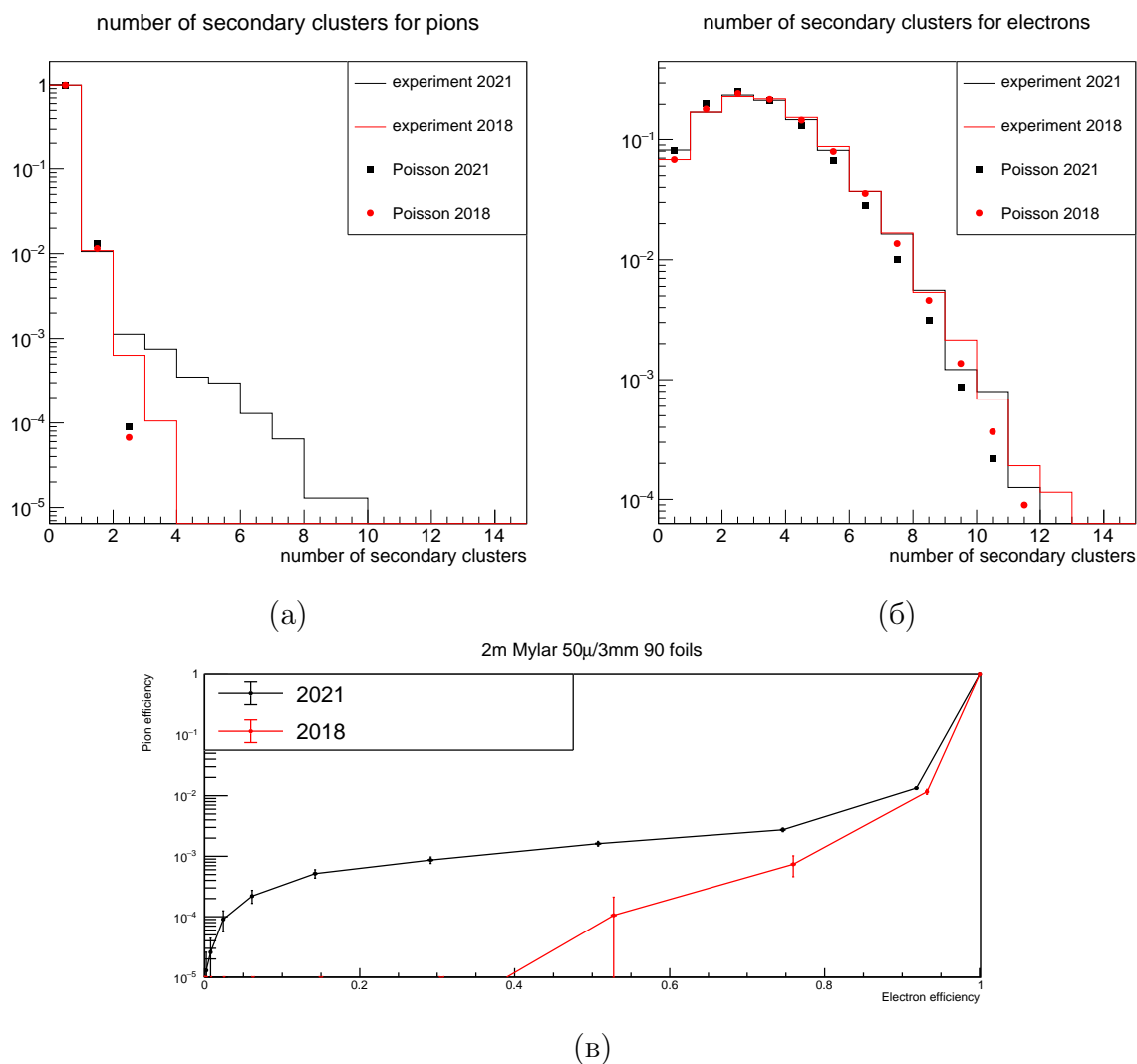


Рисунок 3.5 — Гистограммы количества вторичных кластеров для пионных а и электронных б событий, режекционная кривая в

В пользу предположения об ошибочной регистрации системой PID электронов как пионов говорят построенные снимки событий. Были построены снимки всех событий для данного радиатора 2021 года с количеством вторичных кластеров больше 4. После анализа полученных рисунков не было обнаружено ни одного ложного срабатывания. Окончательно проверить предположение о некорректной работе системы PID не получится, так как для этого нужно понимать какому сигналу с полупроводникового детектора соответствует набор сигналов с системы PID. Однако, как было описано выше, запись данных с системы PID и с чипа Timerix3 идут независимо и сопоставить эти данные не представляется возможным. Некорректная работа системы PID в 2021 году, из-за которой некоторые электронные события регистрировались как пионные, скорее всего связана с плохой работой черенковского детектора в экспериментальной установке.

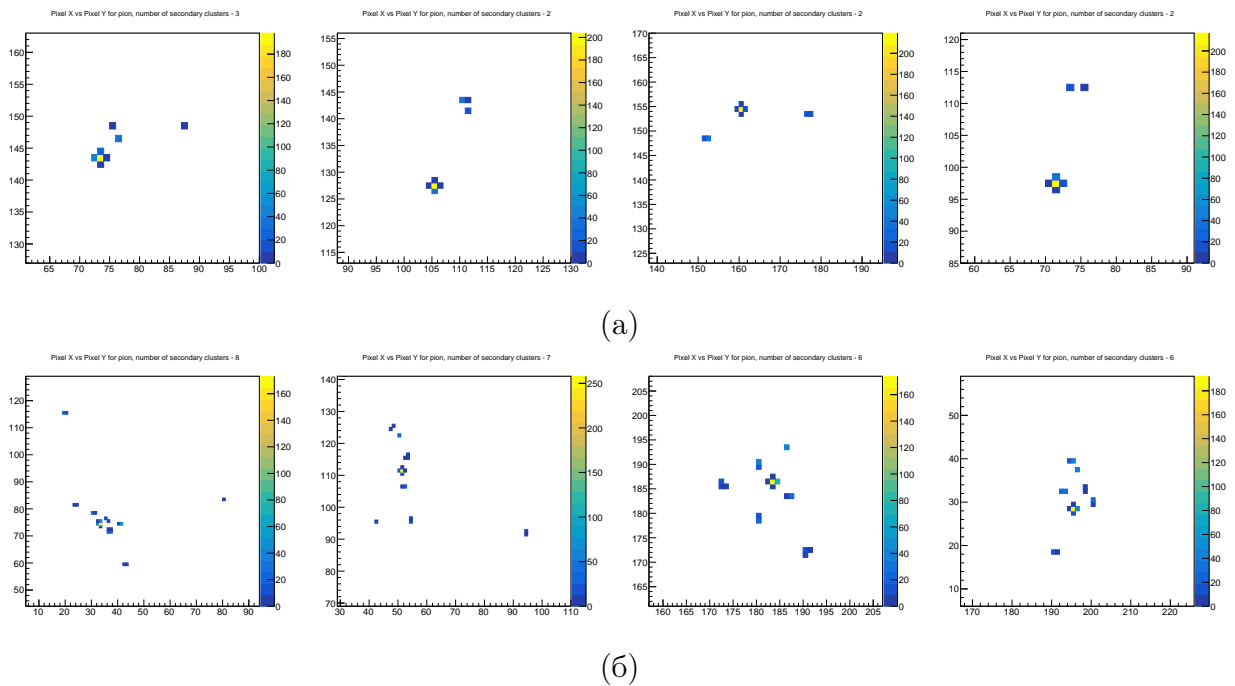


Рисунок 3.6 — Снимки событий с наибольшим числом вторичных кластеров для радиатора из майлара, состоящего из 90 пленок с толщиной пленки 50 мкм и межплёночным расстоянием 3 мм для данных 2018 года а, и 2021 года б

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были определены параметры отделения фоновых событий от иско-
мых. Построены режекционные кривые для различных радиаторов пере-
ходного излучения. Из полученных данных был сделан вывод, что сильнее
всего на режекционные свойства влияет количество пленок в радиаторе.
Для наилучших конфигураций (например, полиэтилен 35мкм/0.5мм 500
пленок) были достигнуты значения $\sim 10^{-4}$ ошибочно зарегистрированных
пионов при сохранении 90% электронных событий. Радиаторы, используе-
мые в эксперименте 2018 года, в среднем, оказались хуже, чем радиаторы,
используемые в 2021 году. Это связано с тем, что в 2021 году использовались
радиаторы с большим количеством пленок.

В ходе анализа была выработана рекомендация для последующих по-
добных экспериментов. Нужно доработать триггерную логику таким обра-
зом, чтобы сигналы с детекторов системы PID записывались совместно
с данными, идущими от пиксельного детектора. При такой конфигурации
будет возможно сопоставить амплитуды с детекторов PID со снимком собы-
тия и проверить, насколько корректно был определен тип частицы. Также
появится возможность программно изменять порог амплитуды для сигнала
с детекторов PID, разделяющий пионы и электроны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Albrow M.* A Very Forward Hadron Spectrometer for the LHC and Cosmic Ray Physics // PoS. — 2018. — Vol. EDSU2018. — P. 048.
2. A concept of the transition radiation detector for a hadron separation in a forward direction of the LHC experiments / N. Belyaev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — Vol. 1690, no. 1. — P. 012043.
3. Studies of the spectral and angular distributions of transition radiation using a silicon pixel sensor on a Timepix3 chip / J. Alozy [et al.] // Nucl. Instrum. Meth. A. — 2020. — Vol. 961. — P. 163681.
4. Transition radiation measurements with a Si and a GaAs pixel sensor on a Timepix3 chip / F. Dachs [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2020. — Vol. 958. — P. 162037.
5. Registration of the transition radiation with GaAs detector: Data/MC comparison / J. Alozy [et al.] // J. Phys. Conf. Ser. / ed. by P. Teterin. — 2020. — Vol. 1690, no. 1. — P. 012041.
6. Timepix3: a 65K channel hybrid pixel readout chip with simultaneous ToA/ToT and sparse readout / T. Poikela [et al.] // Journal of Instrumentation. — 2014. — Vol. 9, no. 05. — P. C05013–C05013.