

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
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕЖЕКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТЕКТОРА
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ПО ВЫДЕЛЕНИЮ
ЭЛЕКТРОНОВ И АДРОНОВ.**

Научный руководитель
доцент

_____ С. Ю. Смирнов

Студент

_____ В. С. Попов

Москва 2022

Содержание

Введение	3
Актуальность	3
Цель работы	4
1 Описание экспериментальной установки	4
2 Предварительный анализ программного обеспечения	4
3 Изучение формы распределения количества фотонов переходного излучения	5
4 Изучение зависимости режекционных свойств от максимального размера кластера	6
5 Оценка максимально возможных значений режекционных параметров	8
6 Вывод	8

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 (γ). 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 θ от γ .

Актуальность

Столкновение адронов с адронами при $\sqrt{s} = 13 \text{ ТэВ}$ и малым поперечным импульсом 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 γ способен эффективно работать при таких энергиях. Для данного эксперимента необходимо что бы детектор работал в диапазоне от $\gamma = 10^3$ для 1Тэв p до $\gamma = 3.6 * 10^4$ для 5 ТэВ π . Измерение гамма-фактора с точностью в 10% должно дать возможность корректно разделять π , K и p . Так как интенсивность переходного излучения имеет пороговую зависимость от гамма-фактора его определение при помощи распределения по интенсивности практически невозможно, однако угловое распределение фотонов имеет непрерывную зависимость от гамма-фактора, поэтому в ходе данного эксперимента предполагается использовать детектор переходного излучения, определяющий гамма-фактор по углу распространения излучения. Для возможности получения и углового, и энергетического спектра одновременно используется пиксельный детектор.

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 толщина пластин, детектор позволяет работать в большом диапазоне гамма-факторов.

Цель работы

Целью данной работы является изучение режекционных характеристик детектора переходного излучения и поиск путей возможного улучшения этих параметров, а также оценка максимально возможных значений режекционных параметров для различных радиаторов.

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 256×256 пикселей с шагом пикселя в 55 мкм. За детектором располагается ливневый детектор и калориметра из свинцового стекла, перед детектором находится черенковский детектор. Все они вместе образуют систему определения частицы. В статье [3] описываются результаты измерений 2018 года. Данные, анализируемые в этой работе так же были получены в 2018 году.

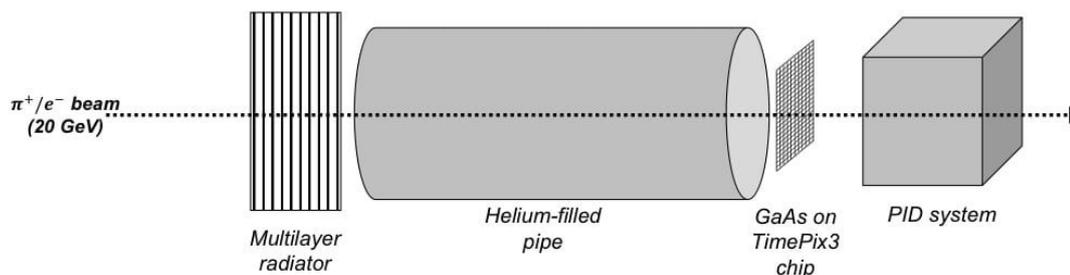


Рисунок 1 — Схема экспериментальной установки

2 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 даны 2018 года обрабатывались только программой, написанной в том же году, однако обработав данные программой 2020 годы было выявлено несоответствие по количеству итоговых данных. Проведя анализ 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.

3 Изучение формы распределения количества фотонов переходного излучения

Так как испускание фотона переходного излучения заряженной частицы при пересечении раздела сред является случайным процессом то распределение количества этих фотонов должно соответствовать распределению Пуассона. Были построены гистограммы количества вторичных кластеров для пионов и электронов по данным сеанса измерений №31 2018 года. В статистику входили только события для которых энергия кластера, соответствующего частицы, была больше 200 КэВ. Вторичный кластер — это набор сработавших пикселей детектора, не соответствующий самой частице, прошедшей через детектор. В идеальных условиях вторичные кластеры были бы тождественно равны фотонам переходного излучения однако, как видно из рисунка 2 распределения отличаются от Пуассоновских в зонах наибольшего числа срабатываний вторичных кластеров, это может быть связано с наличием дельта электронов, шумами электроники и прочими ложными срабатываниями пикселей детектора. Наличие этого расхождения ухудшает режекционные свойства установки.

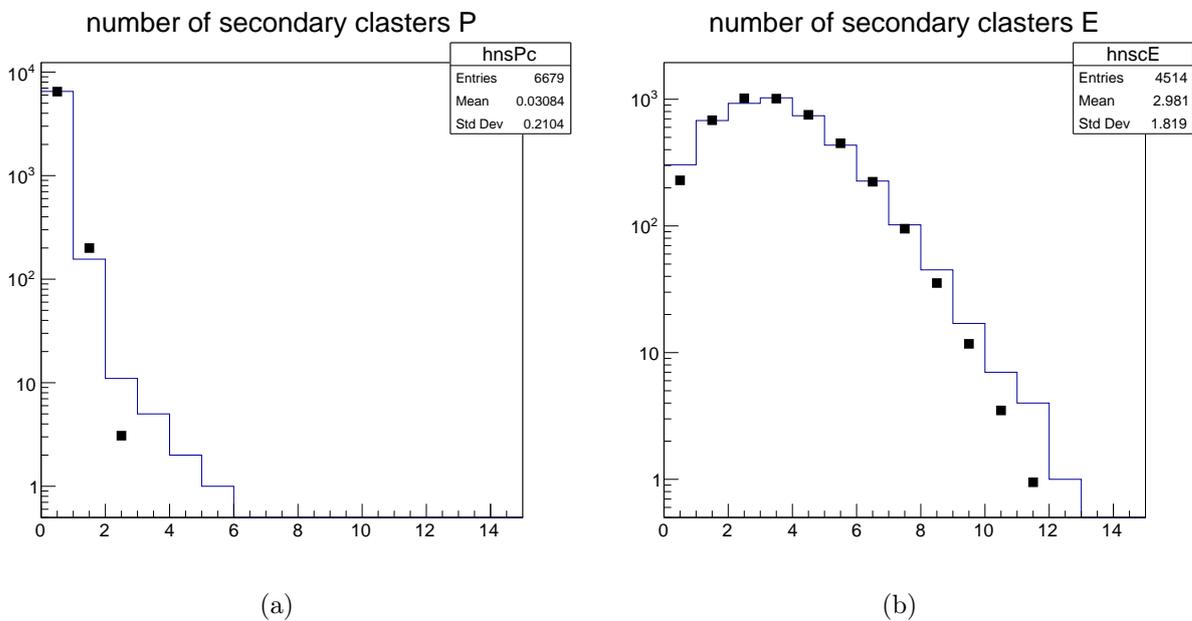


Рисунок 2 — Гистограммы количества вторичных кластеров (синий) Распределение Пуассона с соответствующим средним (черные точки) в логарифмическом масштабе.

Частичного удаления не Пуассоновского хвоста можно добиться при помощи введения дополнительных ограничений на события. Так на рисунке 3 представлены такие же гистограммы, однако, в этот раз на данные было наложено ограничение что размер кластера частицы должен быть меньше 15 пикселей. Видно меньшее расхождение с распределением Пуассона, на основании этих данных было сделано предположение что режекционные свойства детектора можно улучшить при помощи наложения программного ограничения на максимальный размер кластера частицы.

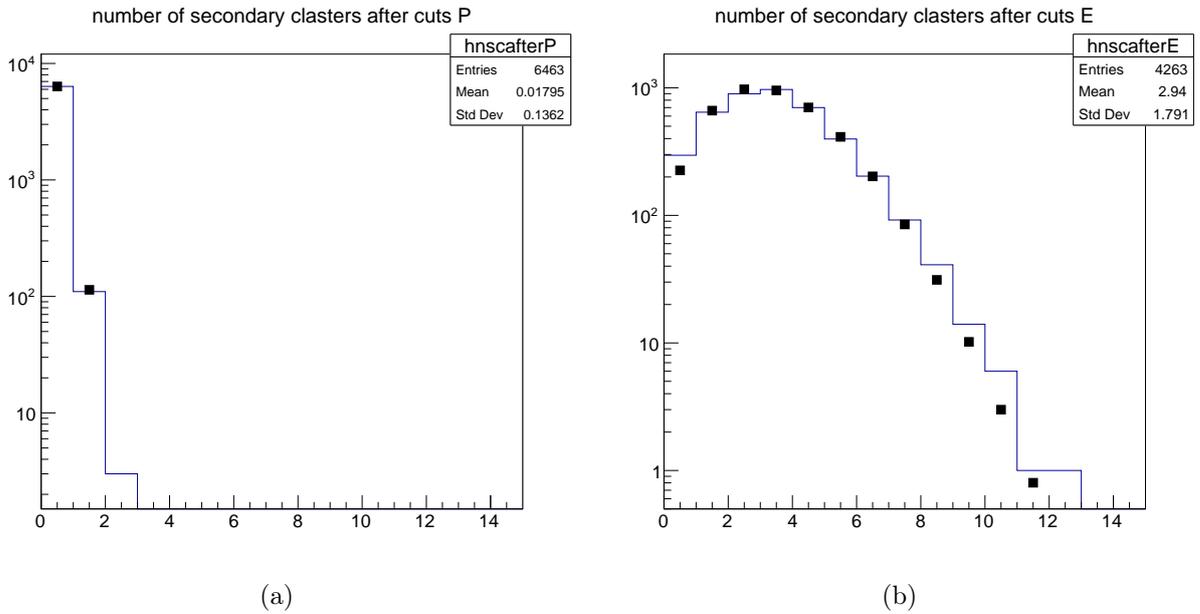
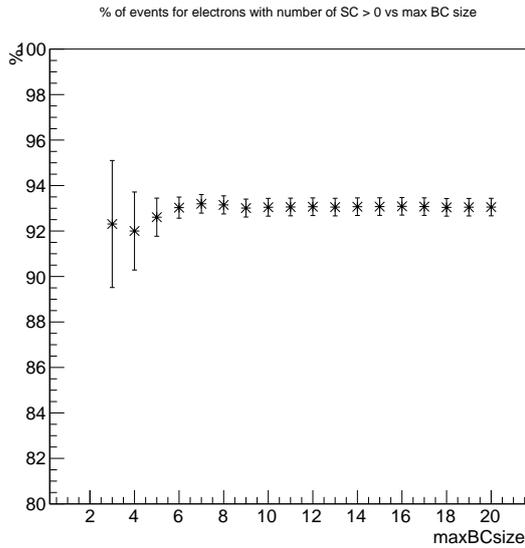


Рисунок 3 — Гистограммы количества вторичных кластеров (синий) Распределение Пуассона с соответствующим средним (черные точки) в логарифмическом масштабе.

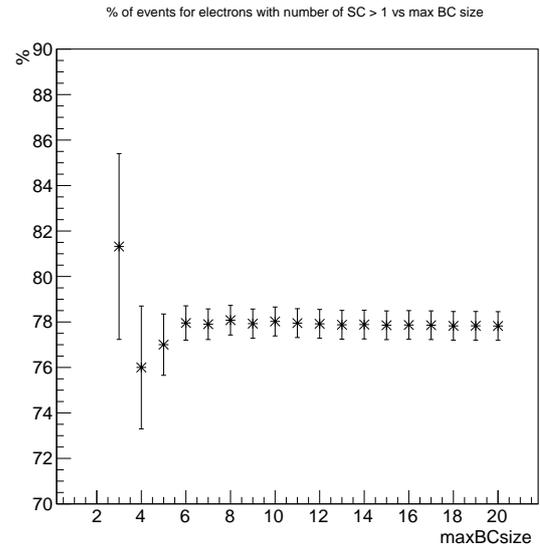
4 Изучение зависимости режекционных свойств от максимального размера кластера

Для отделения одного типа частиц от других нужно выбрать параметр, по которому это процесс будет производиться. В данном случае за данный параметр было выбрано количество вторичных кластеров, так на пример все события в ходе которых было зафиксировано более 2 вторичных кластеров будут считаться электронными остальные соответственно пионными. Улучшение режекционных параметров в данном контексте подразумевает под собой увеличение процента электронов, для которых количество вторичных кластеров более 2 и уменьшение числа пионов, для которых это количество так же более 2 при этом нужно минимизировать потерю статистики.

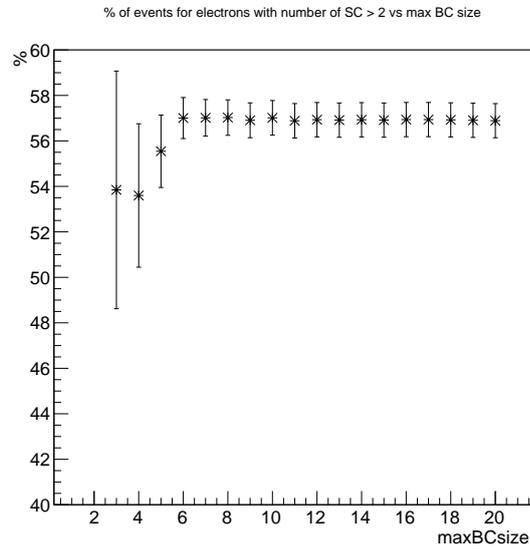
Были построены графики зависимости доли событий, у которых вторичных кластеров больше 0, 1 или 2 от максимально допустимого размера кластера частицы. Погрешность графиков посчитана для биномиального распределения.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 4 — Графики зависимости доли событий с количеством вторичных кластеров больше 0 (a), 1 (b), 2 (c), от максимально допустимого размера кластера частицы для электронов.

Из полученных графиков видно, что зависимость режекционных свойств детектора от ограничений, накладываемых на максимальный размер кластера частицы, лежит в пределах ошибки, из чего можно сделать вывод о том что вводимые ограничения на максимальный размер кластера частицы не влияют на эффективность отбора электронов.

5 Оценка максимально возможных значений режекционных параметров

Так как количество переходных фотонов распределено по Пуассону, можно провести оценку максимально возможных режекционных свойств, для этого необходимо построить распределения Пуассона для различных средних значений для различных конфигураций радиатора полученных из эксперимента, и определить процент площади распределения лежащего правее определенного значения количества сработавших вторичных кластеров.

Конфигурация		Кол. фотонов		
		0	1	2
1	e	71.2%	35.4%	13.1%
	π	0.83%	0.003%	$9 * 10^{-6}\%$
	Режекция	85	$1.2 * 10^4$	$1.4 * 10^6$
2	e	99.4%	97.0%	90.6%
	π	0.95%	0.005%	$1.4 * 10^{-5}\%$
	Режекция	105	$1.9 * 10^4$	$6.4 * 10^6$
3	e	94.9%	79.8%	57.3%
	π	3.0%	0.05%	$4 * 10^{-4}\%$
	Режекция	32	$1.6 * 10^3$	$1.4 * 10^5$
	e (Эксп)	$93.1 \pm 0.3\%$	$77.8 \pm 0.6\%$	$56.8 \pm 0.7\%$
	π (Эксп)	$1.8 \pm 0.2\%$	$0.08 \pm 0.03\%$	$0.03 \pm 0.02\%$
	Режекция	52 ± 5	1000 ± 300	2000 ± 1000

Таблица 1 — Доля событий число вторичных кластеров в которых больше 0, 1 и 2.

В таблице 1 приведен оценочные значения максимальных режекционных параметров для различных конфигураций детектора. Режекция вычислялась как отношение e/π . Ошибка для экспериментальных данных считалась как ошибка биномиального распределения.

Конфигурация 1 – радиатор из майлара состоит из 30 пленок толщиной 50 мкм и шагом в 3 мм.

Конфигурация 2 – радиатор из полиэтилена состоит из 500 пленок толщиной 35 мкм и шагом в 0.5 мм.

Конфигурация 3 – радиатор из майлара состоит из 90 пленок толщиной 50 мкм и шагом в 3 мм.

6 Вывод

Была проанализирована зависимость режекционных параметров от размера кластера частицы. Зависимость оказалась лежащей в пределах ошибки из чего следует сделать вывод о том что вводимые ограничения на максимальный размер кластера частицы не влияют на эффективность отбора электронов. Были получены оценочные значения максимальных режекционных свойств при разделении частиц по количеству фотонов переходного излучения. Наилучшая режекция $\sim 10^6$ была достигнута в конфигурации с радиатором из полиэтилена состоящего из 500 пленок толщиной 35 мкм и шагом в 0.5 мм. Эти значения могут использоваться в будущем для проверки эффективности данного метода определения частиц.

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.