

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 физики элементарных частиц (№40)

УДК 539.12.01

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Изучение работы вспомогательных детекторов по идентификации частиц для
оценки качества их отбора для эксперимента 2021 г. по тестированию детектора
переходного излучения

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

Смирнов С.Ю.

Студент

Токарева П.С.

Москва 2022

Содержание

1	Введение	2
1.1	Переходное излучение	2
1.2	Цели и задачи работы	2
1.3	Актуальность работы	2
2	Описание эксперимента	3
2.1	Система PID	3
2.2	Набор данных	4
2.3	Пакеты программ	4
3	Обработка данных	4
3.1	Изучение спектров амплитуд пионов и электронов	4
3.2	Анализ спектров счетчиков Scint 2, Scint 3 и Multiplicity	5
4	Заключение	5

1 Введение

1.1 Переходное излучение

Переходное излучение (ПИ) - это форма электро-магнитного излучения, которое возникает при пересечении заряженной частицей границы раздела двух сред с отличающимися диэлектрическими проницаемостями, было предсказано впервые Л.Гинзбургом и И.Франком ещё в 1945 году. [4] ПИ возникает по обе стороны границы раздела среды и обусловлено изменением поля частицы при переходе из одной среды в другую.

В случае ультррелятивистских частиц ($\gamma = E/m \gg 1$) формируется узконаправленное ПИ, основная энергия которого расположена в рентгеновской области спектра, причём данная энергия обладает достаточно резкой зависимостью от Лоренц-фактора частицы.

Детекторы переходного излучения (TRDs) широко используются для регистрации ультррелятивистских заряженных частиц. Используя большинство детекторов можно идентифицировать частицы с γ -фактором от ~ 500 и до $\sim 2 - 3 \cdot 10^3$. Однако же, для многих экспериментов требуется идентификация частиц с $\gamma \sim 10^5$, что сложно сделать используя детекторы, основанные лишь на измерении энергии излучения. Дополнительную информацию о Лоренц-факторе можно получить из углового распределения переходных фотонов. Детекторы переходного излучения, основанные на пиксельных детекторах дают уникальную возможность для точных измерений спектральных и угловых распределений ПИ. [5]

1.2 Цели и задачи работы

Целью работы является анализ данных с системы определения частиц, а именно: выделение в смешанном пучке пионов и электронов с энергией 20 Gev при помощи 3-х детекторов: черенковского (Cherenkov), ливневого (PreShower) и калориметра из свинцового стекла (LeadGlass).

1.3 Актуальность работы

На данный момент столкновения между адронами при высокой энергии взаимодействия (\sqrt{s}) под малыми углами изучены мало, но в то же время играют большую роль в понимании фундаментальных процессов Квантовой хромодинамики, а также позволяют расширить описание и понимание взаимодействия частиц с ультра-высокими энергиями. Одним из исследований в данной области является эксперимент по изучению рассеивания адронов под малыми углами и образованию заряженных адронов в адрон-адронных взаимодействиях. На данный момент такие исследования проводились с энергией столкновения не более $\sqrt{s} = 63 \text{ ГэВ}$ [1].

Данный эксперимент в первую очередь включает в себя создание адронного спектрометра Very Forward Hadron Spectrometer (VFHS) на основе детектора пере-

ходного излучения. Для данного эксперимента необходимо что бы детектор работал в диапазоне от $\gamma = 10^3$ для 1ТэВ и до $\gamma = 3.6 * 10^4$ для 5 ТэВ π [2]. Измерение Лоренц-фактора с точностью в 10 % должно дать возможность корректно разделять π , K и p .

2 Описание эксперимента

Установка представляет из себя: многослойный радиатор, находящийся на расстоянии порядка 2 м от детектора, трубу, заполненную гелием для предотвращения поглощения фотонов переходного излучения, сенсора из компенсированного хромом GaAs толщиной 500 мкм соединенного с чипом, использующимся как детектор. За детектором располагается система определения частиц Particle Identification detectors (PID).[3]

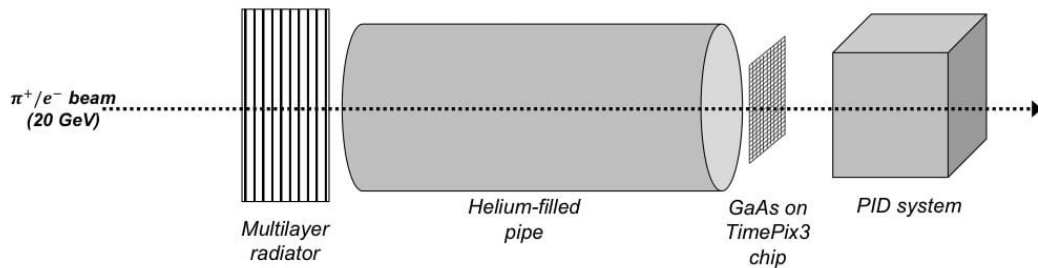


Рис. 1: Схема установки

2.1 Система PID

Система определения частиц состоит из следующих составляющих:

- Черенковский детектор (Cherenkov detector), или детектор черенковского излучения, - прибор для регистрации заряженных частиц. Принцип работы основан на регистрации излучения Вавилова-Черенкова, возникающего при движении заряженной частицы в прозрачной среде со скоростью, большей скорости света в данной среде.
- Ливневой детектор (PreShower detector) состоит из свинцовой пластины толщиной 5 мм и сцинтиллятора толщиной 20 мм. Электроны за счёт более раннего развития электромагнитного ливня в поглотителе (а именно свинце) успевают выделить большую энергию в сцинтилляторе, чем пионы, что помогает по амплитуде сигнала отделить один сорт частиц от другого.

- Калориметр из свинцового стекла (LeadGlass Calorimeter). Калориметры предназначены главным образом для измерения полной энергии (в том числе и нейтральных) частиц. Попав в вещество калориметра частица рождает электромагнитный или адронный ливень, передавая им свою энергию. Чем больший процент ливня поглотится в калориметре, тем точнее будет измерена энергия. Важно отметить, что калориметры чувствительны как к заряженным, так и к нейтральным частицам. Калориметр из свинцового стекла относится к типу гомогенных, т.е. поглощающий материал одновременно является детектирующим. Основное преимущество гомогенных детекторов – хорошее энергетическое разрешение, что связано с тем, что вся энергия падающей частицы поглощается в активной (детектирующей) среде.

2.2 Набор данных

В ходе работы производился анализ данных с PID летнего сеанса измерений 2021 года. В ходе эксперимента на установку был направлен смешанный пучок пи-мезонов и электронов с энергией 20 GeV. Каждое событие прохождения частицы через установку регистрировалось детекторами, в результате чего суммарно записывалось 12 параметров, а конкретно: 6 амплитуд сигналов с каждого из детекторов, времена прихода сигналов сцинтилляционных детекторов и флаги триггерной системы.

2.3 Пакеты программ

Для анализа данных был использован пакет программ и библиотек ROOT.

3 Обработка данных

3.1 Изучение спектров амплитуд пионов и электронов

На первом этапе работы были построены двухмерные гистограммы зависимости амплитуды одного детектора от амплитуды другого для каждой пары детекторов: Cherenkov vs LeadGlass, PreShower vs Cherenkov, LeadGlass vs PreShower, т.е. гистограммы для всех событий и для сработавших триггерных флагов, по которым наглядно можно увидеть диапазоны фиксации детекторами электронов и пионов. Данные гистограммы представлены на рисунке 2.

Диапазоны сигналов представлены ниже:

- Для Ливневого детектора сигнал от электрона лежит в области 1000 – 3800 , от пиона в области 300 – 600.
- Для Калориметра из свинцового стекла сигнал от электрона лежит в области 1500 – 1700, от пиона в области 200 – 900.

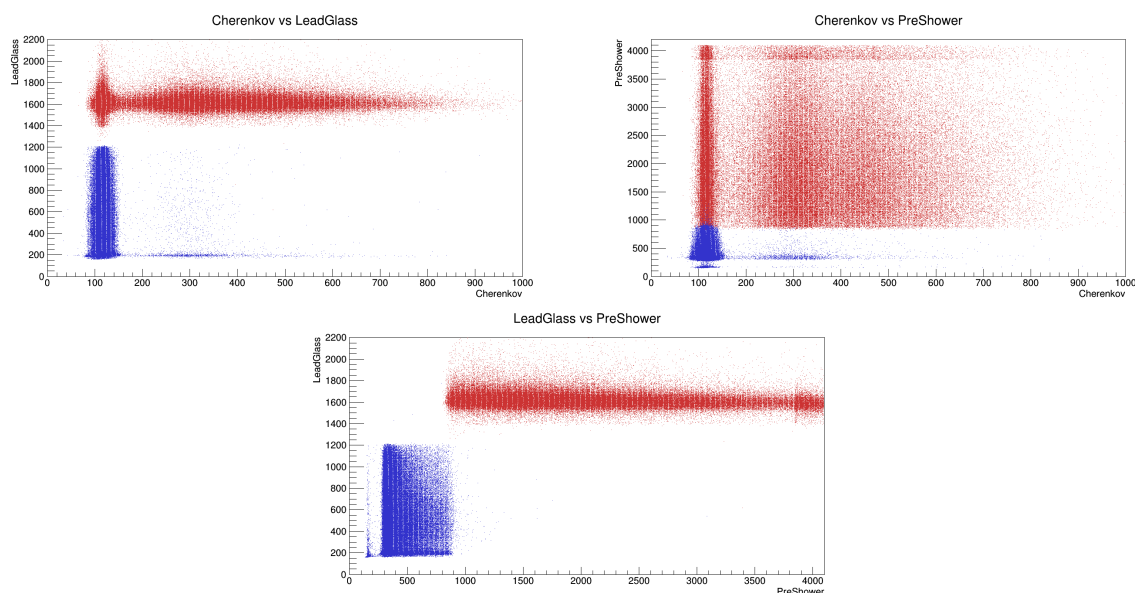


Рис. 2: Двухмерные гистограммы зависимости амплитуды одного детектора от амплитуды другого при срабатывании триггера на электрон(красный) либо пион(синий)

- Для Черенковского детектора сигнал от электрона лежит в области 250 – 650, от пиона в области 100 – 130.

3.2 Анализ спектров счетчиков Scint 2, Scint 3 и Multiplicity

На последнем этапе работы были построены спектры Scint 2, Scint 3 и Multiplicity для уточнения информации о включении счетчика множественности в триггерную систему в момент измерений. Достоверно известно, что до 450-го запуска измерений счетчик множественности не был включен. Для демонстрации этого приведены 450-й (до момента включения, рис. 3), 500-й (середина измерений, рис. 4), а также 544-й (конец измерений, рис. 5) запуски.

4 Заключение

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

1. Были проанализированы данные с системы идентификации частиц PID и по результатам были определены доверительные интервалы для амплитуд, с помощью которых можно определить тип пролетающей через выбранный детектор частицы;
2. Было обнаружено, что счётчик множественности не был включён в триггерную систему отбора событий. Этот факт приводит к вынужденному пересмотру и повторному анализу данных серии измерений 2021-го года, так как без корректно работающего счетчика множественности в финальные данные могли попасть

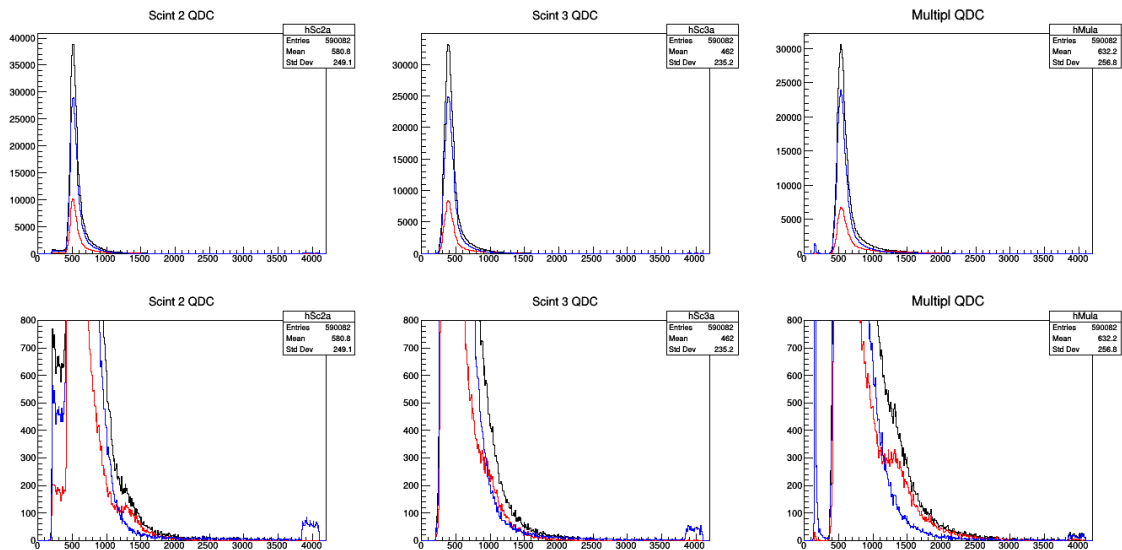


Рис. 3: Амплитудные спектры счетчика множественности(450-й запуск). Чёрный - все события без учёта триггера, красный - триггер сработал на электрон, синий - триггер сработал на пион

события с парными электронами, когда в свою очередь проводилось изучение переходного излучения только от одной заряженной частицы.

3. Было обнаружено, что даже после включения счётчика множественности не выполнялось аппаратное ограничение в 800 по шкале QDC, на деле же оно составило около 1000. Данное ограничение является слишком высокими и приводит к тому, что небольшая часть двойных событий всё же может появляться в наборе данных. Всё это приводит к созданию дополнительного критерия отбора событий при финальном анализе переходного излучения от одиночной частицы.

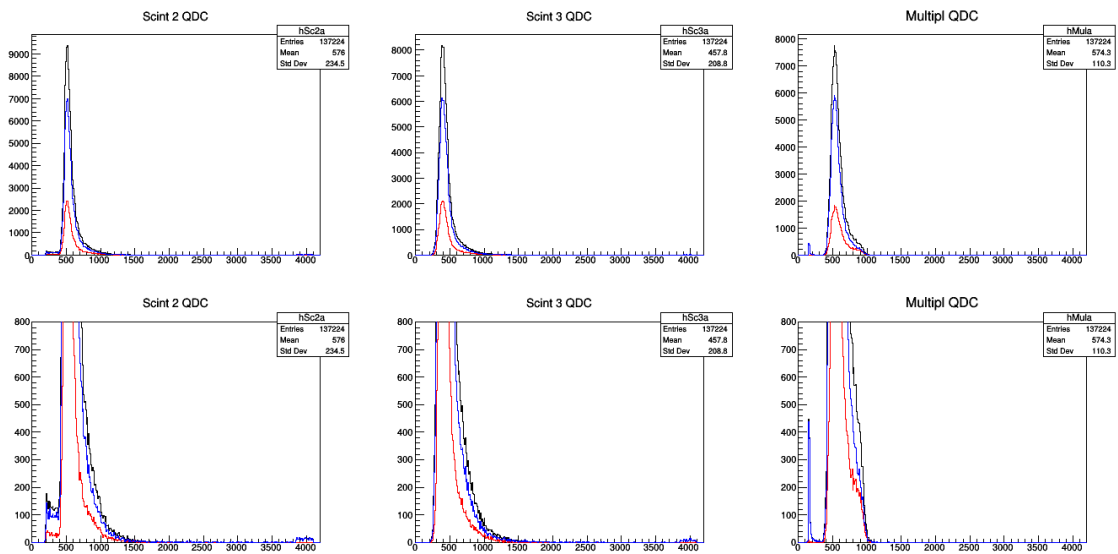


Рис. 4: Амплитудные спектры счетчика множественности(500-й запуск). Чёрный - все события без учёта триггера, красный - триггер сработал на электрон, синий - триггер сработал на пион

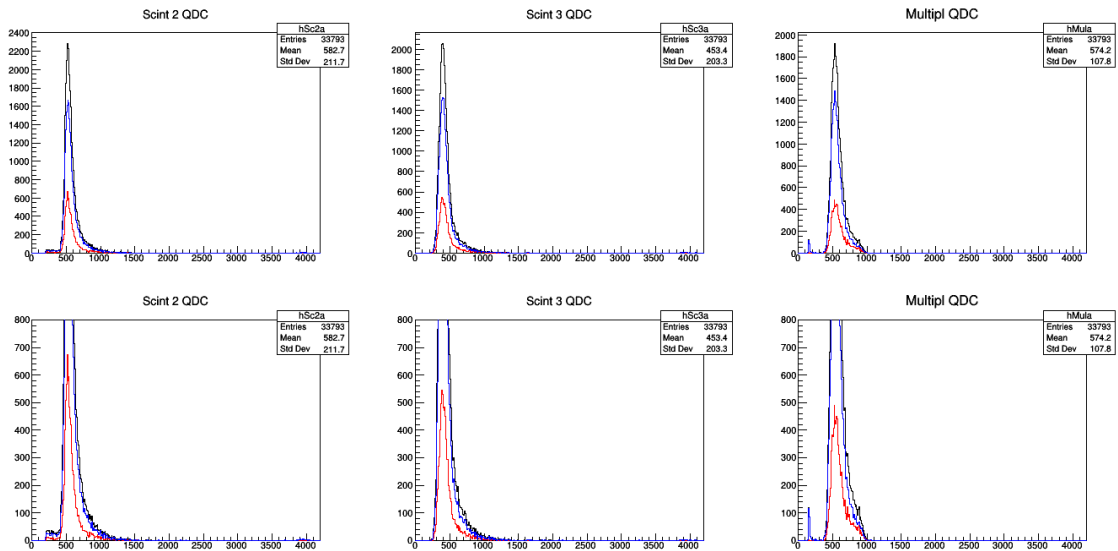


Рис. 5: Амплитудные спектры счетчика множественности(544-й запуск). Чёрный - все события без учёта триггера, красный - триггер сработал на электрон, синий - триггер сработал на пион

Список литературы

- [1] Michael Albrow. *A Very Forward Hadron Spectrometer for the LHC and Cosmic Ray Physics*. 2018. DOI: 10.48550/ARXIV.1811.02047. URL: <https://arxiv.org/abs/1811.02047>.
- [2] N Belyaev и др. «A concept of the transition radiation detector for a hadron separation in a forward direction of the LHC experiments». В: *Journal of Physics: Conference Series* 1690.1 (дек. 2020), с. 012043. DOI: 10.1088/1742-6596/1690/1/012043. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1690/1/012043>.
- [3] F. Dachs и др. «Transition radiation measurements with a Si and a GaAs pixel sensor on a Timepix3 chip». В: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 958 (2020). Proceedings of the Vienna Conference on Instrumentation 2019, с. 162037. ISSN: 0168-9002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.03.092>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900219304346>.
- [4] V. L. Ginzburg и I. M. Frank. «Radiation of a uniformly moving electron due to its transition from one medium into another». В: *J. Phys. (USSR)* 9 (1945), с. 353—362.
- [5] E. J. Schioppa и др. «First measurements of the spectral and angular distribution of transition radiation using a silicon pixel sensor on a Timepix3 chip». В: *Nucl. Instrum. Meth. A* 936 (2019). Под ред. Giovanni Batignani и др., с. 523—526. DOI: 10.1016/j.nima.2018.11.062.