

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

УДК 539.12.01

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ В ПУЧКЕ  
ПРОТОННОГО СУПЕРСИНХРОТРОНА**

Научный руководитель

к.ф.-м.н.

Студент

\_\_\_\_\_ В. О. Тихомиров

\_\_\_\_\_ С. Д. Ильиных

Москва 2021

# Содержание

Перечень сокращений и обозначений	3
Введение	4
1 Схема эксперимента	4
2 Оценка эффективности вспомогательных детекторов	6
Заключение	8

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

**SPS** протонный суперсинхротрон

**ПИ** переходное излучение

**ДПРЛ** детектор предварительного развития ливня (preshower)

# Введение

Одной из ключевых задач в экспериментах по физике высоких энергий является идентификация частиц. В данном эксперименте разрабатывается метод идентификации на основе регистрации ПИ в GaAs детекторе. В данной работе определяется эффективность выделения электронов и  $\pi$ -мезонов вспомогательных детекторов: ДПРЛ и калориметр из свинцового стекла.

## 1 Схема эксперимента

Эксперимент проводится на SPS в ЦЕРНе. На пути пучка частиц располагается установка, приведенная на рис. 1 и 2.

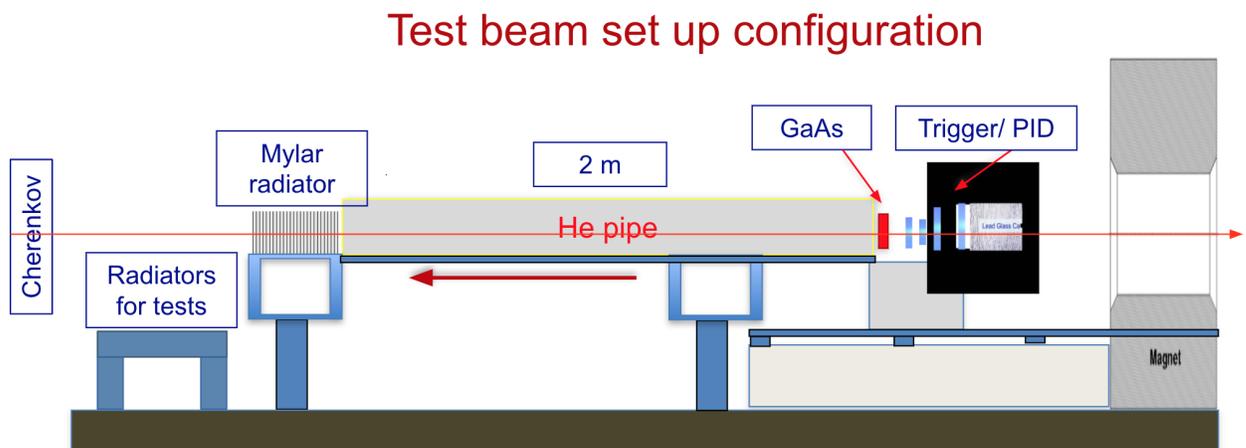


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

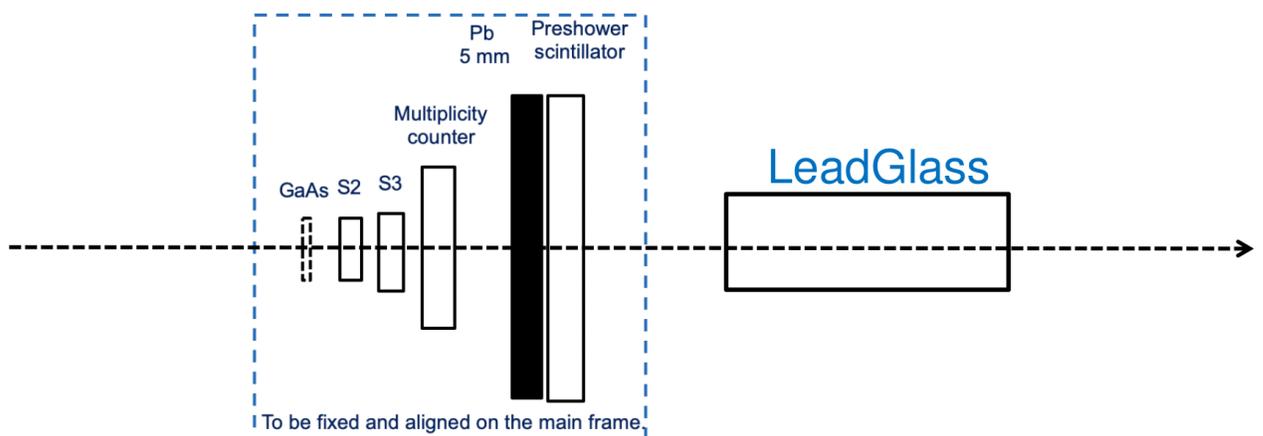


Рис. 2: Сборка детекторов, расположенных после GaAs детектора

Поскольку эксперимент проводится на смешанном пучке электронов и  $\pi$ -мезонов, для исследования детектора ПИ [1], состоящего из радиатора и GaAs детектора, необ-

ходимо использовать вспомогательные детекторы, расположенные после GaAs детектора. Ниже приведены краткие характеристики каждого элемента установки.

- Черенковский счетчик  
Черенковский детектор фиксирует черенковское излучение, что позволяет отделить более легкий электрон от более тяжелого  $\pi$ -мезона.
- Радиатор  
Съемные радиаторы ПИ состоят из набора пленок, сделанных из майлара, полиэтилена или полипропилена. В радиаторе рождаются кванты ПИ (гамма-кванты) вследствие разных показателей диэлектрической проницаемости воздуха и вещества радиатора. Вероятность рождения квантов ПИ зависит от Лоренц-фактора частицы. При фиксированной энергии пучка в 20 ГэВ вероятность рождения квантов ПИ электронов много больше вероятности рождения квантов ПИ  $\pi$ -мезоном из-за малой массы электрона по сравнению с  $\pi$ -мезоном.
- Труба, заполненная гелием  
Рожденные в радиаторе гамма-кванты излучаются под очень малым углом. Если поставить GaAs детектор сразу после радиатора, гамма-квант в детекторе будет просто не различим от основного пучка. Для того, чтобы квант ПИ успел отклониться на расстояние, достаточное для детектирования, детектор отодвигается от радиатора. Между ними помещается труба, заполненная гелием, для того, чтобы гамма-кванты не поглотились в воздухе во время полета между радиатором и GaAs детектором.
- GaAs детектор  
Данный детектор с толщиной слоя вещества в 500 мкм прикреплен к считывающей микросхеме, имеющей пиксельную структуру [2, 3], параметры поперечного сечения которой указаны на рис. 3.

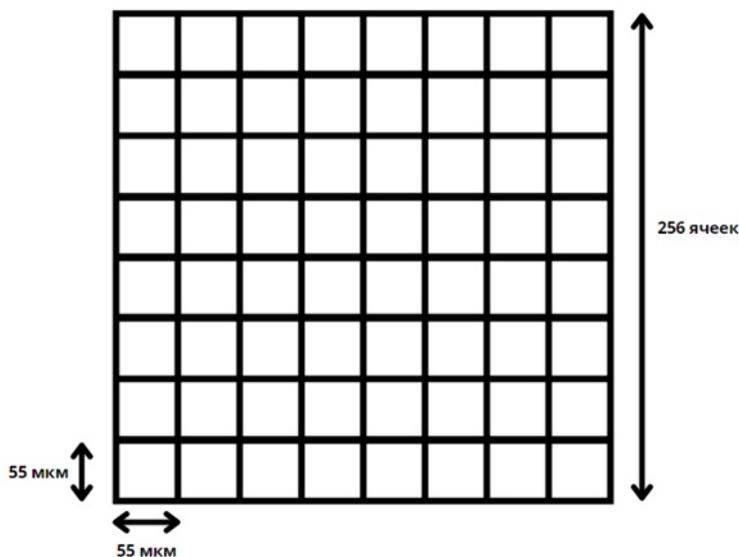


Рис. 3: Параметры GaAs детектора

- Сцинтилляционные счетчики  
После GaAs детектора расположены два сцинтилляционных счетчика, которые контролируют, что частица прошла через детектор.
- Счётчик на множественный пролет  
Счетчик на множественный пролет также состоит из сцинтиллятора. Он работает на антисовпадение, чтобы исключить события, в которых через детектор пролетело более одной частицы.
- ДПРЛ  
Данный детектор состоит из свинцовой пластины толщиной 5 мм, за которой стоит сцинтиллятор. Если частица является электроном, то с большой вероятностью в свинцовой пластине начинают развиваться электромагнитные ливни, фиксирующиеся в сцинтилляторе. В противном случае детектируется только энергия, затраченная на ионизацию, которая сравнимо меньше энергии электромагнитного ливня от электрона. Данное явление связано с различными сечениями взаимодействия электрона и  $\pi$ -мезона.
- Калориметр  
Аналогично предыдущему детектору калориметр состоит из свинцового стекла, в котором электрон с большой вероятностью успевает полностью развить электромагнитный ливень, и детектируется сигнал, численно равный энергии электрона. В случае  $\pi$ -мезона в большинстве случаев калориметр регистрирует энергию, примерно равную энергии ионизации одной частицы.

## 2 Оценка эффективности вспомогательных детекторов

По данным из детекторов построены и профитированы гистограммы — зависимость числа событий от энергии в каналах QDC — с помощью пакета ROOT.

На рис. 4 показаны гистограммы по данным из калориметра и ДПРЛ после исключения множественных пролетов. Для лучшего восприятия пиков, гистограммы построены в логарифмическом масштабе.

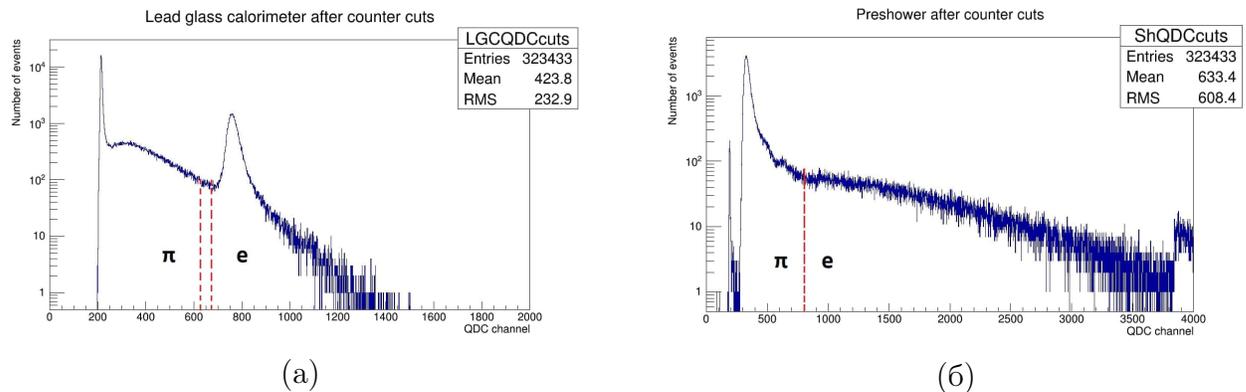


Рис. 4: Данные из калориметра (а) и ДПРЛ (б) после исключения множественных пролетов

В калориметре считается, что всё, что находится в пике в районе 800 каналов QDC — это электроны, энергия которых больше энергии  $\pi$ -мезонов вследствие развития электро-

магнитных ливней при взаимодействии со свинцовым стеклом. На фоне и в левом пике частицы идентифицируются как  $\pi$ -мезоны: левый пик указывает на большое число событий с малой энергией, а фон — на малое число событий с большей энергией. В ДПРЛ аналогично частицы с большей энергией идентифицируются как электроны, а левый пик с малой энергией — как  $\pi$ -мезоны.

Далее построена двумерная гистограмма распределения событий по энергиям в калориметре из свинцового стекла и ДПРЛ (рис. 5). По гистограмме проведены предполагаемые «границы» между электронами и  $\pi$ -мезонами: правая верхняя область соответствует электронам, а левая нижняя —  $\pi$ -мезонам.

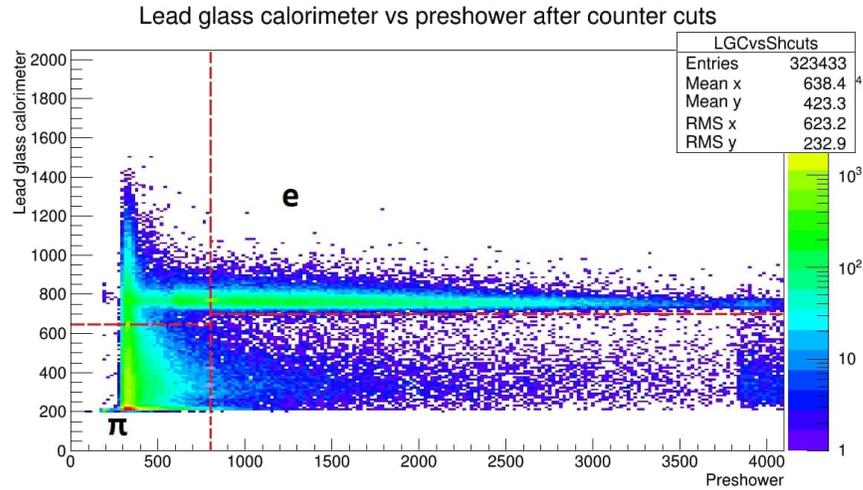


Рис. 5: Распределение событий по энергиям в калориметре и ДПРЛ

После обрезания по энергии в ДПРЛ выделены события преимущественно с электронами, и двумерная гистограмма спроецирована на ось калориметра - ось Y (рис. 6).

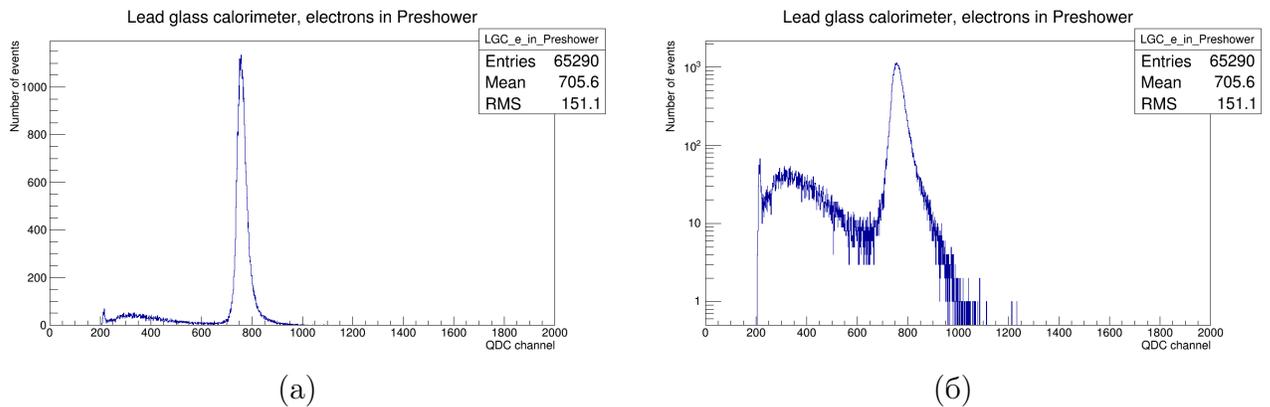


Рис. 6: Распределение событий в калориметре после обрезания гистограммы по энергии в ДПРЛ в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе

Однако в этих событиях всё ещё присутствует небольшой фон от  $\pi$ -мезонов, величину которого необходимо определить. В данной работе величина фона определяется методом фитирования соответствующих распределений.

На рис. 7 (а) приведена гистограмма распределения событий до отбора электронов по энергиям. Она профитирована, и, проинтегрировав фитирующие функции, получена средняя доля электронов в пучке: 21,1%.

На рис. 7 (б) приведена гистограмма распределения событий после отбора по энергии ДПРЛ. Гистограмма профитирована, и затем на неё наложен отбор по энергии в калориметре. Проинтегрировав фитирующие функции и отбросив ненужные события — левее границы отбора — получено значение доли фоновых  $\pi$ -мезонов: 2,4%.

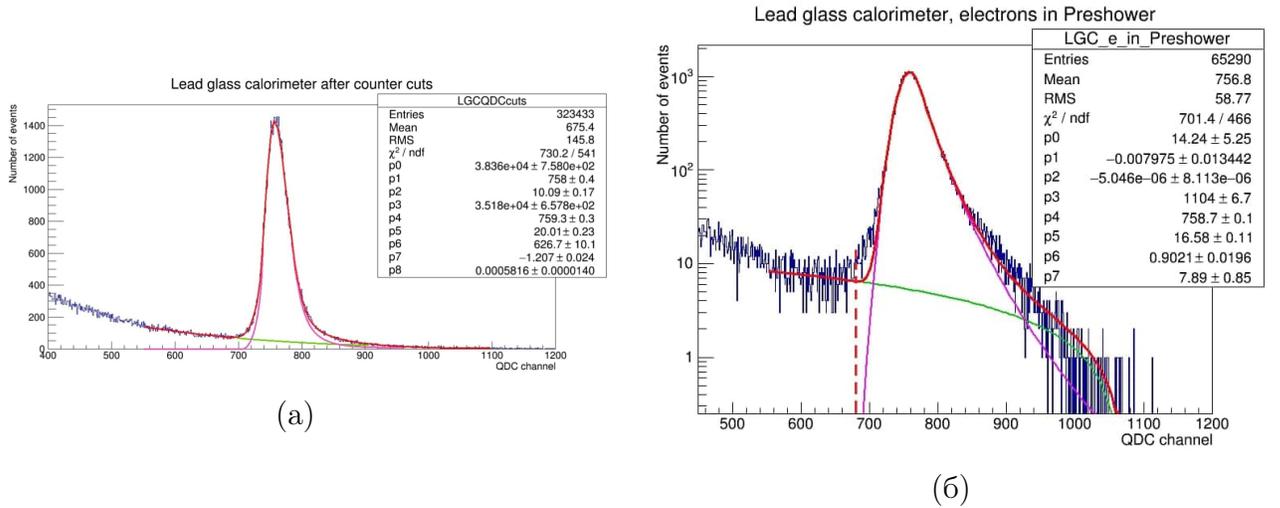


Рис. 7: Определение доли  $\pi$ -мезонов до отбора электронов по энергиям (а) и после (б)

Таким образом полученное значение доли  $\pi$ -мезонов позволяет оценить эффективность калориметра и ДПРЛ, что обеспечивает идентификацию частицы в каждом событии для разработки детектора ПИ.

## Заключение

В работе была оценена эффективность вспомогательных детекторов с помощью определения остаточного фона  $\pi$ -мезонов на распределении событий после обрезания по энергиям калориметра и ДПРЛ методом фитирования гистограмм с помощью пакета ROOT. Эта оценка необходима для правильной интерпретации результатов, полученных из GaAs детектора ПИ и определения его эффективности.

## Список литературы

- [1] B. Dolgoshein. Transition radiation detectors. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 326:434–469, 1993.
- [2] J. Alozy et al. Studies of the spectral and angular distributions of transition radiation using a silicon pixel sensor on a Timepix3 chip. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 961:163681, 2020.
- [3] F. Dachs et al. Transition radiation measurements with a Si and a GaAs pixel sensor on a Timepix3 chip. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 958:162037, 2020.