

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет
МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 53-05

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ
ТЕСТИРОВАНИЯ ДЕТЕКТОРА ПЕРЕХОДНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПУЧКЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Научный руководитель:

доцент

_____ С. Ю. Смирнов

Выполнил:

_____ А. И. Дуров

Москва 2021

Содержание

Содержание	1
1 Введение	2
1.1 Переходное излучение	2
1.2 Детекторы переходного излучения	3
1.3 Сравнение детекторов на основе Si и GaAs	4
1.4 Тестирование детектора переходного излучения на пучке	6
2 Ход работы	8
2.1 Общий вид анализа данных эксперимента	8
2.2 Data unpacking	9
2.3 Event building	10
2.4 Выбор временного окна для отбора сработавших пикселей	13
3 Заключение	15

Цель работы

Целью работы является обработка результатов теста на пучке заряженных частиц детектора переходного излучения, а именно - распаковка данных и их подготовка к дальнейшему анализу.

1 Введение

1.1 Переходное излучение

Переходное излучение возникает при пересечении заряженной частицей области неоднородности в веществе или в конфигурации окружающего пространства.

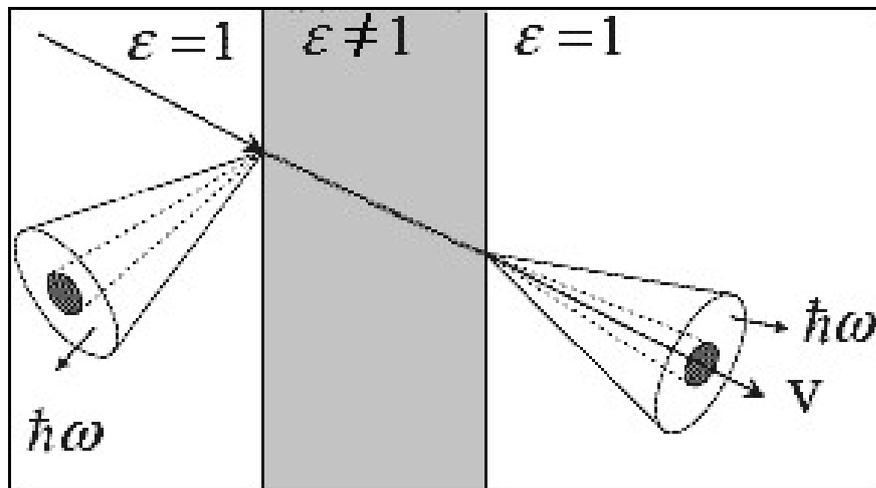


Рисунок 1 – Переходное излучение

У этого типа излучения нет порога. Таким образом, излучает любая заряженная частица произвольной массы со скоростью, не равной нулю, в системе с малым поглощением электромагнитного сигнала. Энергия, излучаемая, когда частица с зарядом z пересекает границу между вакуумом и средой с плазменной частотой ω_p , равна:

$$I = (\alpha z^2 \gamma \hbar \omega_p) / 3 \quad (1)$$

1.2 Детекторы переходного излучения

Изменяя параметры радиатора, чувствительность детектора переходного излучения может быть настроена на определенный диапазон γ -фактора. Это, в свою очередь, делает переходное излучение привлекательным для идентификации частиц при очень высоких γ где другие эффекты, такие как, например, черенковское излучение, достигают своего насыщения. Большинство детекторов переходного излучения обычно работают в диапазоне $500 < \gamma < 2000$, но с увеличением энергий частиц в современных или планируемых экспериментах на ускорителях частиц, а также в экспериментах с космическими лучами требуется идентификация частиц (сокращение - PID) при гораздо более высоких γ -факторах. Одним из способов создания такого детектора было бы использование многослойной структуры излучатель-детектор с детекторами, в которых потери на ионизацию частиц меньше, чем энергия образующихся фотонов.

Другой подход основан на использовании полупроводниковых детекторов с высокой степенью детализации, которые позволили бы проводить одновременные измерения энергии и угла фотонов переходного излучения и максимально использовать доступную информацию для идентификации частиц [1]. В последние годы разработка пиксельных чипов с высоким разрешением, таких как Timerix3 [2], подключенных к толстым датчикам Si или GaAs (в нашем эксперименте - GaAs), открывает новые возможности для высокоэффективных детекторов переходного излучения с хорошим пространственным разрешением заряженных частиц и фотонов переходного излучения. Первые измерения переходного излучения с помощью Si-датчика был представлен в [3].

1.3 Сравнение детекторов на основе Si и GaAs

Для данного эксперимента используется детектор на основе кристалла GaAs, а не Si, как было в некоторых прошлых тестированиях. Выбор GaAs по сравнению с Si обоснован тем, что для одного и того же излучателя количество обнаруженных фотонов детекторами GaAs больше, чем детекторами на основе Si (см. рис. 2).

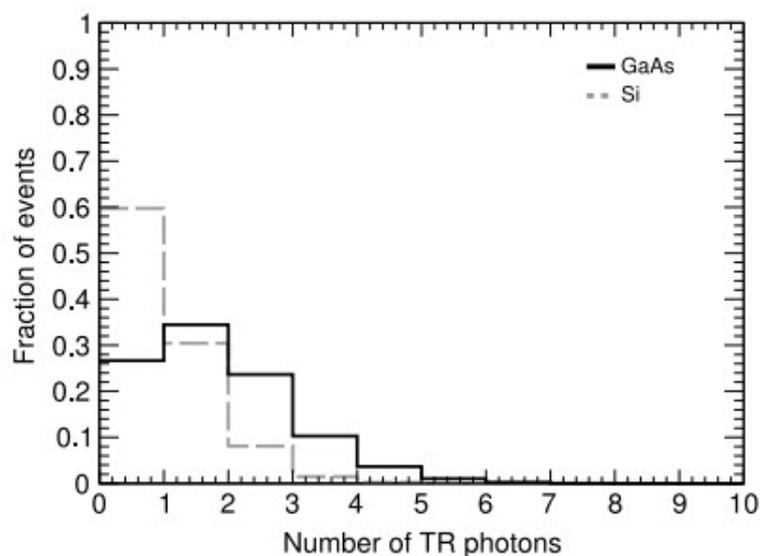


Fig. 6. Number of TR photons detected per event.

Рисунок 2 – Сравнение GaAs и Si по количеству обнаруженных фотонов

Энергетически-угловые распределения обнаруженных фотонов переходного излучения для обоих детекторов показаны на рис. 3 и 4. С помощью этого рисунка можно несложно проследить глобальную и тонкую интерференционную структуру переходного излучения. Видно, что детектор на основе GaAs намного эффективнее для высоких энергий фотонов переходного излучения.

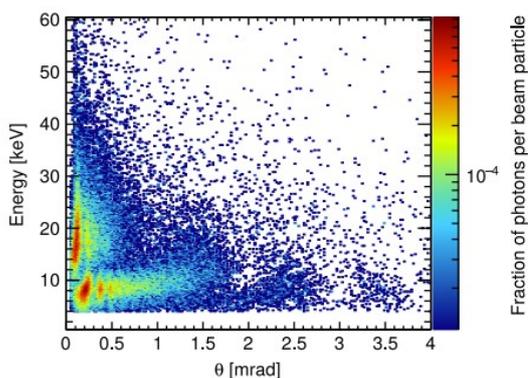


Рисунок 3 – Энергетически-угловое распределение фотонов переходного излучения, полученное с помощью детектора на основе Si

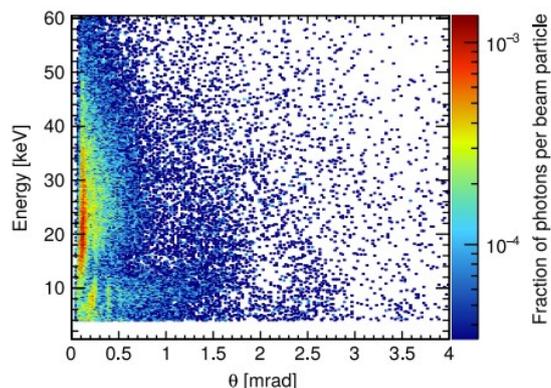


Рисунок 4 – Энергетически-угловое распределение фотонов переходного излучения, полученное с помощью детектора на основе GaAs

Проекции этих распределений на энергетическую ось имеют вид, который можно увидеть на рис. 5. Нетрудно заметить, что для мягкой части спектра (до 12-13 кэВ) детекторы на основе как Si, так и GaAs, обладают хорошей эффективностью. Однако, если фотоны переходного излучения имеют энергию выше 20 кэВ, детекторы GaAs становятся намного эффективнее.

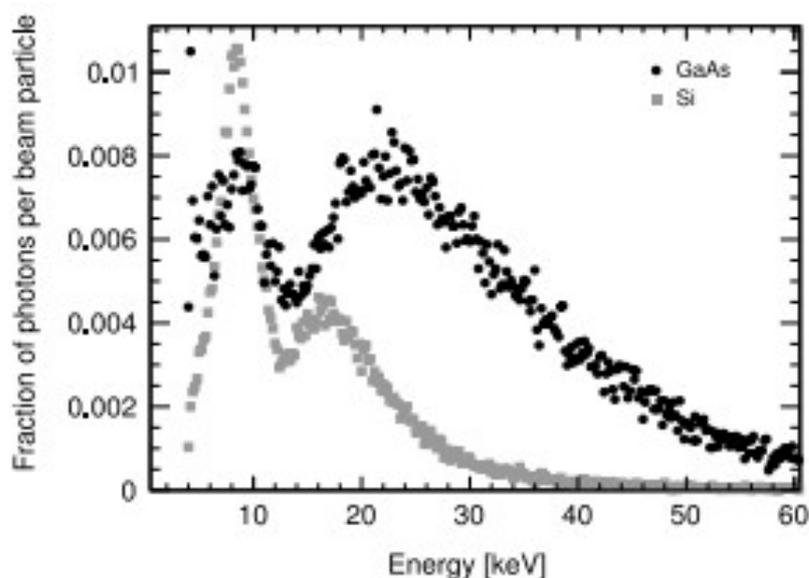


Рисунок 5 – Энергетические распределения фотонов переходного излучения, полученное с помощью детекторов на основе Si и GaAs

1.4 Тестирование детектора переходного излучения на пучке

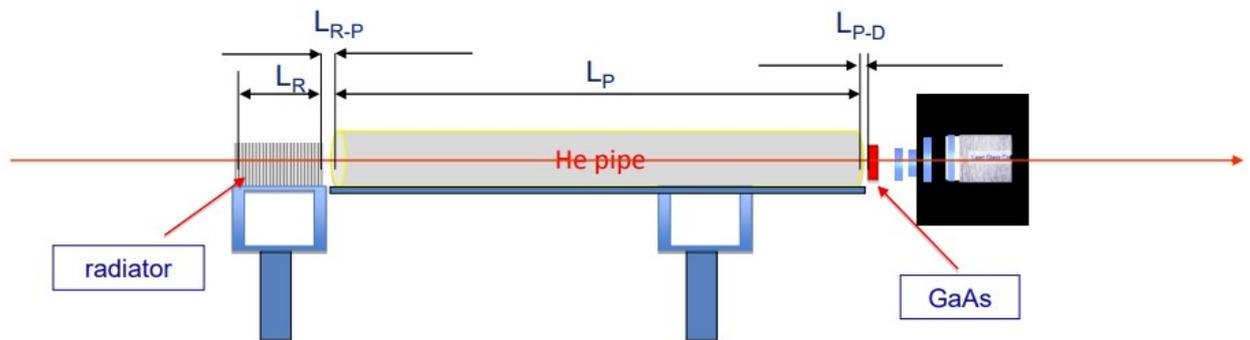
Схему установки, использовавшейся для тестирования детектора переходного излучения на пучке, можно увидеть на рис. 6. Установка состояла из следующих элементов:

1. **Радиатор** - наборы пленок, необходимых для образования фотонов переходного излучения. Были использованы следующие конфигурации радиатора: Полиэтилен, полипропилен, комбинация полиэтилена и полипропилена, Mylar и макетный радиатор; были использованы разные количества пленок, разные расстояния между ними, разные ширины пленок;
2. **Трубки с гелием** - трубки различных длин, заполненные гелием. Они использовались для предотвращения поглощения излучаемых фотонов переходного излучения в воздухе. Проводились тесты как с трубками, длинами в 30см, 50см, 100см, 200см, так и без трубки вообще;
3. **Детектор** - непосредственно сам исследуемый детектор переходного излучения на основе кристалла GaAs ([4], [5]). Состоит детектор из квадратной матрицы размером 256x256 пикселей с шагом пикселей 55мкм, образуя таким образом активную площадь в 1,98см²

Суммарное расстояние между точкой выхода фотонов переходного излучения и входом в детектор можно посчитать по следующей формуле:

$$L = L_{R-P} + L_P + L_{P-D} \quad (2)$$

Test beam set up configuration



L_R – radiator length if this is uniform radiator. If blocks of small radiators are added than parameters L_{R1} , L_{R2} and L_{R1-R2} should be measured
 L_{R-P} – radiator to pipe distance.
 L_P – pipe length.
 L_{P-D} – pipe to detector distance.

Рисунок 6 – Схема тестирования на пучке

В качестве пучка заряженных частиц использовался пучок e/π энергией 20ГэВ, а также пучок мюонов энергией 180ГэВ для отладки работы эксперимента.

2 Ход работы

2.1 Общий вид анализа данных эксперимента

Порядок организации анализа данных, полученных с эксперимента, можно увидеть на рис. 7. Этапы анализа:

1. Первым этапом является распаковка данных из выходных файлов с эксперимента (data unpacking) и их приведение к виду, удобному для последующего анализа;
2. Второй этап - построение событий (event building), позволяющий определить число событий, зарегистрированных в конкретном испытании, а также некоторые параметры, необходимые для реализации следующих этапов, например: ToT - Time over Threshold (время над порогом), hdt - разницу во времени между триггером и срабатыванием пикселя и т.д.;
3. Третий этап - процесс кластеризации и калибровки, самый трудоёмкий и важный этап, на котором основан весь анализ. Во время этого этапа определяется точное место, где прошел фотон на основе сработавших в этом событии пикселей
4. Посредний, четвертый, этап - непосредственно сам анализ всех полученных результатов испытания.

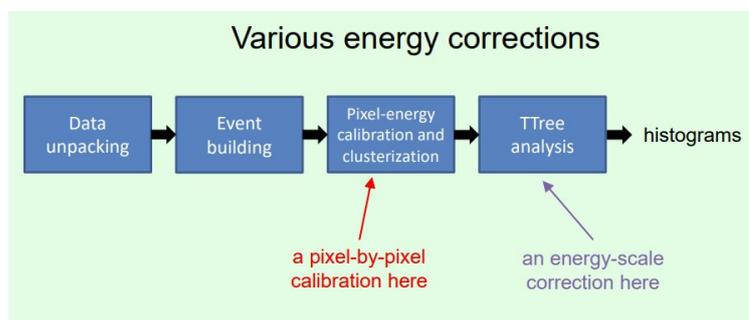


Рисунок 7 – Схема анализа

Всего за эксперимент было проведено 63 испытания, соответственно, было получено суммарно 126 txt-файлов (см .2.2). В данной работе на данный момент рассматриваются первые два этапа анализа - data unpacking и event building, о них и пойдет речь ниже.

2.2 Data unpacking

На выходе испытаний получались текстовые файлы вида, показанные на рис. 8. Первый файл отвечает за информацию о триггерных событиях в испытании, а второй - за выход со сработавших пикселей.

тип триггера	время триггера
1	80757750500
4	8.35487331750
4	8.36089264375
4	8.36946659000
4	8.37855206000
2	8.38200796875
4	8.38429243375
4	8.38940779375
2	8.39067838500
4	8.39440958500
4	8.40213235500
2	8.43350267375
4	8.45170283125
4	8.47528649875
4	8.49336187125

Координаты сработавшего пикселя	Время срабатывания пикселя	TOT (время над порогом)
45312	22909675	15
45056	22909674	5
46080	22923317	10
45313	22923317	6
44545	22923317	12
43777	22923317	1
46081	22923318	11
45569	22923317	7
44801	22923317	7
43776	22923317	11
45056	22923316	4
44032	22923317	14
45312	22923316	5
44288	22923316	3
45568	22923316	3
44544	22923316	3
45824	22923316	3

Рисунок 8 – Пример выходного файла, содержащего информацию о сработавших триггерах

Файлы второго типа необходимо привести к виду, в котором будет удобен последующий анализ, а именно - файл с данными необходимо было записать в один root-файл с 2 деревьями.

Программа, осуществляющая этот процесс, позволяет получить на выходе не только информацию, необходимую непосредственно для анализа, но и информацию, позволяющую узнать детали процессов, происходивших в испытаниях, а также данные, необходимые для дополнительной корректировки будущих частей анализа. Например, полезными являются гистограммы, показанные на рис. 9 - они позволяют посмотреть распределение сработавших пикселей по всей плоскости их расположения. Благодаря этим гистограммам, можно сделать вывод о том, что не нужно считывать сигналы с нескольких крайних пикселей с обеих сторон по обеим координатам - на них приходится подавляющее большинство событий, что говорит о шумовой природе этих событий.

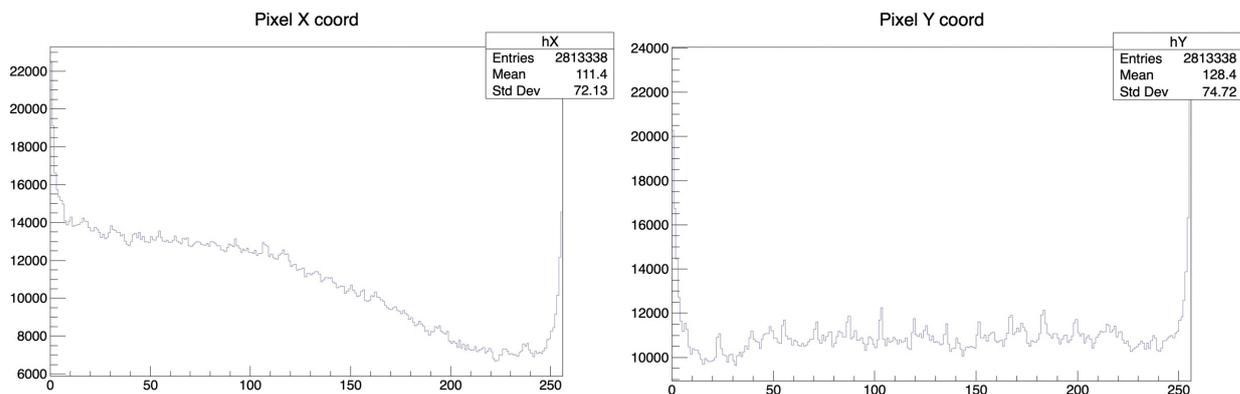


Рисунок 9 – Распределение сработавших пикселей по плоскости их расположения

2.3 Event building

Следующим этапом анализа является построение событий (event building) по данным, находящимся в деревьях, построенных после предыдущего этапа. Во время построения событий находится соответствие между временем триггера и временами срабатывания пикселей. Когда разница во времени между триггером и срабатыванием пикселя оказывается в некотором временном окне, установленным заранее (см. 2.4), это явление срабатывания этого пикселя запоминается как соответствующее триггеру, разница во времени с которым и оказалась в этом окне. Таким образом отбираются пиксели, по которым уже в дальнейшем будет производится кластеризация и последующий анализ. В результате этого этапа были получены все события, отобранные по временному окну, выбор которого описан в (2.4). На выходе получается число событий, сопоставленных с таким же числом триггеров, а также в качестве дополнительной информации можно посмотреть число сработавших и отобранных пикселей и некоторые характеристики этого испытания, например, распределение разницы во времени между триггерами и срабатываниями пикселей в логарифмическом масштабе, которое используется для выставления временного окна (см. 2.4). Пример такой гистограммы для испытания №173 можно увидеть на рис. 10.

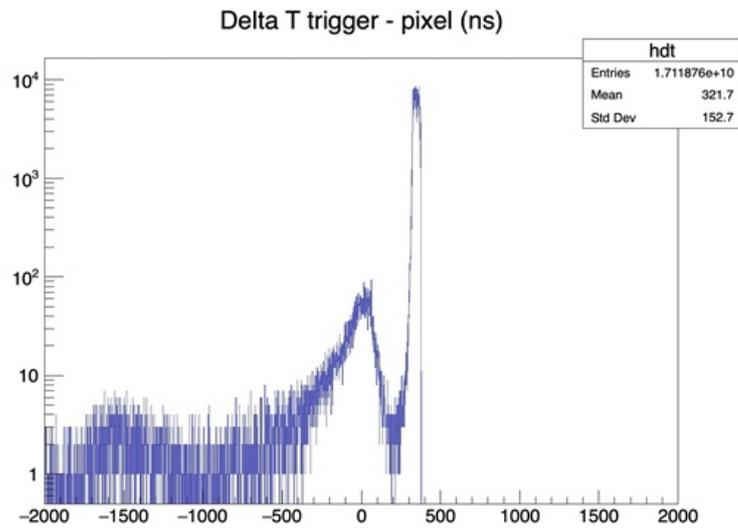


Рисунок 10 – Распределение разницы во времени между триггерами и срабатываниями пикселей в логарифмическом масштабе для испытания №173

Для информативности были составлены таблицы с данными по результатам этого этапа. Event building был проведен для всего эксперимента, данные были получены для всех испытаний. Пример составленной таблицы можно увидеть на рис. 11

Data unpacking and event building: e/π 20 GeV

Run	Radiator	Pass0 (data unpacking)	Pass1 (event building)	Cut	Pass1 (event building) with the new cut
187, 186	Polyethylene 35/0.5 300, 100cm	133921 + 82848	87532 + 53909	[250;400], [250;400]	87508 + 53896
185, 184	Polyethylene 35/0.5 500, 100cm	86878 + 130350	56908 + 85468	[260;400], [250;400]	56891 + 85434
183, 182, 181	Polypropylene 15.5/0.21 180, 100cm	137927 + 80284 + 3157	89503 + 52025 + 2018	[260;380], [270;400], [270;400]	89480 + 52006 + 2017
180, 179	Mylar 50/3 90, 100cm	92728 + 132359	60055 + 85344	[250;400], [260;400]	60041 + 85317
174	Dummy, 6.5mm, 200cm	589500	263706	[250;400]	263691
173	No radiator	126210	56262	[290;400]	56257
172	Mylar 50/3 30, 200cm	126313	57401	[260;400]	57397
171	Mylar 50/3 90, 200cm	127162	58222	[250;400]	58221

Рисунок 11 – Таблица с результатами для некоторых испытаний

На этих таблицах можно увидеть:

1. Номер испытания;
2. Использованный в этом испытании радиатор со всеми необходимыми изменяемыми характеристиками;
3. Результат data unpacking - число событий на выходе, еще не сопоставленных с триггерами и не готовых для дальнейшего анализа;
4. Результат event building - число событий на выходе после сопоставления с триггерами, используя дефолтное временное окно [100; 800]нс;
5. Выбранное временное окно для отбора сработавших пикселей(см. 2.4);
6. Результат event building - число событий на выходе после сопоставления с триггерами, используя выбранное в предыдущем столбце (пункте) временное окно, события, готовые для дальнейшего анализа

2.4 Выбор временного окна для отбора сработавших пикселей

Важным моментом для воспроизведения event building - это правильный выбор временного окна для отбора сработавших пикселей. Временное окно нужно выбрать таким образом, чтобы соответствие сработавших пикселей было максимально приближено к триггерам. Чтобы выбрать временное окно для начала необходимо посмотреть на гистограмму распределения разницы во времени между сработавшими пикселями и триггерами. Дефолтным временным окном по предыдущим годам было выбрано окно в 700нс: [100; 800]нс - см. рис. 12 (пример - для испытания №208).

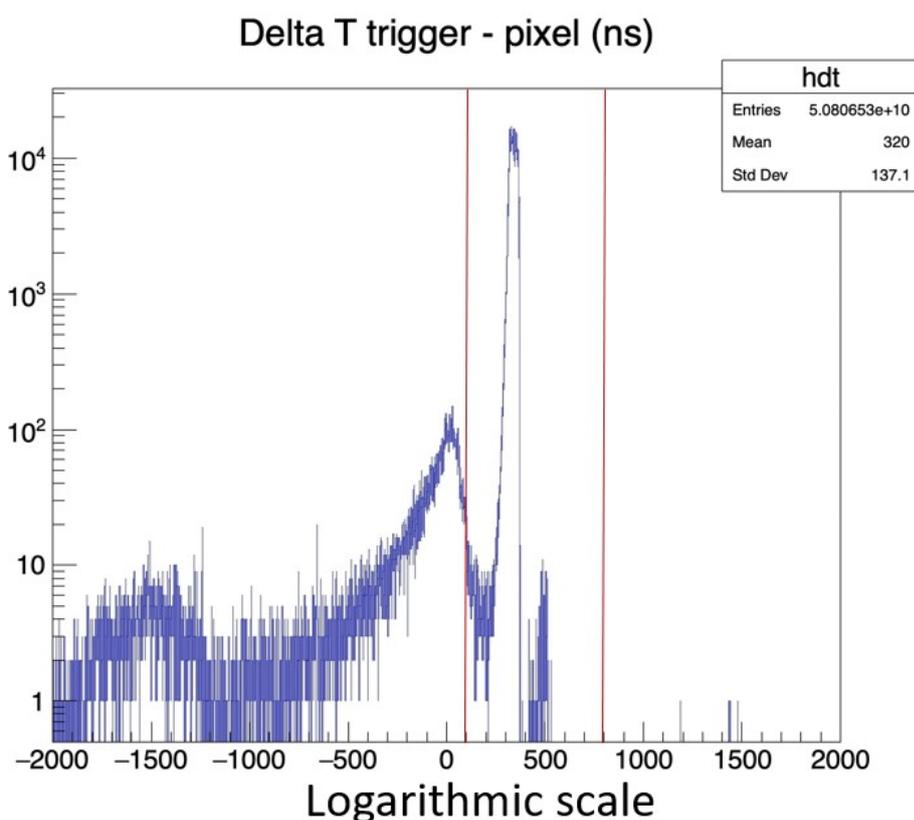


Рисунок 12 – Распределение разницы во времени между триггерами и срабатываниями пикселей в логарифмическом масштабе для испытания №208 с временным окном [100; 800]нс

Было выявлено, что в окне необходимо оставить только главный пик гистограммы, так как остальные пики соответствуют другим событиям. Таким образом, требовалось для каждого испытания выбрать отдельно такое

окно, которое оставляло максимально только события, соответствующие главному пику. Например, для испытания №173 было выбрано временное окно: [290; 400]нс, см. рис. 13

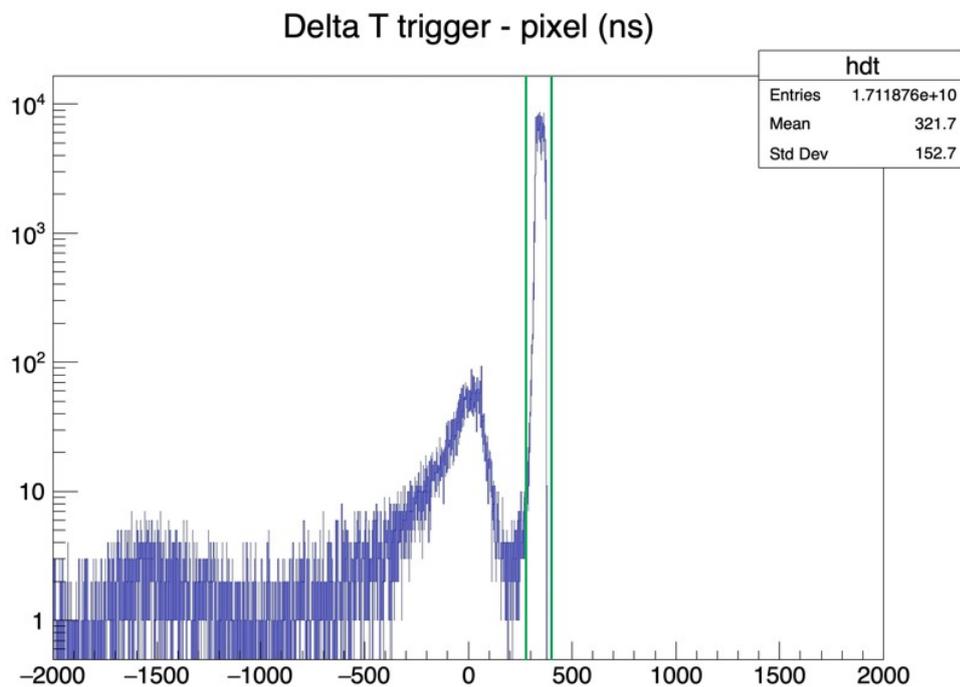


Рисунок 13 – Распределение разницы во времени между триггерами и срабатываниями пикселей в логарифмическом масштабе для испытания №173 с временным окном [290; 400]нс

Таким образом были выбраны различные временные окна для всех испытаний и соответствующие окна, наравне с результатами event building с использованием этих окон. Все полученные результаты были записаны в таблицы с результатами (пример такой таблицы можно увидеть на рис. 11).

3 Заключение

В данной работе были осуществлены два этапа по анализу данных с эксперимента по тестированию детектора переходного излучения на основе кристалла GaAs на пучке заряженных частиц.

Первым этапом являлась подготовка данных (data unpacking), необходимая для удобного оперирования данными на последующих этапах анализа. Также на этом этапе можно увидеть некоторые полезные распределения, позволяющие определить различные параметры, которые нужно учитывать на последующих этапах анализа, например, распределение числа срабатывания пикселей по плоскости их расположения.

Вторым этапом было построение событий (event building), позволяющее определить реальное число интересующих нас событий на выходе из эксперимента. Для этого была проведена работа по определению используемых временных окон, необходимых для отбора сработавших пикселей для последующего сопоставления с триггерными событиями. Конечные результаты анализа будут после реализации всех этапов, описанных в 2.1

Список литературы

1. Identification of particles with Lorentz factor up to 104 with Transition Radiation Detectors based on micro-strip silicon detectors / J. Alozy [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2019. — May. — Vol. 927. — P. 1–13.
2. Timepix3: a 65K channel hybrid pixel readout chip with simultaneous ToA/ToT and sparse readout / T. Poikela [et al.] // Journal of Instrumentation. — 2014. — May. — Vol. 9, no. 05. — P. C05013–C05013.
3. First measurements of the spectral and angular distribution of transition radiation using a silicon pixel sensor on a Timepix3 chip / E. Schioppa [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2019. — Vol. 936. — P. 523–526.
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. Transition radiation, URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiat/tr.htm>.