

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

УДК 539.144.3

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**АНАЛИЗ КООРДИНАТНОЙ ТОЧНОСТИ
ДЕТЕКТОРА ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПИКСЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ**

Научный руководитель
доцент

_____ С. Ю. Смирнов

Студент

_____ Л. А. Якобнюк

Москва 2023

Содержание

Введение	3
Актуальность	3
Цель работы	3
1 Описание установки	3
2 Используемое ПО	4
3 Обработка данных	4
4 Заключение	7

Введение

Переходное излучение – это вид электромагнитного излучения, возникающего при пересечении заряженной частицей границы раздела сред с разными диэлектрическими проницаемостями. Данное излучение ещё в 1945 году было предсказано В.Л.Гинзбургом и И.М.Франком

Наибольший интерес представляет переходное излучение, созданное ультрарелятивистской частицей ($\gamma \gg 1$). Формируется переходное излучение, основная энергия которого лежит в области рентгеновского спектра. В этом спектре энергия довольно сильно зависит от Лоренц-фактора (гамма-фактора).

Детекторы переходного излучения (TRDs) широко используются для регистрации ультрарелятивистских заряженных частиц. Больше информации о Лоренц-факторе можно получить, используя угловое распределение переходных фотонов.

Актуальность

Столкновения между адронами при $\sqrt{s} = 13 \text{ ТэВ}$ и малым поперечным импульсом p_T мало изучены на данный момент, однако изучение этих процессов способно помочь в исследовании спектров космических лучей, например аномальное количество мюонов в них может быть следствием распада адронов содержащих очарованные и прелестные кварки, 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 около $\sqrt{s} = 63 \text{ ГэВ}$.

Этот эксперимент подразумевает создание адронного спектрометра Very Forward Hadron Spectrometer (**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 чтобы 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 . По угловому спектру переходного излучения можно определить гамма-фактор, поэтому в ходе данного эксперимента предполагается использовать пиксельный детектор переходного излучения, определяющий в том числе и угол распространения излучения.

Детектор переходного излучения, прототип которого описан в статье [2] является возможно единственным подходящим детектором для создания **VFHS**.

Цель работы

С 2017 по 2021 годы на пучке ускорителя SPS в ЦЕРН было проведено 3 эксперимента по изучению переходного излучения: в 2017 г. использовался сенсор из кремния, а в 2018 и 2021 гг. был использован сенсор из арсенида галлия. Целью работы является анализ координатной точности пиксельного детектора переходного излучения с сенсором из Si (эксперимент 2017 года).

1 Описание установки

В ходе работы производился анализ данных полученных с экспериментальной установки (Схема установки 1 представлена в статье [3]), состоящей из многослойного

радиатора, находящегося на расстоянии около 2 м от детектора, трубы, заполненной гелием для предотвращения поглощения фотонов переходного излучения и сенсора из кремния толщиной 500 мкм, соединенного с Timepix3 чипом [4], который использовался как детектор с квадратной матрицей 256×256 пикселей с шагом пикселя в 55 мкм. На расстоянии 100 мм от детектора расположены 3 кремниевые плоскости, так же установленные на TimePix3 чипы, расстояние между плоскостями - 31 мм. Исследуемый детектор расположен перпендикулярно пучку, а дополнительные плоскости наклонены на 9° относительно осей X и Y (пучок направлен вдоль оси Z) для улучшения пространственного разрешения за счет максимального распределения заряда между пикселями. За детектором располагается система определения частиц, состоящая из калориметра

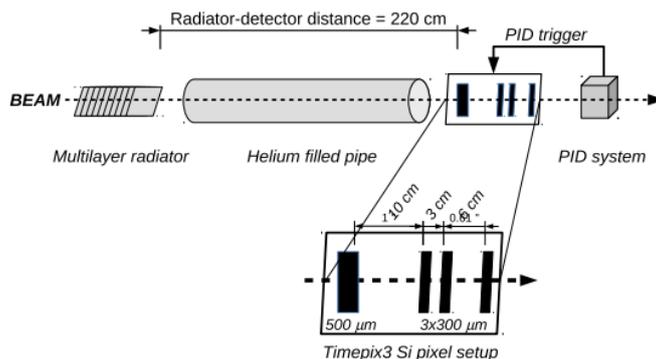


Рис. 1 — Схема экспериментальной установки

из свинцового стекла, детектора предварительного ливня и черенковского детектора (не показан на картинке). Рентгеновские лучи поглощаются в первом датчике, а заряженная частица продолжает свой путь и оставляет след в следующих трёх пиксельных плоскостях, и по этому следу можно реконструировать трек частицы.

2 Используемое ПО

Вся дальнейшая работа была сделана с использованием программы Proteus [5]. Это программное обеспечение для восстановления и анализа данных с пучковых телескопов. Она берет исходные данные, группирует сработавшие пиксели в кластеры, находит треки кластеров на нескольких плоскостях, оценивает оптимальные параметры трека на выбранных плоскостях и предоставляет выходные данные для дальнейшего анализа.

3 Обработка данных

Среди выходных данных программы Proteus имеются гистограммы, показывающие отклонения в определении координаты кластера двумя разными пиксельными плоскостями. Они представлены на рисунке 2. Для удовлетворительного фитирования функцией Гаусса данных гистограмм, необходимо выбрать более узкий диапазон по оси абсцисс и увеличить количество бинов. Результаты - на рисунке 3. По результатам фитирования были получены расстояния, на которые плоскости смещены друг относительно друга: плоскость 0 сдвинута относительно плоскости 1 на $650,6 \pm 0,1$ мкм, относительно плоскости 2 на $704,6 \pm 0,2$ мкм, а плоскость 1 относительно плоскости 2 соответственно на $53,8 \pm 0,2$ мкм (все результаты по оси X). По этим результатам плоскости были выровнены друг относительно друга в несколько итераций (рисунок 4). На рисунке 3

можно заметить, что полученные данные хорошо фитируются функцией Гаусса, за исключением пика посередине и двух симметричных пиков по бокам. Возможное решение проблемы - убрать кластеры из одного сработавшего пикселя. Поэтому была произведена оценка числа кластеров из одного пикселя для каждой из пиксельных плоскостей. Результат - около 3 % кластеров для каждой из плоскостей состоят из одного пикселя. Далее были построены гистограммы с применением условия на размер кластера, но результат практически не изменился: чуть улучшились параметры фитирования, но пики остались (рисунок 5).

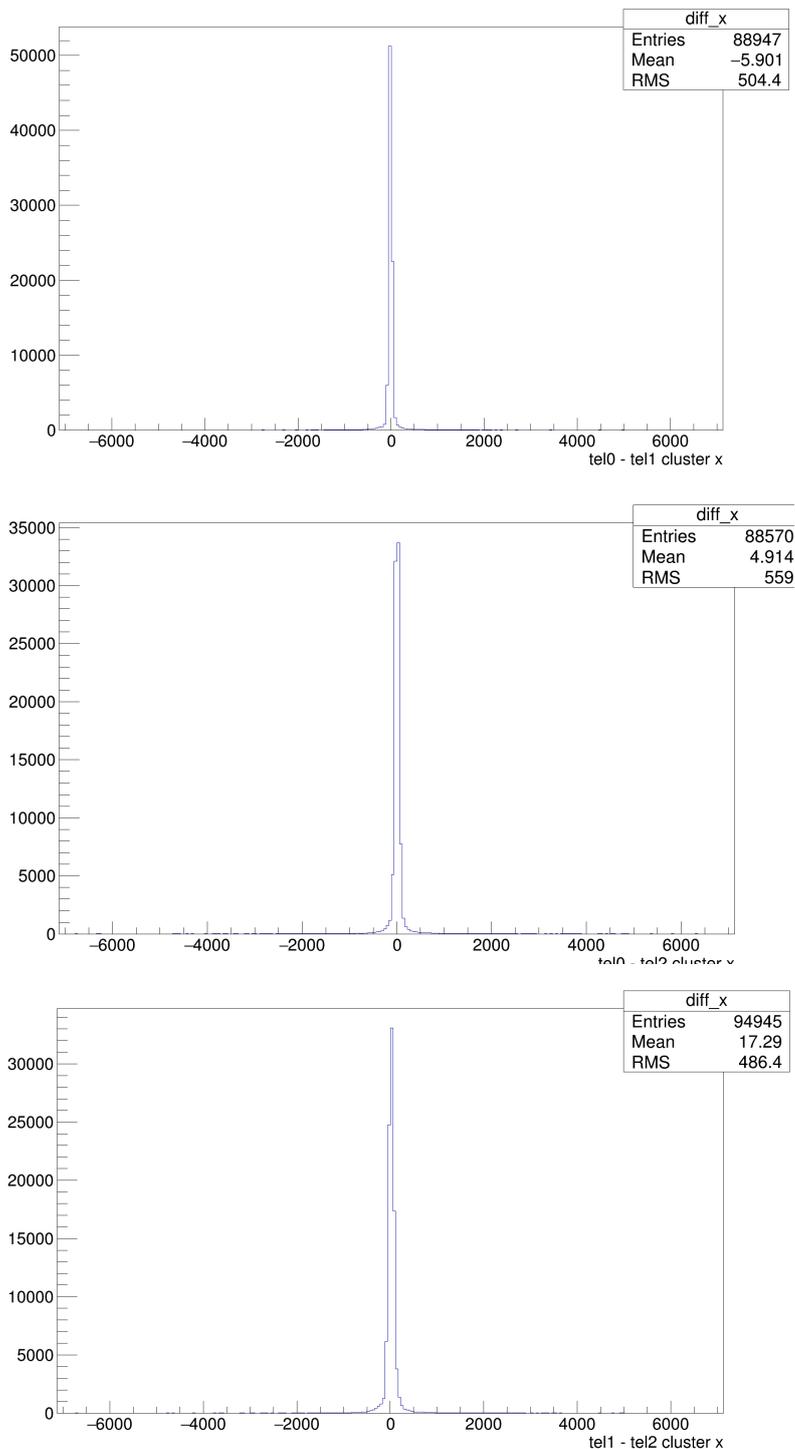
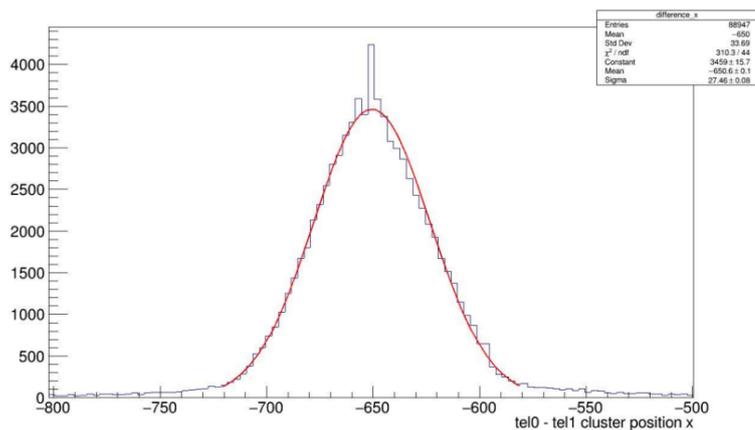
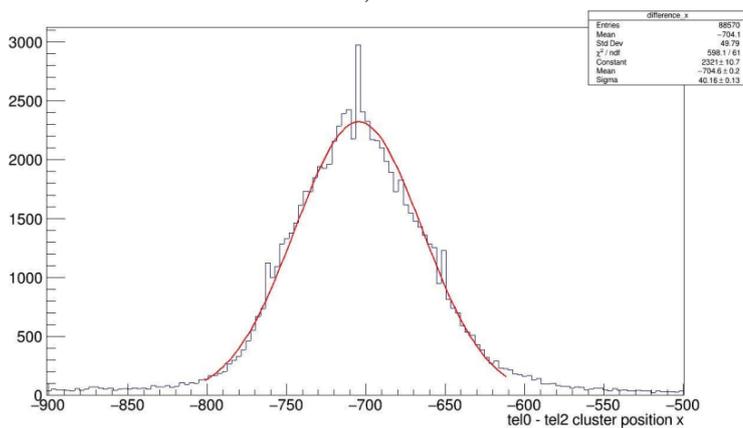


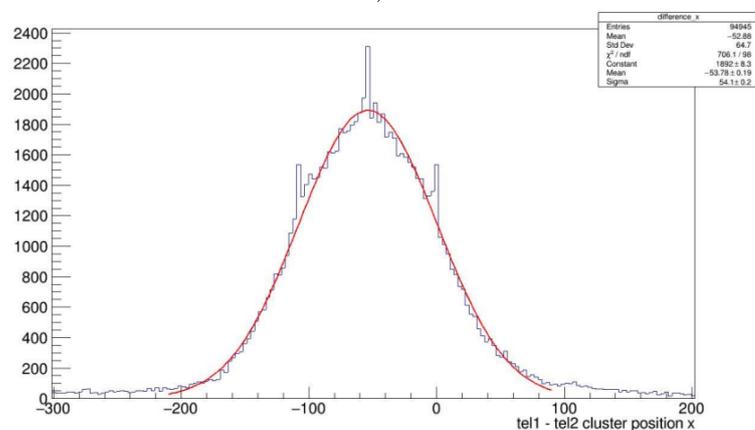
Рис. 2 — Разница в определении координаты X кластера разными пиксельными плоскостями



a)



б)



в)

Рис. 3 — Результаты фитирования



Рис. 4 — Выравнивание пиксельных плоскостей

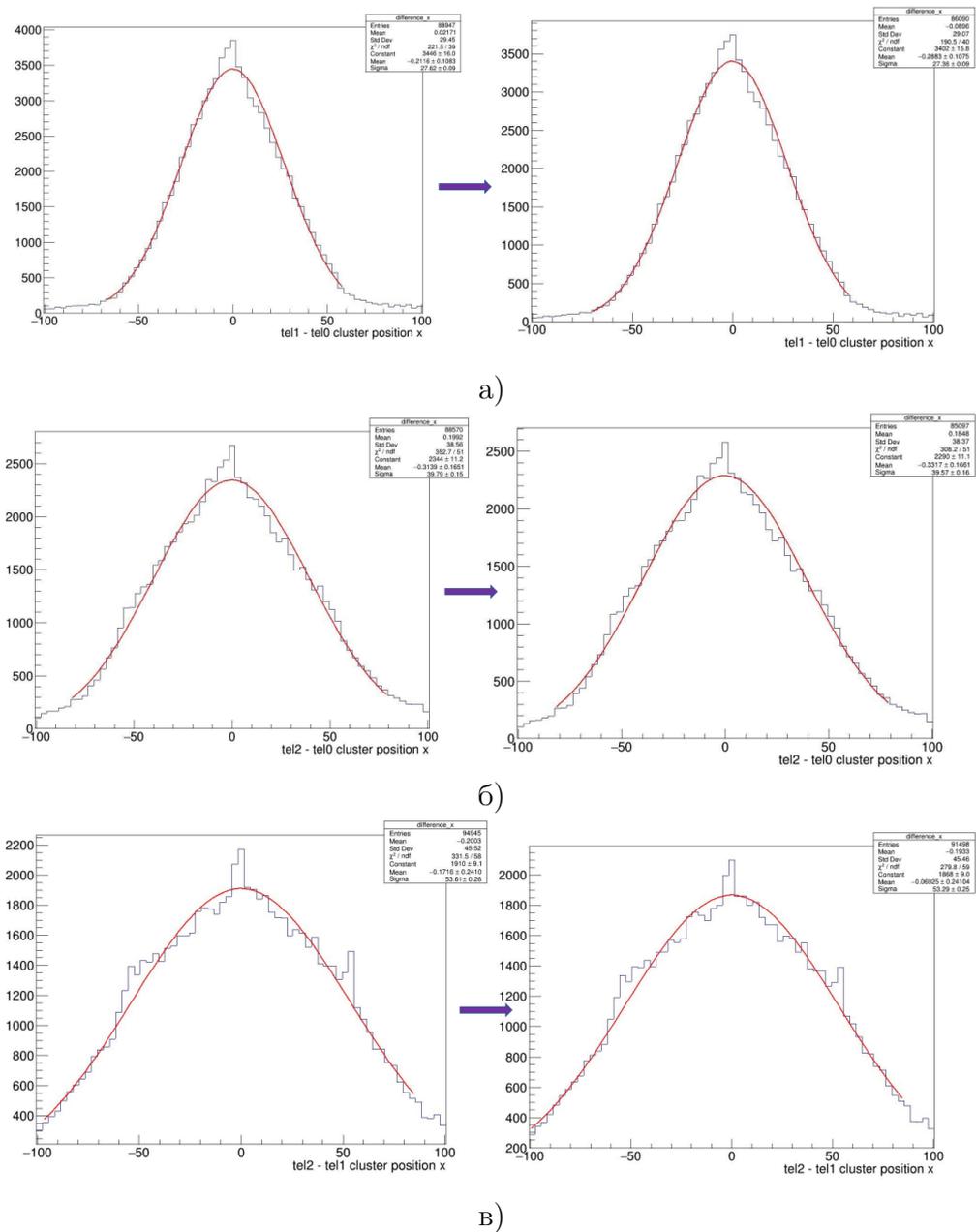


Рис. 5 — Результаты фитирования после выравнивания и выкидывания из статистики кластеров из одного пикселя

4 Заключение

В ходе работы были проанализированы и обработаны данные, получены с помощью программного обеспечения Proteus. Дополнительные 3 пиксельные плоскости были искусственно выровнены друг относительно друга, до выравнивания имеем:

- пл.1 - пл.0 = $650,6 \pm 0,1$ мкм по оси X;
- пл.2 - пл.0 = $704,6 \pm 0,2$ мкм;
- пл.2 - пл.1 = $53,8 \pm 0,2$ мкм;

После выравнивания получено:

- пл.1 - пл.0 = $-0,29 \pm 0,11$;

- пл.2 - пл.0 = $-0,33 \pm 0,17$;
- пл.2 - пл.1 = $-0,07 \pm 0,24$.

В дальнейшем планируется построить прямую между двумя плоскостями и посмотреть отклонение положения кластера на третьей плоскости, откорректировать прямую по полученным данным (возможно придется делать несколько итераций) и в итоге продлить откорректированную прямую до исследуемого детектора. Координатной точностью будет являться отклонение этой прямой от положения кластера, зарегистрированного детектором.

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] E. J. Schioppa et al. First measurements of the spectral and angular distribution of transition radiation using a silicon pixel sensor on a Timepix3 chip. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 936:523–526, 2019.
- [4] T Poikela, J Plosila, T Westerlund, M Campbell, M De Gaspari, X Llopart, V Gromov, R Kluit, M van Beuzekom, F Zappone, V Zivkovic, C Brezina, K Desch, Y Fu, and A Kruth. Timepix3: a 65k channel hybrid pixel readout chip with simultaneous toa/tot and sparse readout. *Journal of Instrumentation*, 9(05):C05013, may 2014.
- [5] Moritz Kiehn. Proteus beam telescope reconstruction, 2019.