

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

Студент

Токарева П.С.

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

Смирнов С.Ю.

Москва 2021

Содержание

1	Введение	4
1.1	Переходное излучение	4
1.2	Цели и задачи работы	4
2	Описание эксперимента	5
2.1	Система PID	5
2.2	Набор данных	6
2.3	Пакеты программ	6
3	Обработка данных	7
3.1	Изучение спектров амплитуд пионов и электронов	7
3.2	Изучение 2d спектров корреляций сигналов детекторов	8
3.3	Определение количества примеси остаточных частиц одного сорта в наборе данных по частицам другого сорта	9
4	Заключение	12

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. [1] ПИ возникает по обе стороны границы раздела среды и обусловлено изменением поля частицы при переходе из одной среды в другую.

В случае ультрарелятивистских 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

$$E \sim \gamma^n$$

Детекторы переходного излучения (TRDs) широко используются для регистрации ультрарелятивистских 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. [2]

1.2 Цели и задачи работы

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

Главной задачей работы является определение остаточной примеси частиц одного сорта в наборе данных по частицам другого сорта (с какой вероятностью пион будет идентифицирован как электрон, и наоборот).

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, используемым как детектор. За детектором располагается система определения частиц Particle Identification detectors (PID).[3]

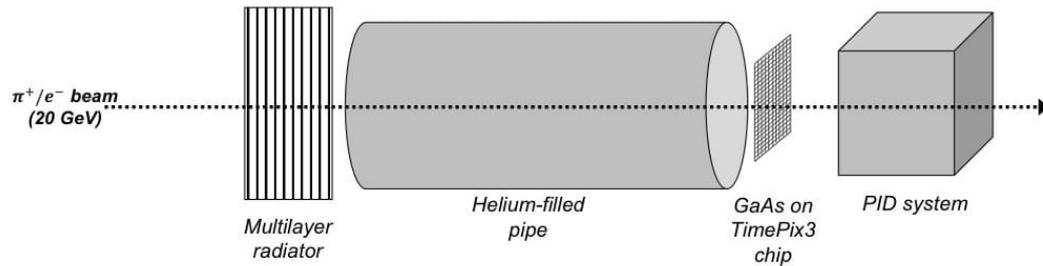


Рис. 1: Схема установки

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) позволяет эффективно разделять источники высвобожденной энергии, отличая одиночные фотоны от пар фотонов, появляющихся в результате распадов пи-мезонов [4].
- 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, которые суммарно давали 12 значений откликов.

2.3 Пакеты программ

Для анализа данных был использован пакет программ и библиотек ROOT. На одном из этапов были использованы библиотеки для обработки данных pandas [5] и numpy [6].

3 Обработка данных

3.1 Изучение спектров амплитуд пионов и электронов

На первом этапе работы были построены амплитудные спектры сигналов с трёх детекторов с учетом того, какая по показаниям триггерной электроники пролетела частица: электрон или пион. Результаты представлены на Рис. 2, Рис.3 и Рис.4.

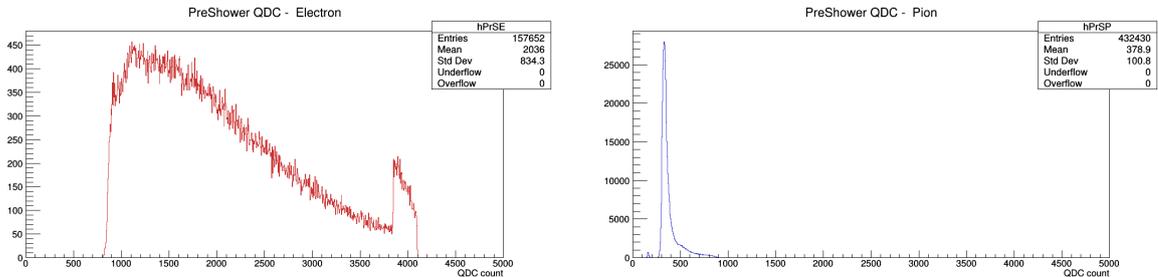


Рис. 2: Спектр амплитуд Ливневого детектора для электронов (слева) и пионов (справа).

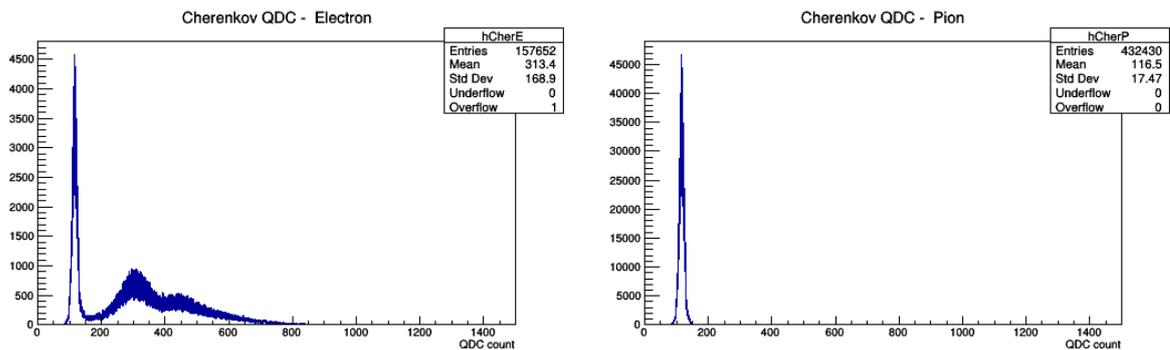


Рис. 3: Спектр амплитуд Черенковского детектора для электронов (слева) и пионов (справа).

На основании наборов данных, представленных на рисунках с помощью пакетов pandas были определены границы областей по амплитудам, в которых с наибольшей вероятностью лежат сигналы от пролетающих пионов и электронов частиц. Доверительный интервал был определён следующим образом:

1. Были обрезаны датасеты сигналов с детекторов согласно 5-му и 95-му перцентилю.
2. Полученные границы были взяты в качестве границ областей по амплитудам.

Результаты данного анализа представлены ниже:

- Для Ливневого детектора сигнал от электрона лежит в области 1000 – 3800 QDC count, от пиона в области 300 – 600 QDC count.

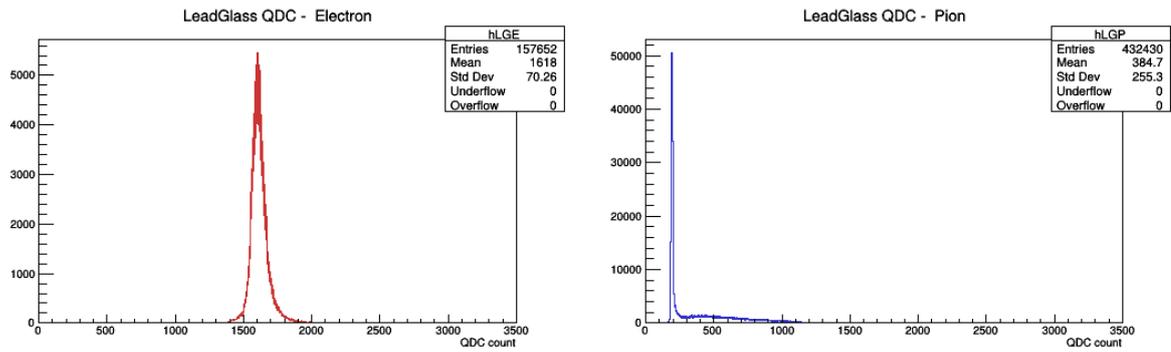


Рис. 4: Спектр амплитуд Каллориметра для электронов (слева) и пионов (справа).

- Для Каллориметра из свинцового стекла сигнал от электрона лежит в области 1500 – 1700 QDC count, от пиона в области 200 – 900 QDC count.
- Для Черенковского детектора сигнал от электрона лежит в области 250 – 650 QDC count, от пиона в области 100 – 130 QDC count.

3.2 Изучение 2d спектров корреляций сигналов детекторов

На втором этапе работы были построены двухмерные гистограммы зависимости амплитуды сигнала одного детектора от другого. Результаты представлены на Рис. 5, Рис.6 и Рис.7.

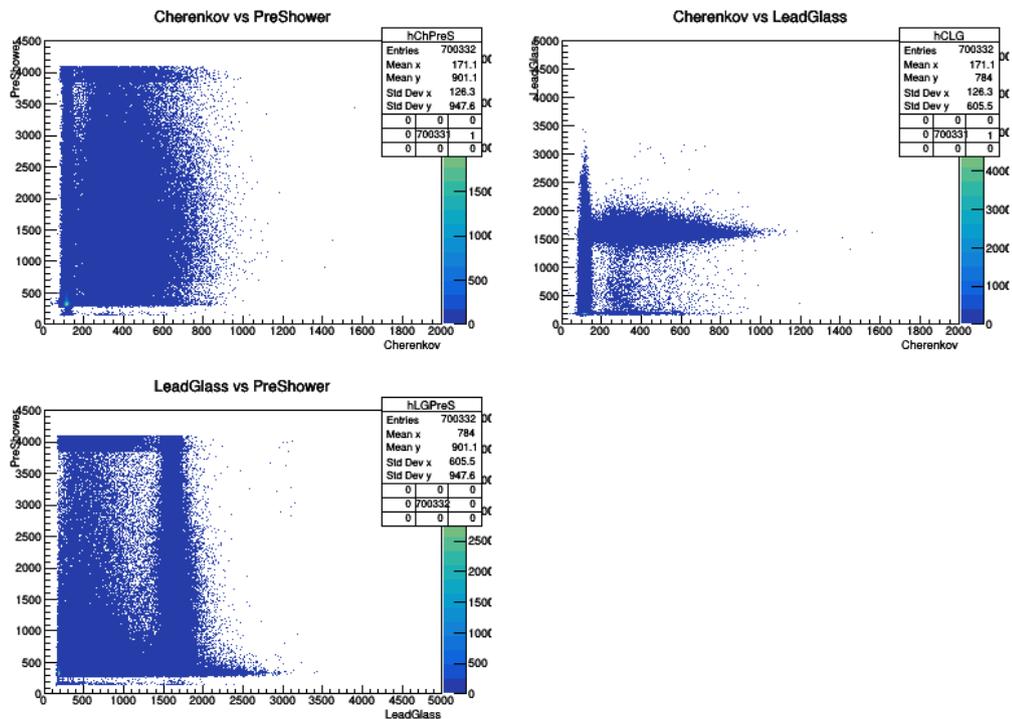


Рис. 5: 2d гистограммы зависимости амплитуд сигналов детекторов для всех событий(без учёта срабатывания триггера)

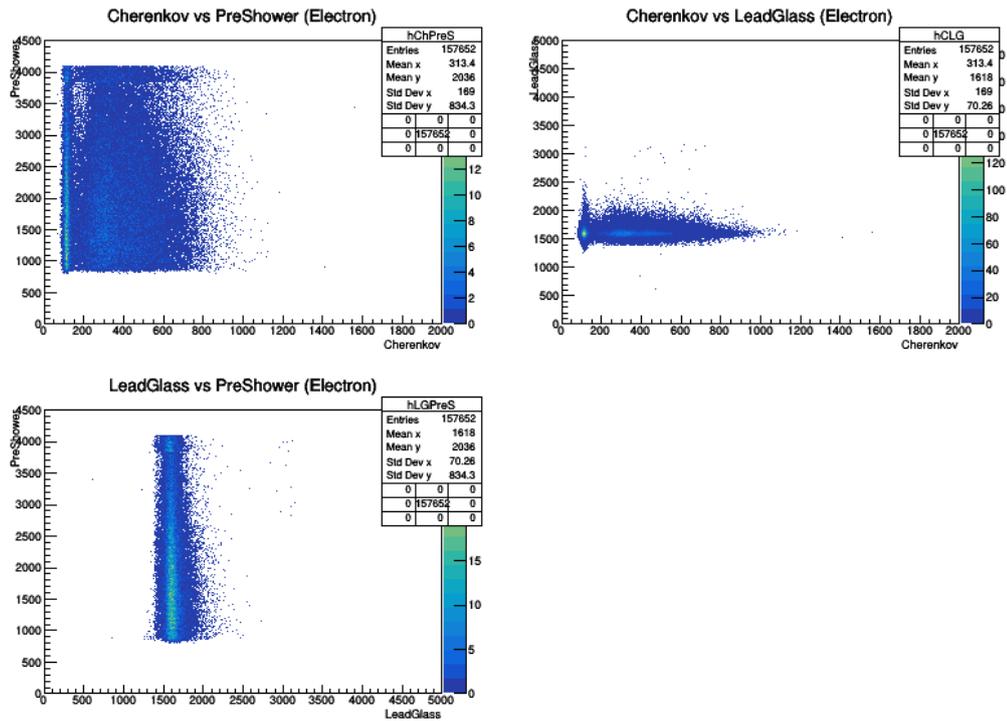


Рис. 6: 2d гистограммы зависимости амплитуд сигналов детекторов при учёте срабатывания триггера на электрон

По полученным гистограммам были определены границы амплитуд сигналов для идентификации частиц, которые используются в триггерной электронике. Результаты представлены в таблице 1.

Детектор	Черенковский	Ливневой	Калориметр
Электроны	90 - 120	900 - 4200	1450 - 2000
Пионы	130 - 800	250 - 850	150 - 1200

Таблица 1: Границы амплитуд сигналов для определения частиц, заложенные в триггерной электронике

3.3 Определение количества примеси остаточных частиц одного сорта в наборе данных по частицам другого сорта

На последнем этапе работы был проведен анализ амплитудных спектров с черенковского детектора. При этом пролетающая частица была идентифицирована с помощью двух других детекторов на основании результатов п. 3.1. Аналогично п. 3.1 были построены гистограммы этих сигналов, как и на первом этапе (Рис.8).

На основании гистограмм был определён интервал амплитуд (100–160 QDC count), в котором есть частицы, одновременно идентифицированные как пионы и электроны. Доля таких событий было расценено как количество остаточных примесей:

- Процент примесей в данных о сигналах электронов - 27% ;

- Процент примесей в данных о сигналах пионов - 16%.

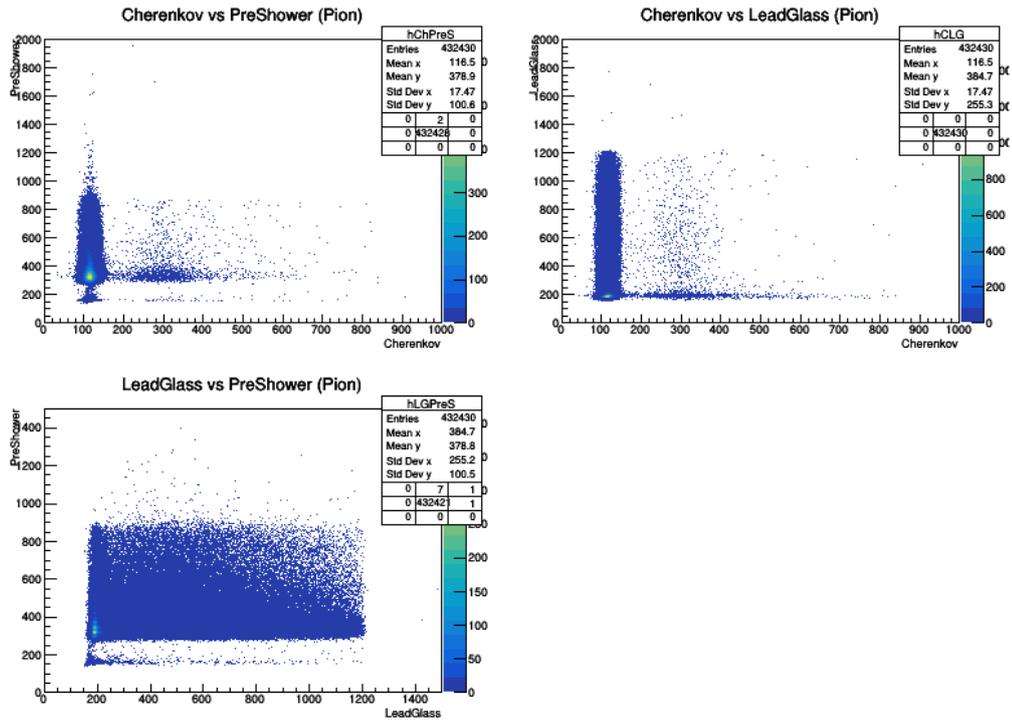


Рис. 7: 2d гистограммы зависимости амплитуд сигналов детекторов при учёте срабатывания триггера на пион

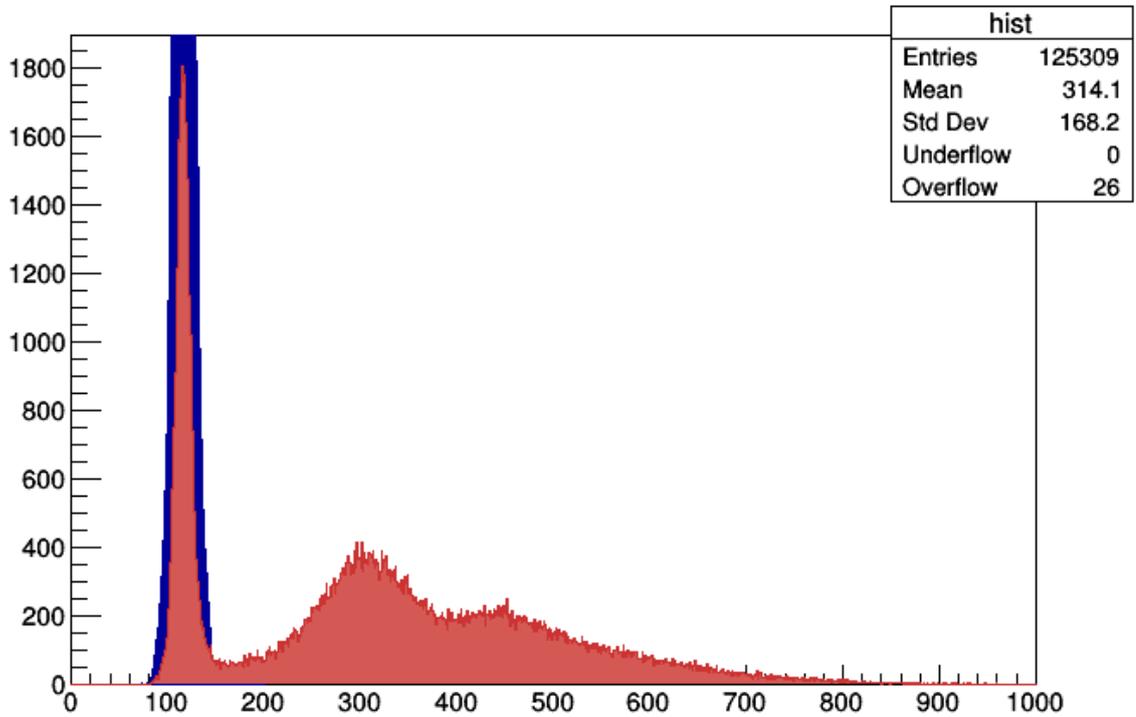


Рис. 8: Амплитудные спектры черенковского детектора, когда ливневой детектор и калориметр определили пролетающую частицу как электрон(красный) или пион(синий).

4 Заключение

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

- Были изучены базовые принципы работы с пакетами программ root, pandas и numpy;
- 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;
- Был найден процент примесей остаточных части одного типа в данных частиц другого типа.

Список литературы

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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] Rong-Shyang Lu. «The CMS preshower construction and commissioning». В: *Nucl. Instrum. Meth. A* 617 (2010). Под ред. Giorgio Chiarelli и др., с. 103—104. DOI: 10.1016/j.nima.2009.09.116.
- [5] Wes McKinney и the Pandas Development Team. *pandas: powerful Python data analysis toolkit Release 1.3.5*. 2021.
- [6] *NumPy v1.21 Manual*. 2021.