

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени М.В. ЛОМОНОСОВА»
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

КУРСОВАЯ РАБОТА

**«Анализ экспериментальных данных тестирования модулей
времяпролетной системы TOF MRD на космических мюонах и
создание базы данных результатов тестирования»**

Работу выполнил:

Веретенников Кирилл Игоревич

216 группа

Научный руководитель: к.ф.-м.н. объединенного института ядерных
исследований лаборатории физики высоких энергий Бабкин Вадим
Андреевич.

Содержание

1	Введение	2
2	Обзор литературы	2
2.1	Комплекс NICA и эксперимент MPD	2
2.2	Устройство времяпролетной системы TOF MPD и детектора МРПК	4
2.3	Устройство и назначение тестового стенда	9
2.4	Фреймворк MPDRoot	10
3	Практическая часть	12
4	Заключение	16
5	Список литературы	16

1 Введение

Основная цель данной курсовой работы состоит в изучении времяпролетной системы TOF эксперимента MPD на ускорительном комплексе NICA. В первой части дается обзор литературы, в котором описывается сам комплекс и части, из которых он состоит. Больше внимание уделено эксперименту MPD. Показана суть эксперимента, устройство времяпролетной системы TOF, ее составные части и принцип работы детектора. Отдельный раздел посвящен программному обеспечению, используемому для обработки и анализа данных, полученных на детекторе.

Вторая, практическая часть работы, посвящена обработке экспериментальных данных, полученных на стенде тестирования модулей TOF на космических мюонах при помощи программного пакета MPDRoot. В этой части более подробно описывается формат получаемых данных и методика их анализа. На примерах показаны результаты обработки. Отражены суть и итог проделанной работы.

2 Обзор литературы

2.1 Комплекс NICA и эксперимент MPD

NICA представляет собой ускорительный комплекс, создаваемый на базе уже существующего ускорителя Нуклотрон. Комплекс позволит проводить всевозможные эксперименты в физике высоких энергий. Например, проведение экспериментов с использованием встречных высокоинтенсивных пучков тяжелых ионов (вплоть до Au^{+79}) в диапазоне энергий $\sqrt{S_{NN}} = 4 - 11$ ГэВ, а также встречных пучков поляризованных протонов и дейтронов. Его основная научная цель - поиск новых явлений в богатой барионами области фазовой диаграммы КХД. Результаты экспериментов помогут лучше понять адронную динамику и образование частиц в области высокой плотности барионов.

Комплекс NICA состоит из нескольких частей (рис. 1):

- ▷ **Инжекционная часть.** Включает в себя несколько источников ионов, которые независимо подразделяются на инжекторы легких и тяжелых ионов. Инжектор легких ионов включает в себя: лазерный источник, дуоплазмотрон, источник поляризованных протонов и дейтронов SPI. В инжектор тяжелых ионов входит электронностронный источник КРИОН-6Т. Также в инжекторы входят линейные ускорители легких и тяжелых ионов ЛУ-20 и NILAS. Они предускоряют ионы до энергии 5 МэВ/н и транспортируют их в кольцо бустера.

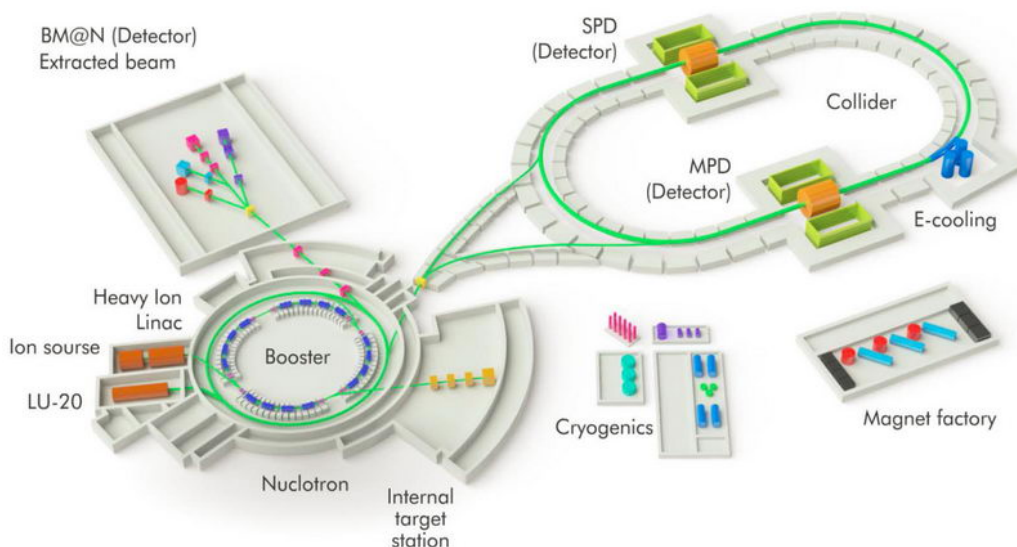


Рис. 1: Схема ускорительного комплекса NICA

- ▷ **Бустерный синхротрон.** Главная задача - это накопление $\sim 10^9$ ионов Au^{31+} и укорение их до энергии 578 МэВ/н, что приведет к ионизации золота до состояния $^{179}Au^{79+}$. Далее ионы поступают в основной ускоряющий элемент комплекса - Нуклотрон.
- ▷ **Нуклотрон.** Нуклотрон способен работать в нескольких режимах. Во-первых, это ускорение сгустка ионизированных тяжелых ионов до кинетической энергии 4.5 ГэВ и последующей инжекции в коллайдер. Во-вторых, ускорение поляризованных протонов и дейтронов, которые в дальнейшем также инжектируются в коллайдер. В-третьих, ускорение протонов, дейтронов (в обсуждаемом режиме протоны и дейтроны могут быть неполяризованы) и тяжелых ионов для экспериментов на внутренней мишени или их медленного вывода для экспериментов на фиксированных мишенях.
- ▷ **Коллайдер.** Состоит из двух колец, расположенных друг над другом, сведение и разведение пучков при этом осуществляется в вертикальной плоскости. Как было сказано выше, в коллайдер инжектируются частицы из нуклотрона в первом и втором режиме его работы. Ионы движутся во встречных кольцах непрерывно, при этом предусмотрена возможность их доускорения или замедления.
- ▷ **Детекторы.** На коллайдере находится два места встречи пучков. В южной части располагается система детекторов SPD (Spin Physics Detector), которая служит для изучения спиновой физики (используются поляризованные и неполяризованный протоны и дейтроны). В северной части

установлен детектор MPD (MultiPurpose Detector), который служит для изучения свойств горячей и барионной материи (используются тяжелые ионы).

Программа эксперимента MPD очень обширна. Основные исследования, проводимые при помощи детектора: изучение уравнения состояния ядерной материи при высоких плотностях, частичное восстановление киральной симметрии, фазовый переход, включая возможность обнаружения деконфайнмента, свойства кварк-адронной фазы и наличие критической точки на фазовой диаграмме. Помимо фундаментальных проблем, исследования позволят лучше понять механизмы образования и стабильности нейтронных звезд и эволюцию Вселенной.

2.2 Устройство времяпролетной системы TOF MPD и детектора МРПК

Обширная физическая программа MPD предполагает, что для успешного проведения эксперимента требуется высокая точность измерений. Используемый в работе многоцелевой детектор, созданный с учетом последних достижений в методике детектирования и в области электроники, полностью удовлетворяет поставленным задачам.

На рисунке (рис.2) показана структура детектора в виде осевого сечения. Детектор имеет форму цилиндра с торцевыми частями, расположенного вокруг области столкновения пучков. Сам детектор является 4π спектрометром, который способен регистрировать адроны, электроны и фотоны, образующиеся в реакциях столкновения тяжелых ионов.

Для понимания принципа работы, перечислим основные системы детектора:

1. Сверхпроводящий магнит-соленоид. Создает однородное магнитное поле внутри детектора.
2. Система идентификации частиц. Включает в себя множество подсистем:
 - ▷ время-проекционная камера (TPC), используется для идентификации частиц по ионизационным потерям
 - ▷ времяпролетная система (TOF), разделяет заряженные частицы в области импульсов до 2 ГэВ/с;
 - ▷ электромагнитный калориметр (EMCal), идентифицирует фотоны и электроны, а также измеряет их энергию.

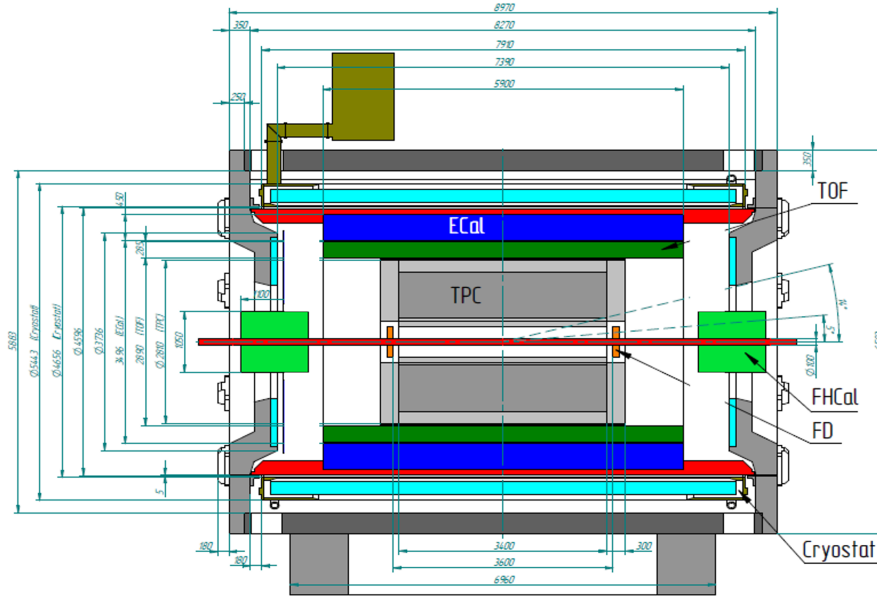


Рис. 2: Структура Многоцелевого детектора в конечной конфигурации с основными размерами.

3. Трековая система :

- ▷ Внутреннего трекера(ИТ). Обеспечивает точный трекинг вблизи области взаимодействия.
- ▷ Времяпроекционной камеры(ТСП). Является основным трекером заряженных частиц.
- ▷ TOF и ECal могут использоваться для получения дополнительной трековой информации.

4. Система триггера:

- ▷ Быстрый детектор(FD). Предназначен для формирования стартового сигнала для (TOF) и определения Z-координаты точки взаимодействия.
- ▷ Счетчик встречных соударений пучков(ВВС). Служит для создания триггерного сигнала в случае взаимодействия частиц в диапазоне прицельных параметров до 15,8 ферми при столкновениях ядер золота.
- ▷ Адронный калориметр(FHCAL). Используется для определения центральности взаимодействия по энергии спектаторов.

Для лучшего представления методики идентификации частиц кратко опишем принцип работы времяпролетной системы с теоретической точки зре-

ния. В основе метода лежит релятивистский инвариант энергии-импульса. При помощи несложных вычислений (все необходимые расчеты с подробными пояснениями приведены в диссертации[1]), можно получить квадрат массы. Далее простым дифференцированием по параметрам получим формулу разрешения частиц по массе, упростив которую, имеем дисперсию квадрата массы частицы, определяемую из времени пролета. Из полученных рассуждений можно получить искомые формулы разницы во времени двух частиц (2.1) и числа стандартных отклонений (2.2). При этом точность времени пролета зависит от временного разрешения σ_{ToF} всей времяпролетной системы (2.3), которая включает в себя разрешение стартового детектора, детекторов конечной временной отметки, электроники и синхронизирующих устройств:

$$\Delta t = \frac{L}{c} \left(\sqrt{1 + \frac{m_1^2}{p^2 c^2}} - \sqrt{1 + \frac{m_2^2}{p^2 c^2}} \right) \quad (2.1)$$

$$N_\sigma = \frac{\Delta t}{\sigma_{ToF}} = \frac{L}{c \sigma_{ToF}} \left(\sqrt{1 + \frac{m_1^2}{p^2 c^2}} - \sqrt{1 + \frac{m_2^2}{p^2 c^2}} \right) \quad (2.2)$$

$$\sigma_{ToF} = \sqrt{\sigma_{start}^2 + \sigma_{stop}^2 + \sigma_{FEE_start}^2 + \sigma_{TDC_start}^2 + \sigma_{TDC_stop}^2 + \sigma_{syn}^2} \quad (2.3)$$

Современная электроника обладает хорошими временными характеристиками, то есть главной задачей становится выбор конструкции детекторов и правильная оптимизация их работы. Для этих целей и выбрана многозаярная резистивная плоская камера.

Обсудим устройство и принцип работы многозаярной резистивной плоской камеры (далее МРПК). МРПК представляет собой набор узких параллельных газовых промежутков, образованных электродами. Электроды обладают большим объемным сопротивлением ($10^{10} - 10^{13}$ Ом·см), а также, для создания внутри газового промежутка электростатического поля, покрыты проводящим покрытием с поверхностным сопротивлением 5-20 МОм/см, на которое подается необходимое высокое напряжение. Большое сопротивление пластин и проводящего покрытия обеспечивает быстрое гашение заряда с поверхности, что обеспечивает прохождение индуцированного сигнала без потерь. При уменьшении ширины зазора уменьшается разброс по времени, а следовательно улучшается временное разрешение. Однако вероятность образования кластера в узком зазоре ниже, чем в широком. Поэтому наилучшим решением является использование многозаярной РПК. В такой конструкции промежуточные электроды не соединены с питанием, а баланс зарядов на них

обеспечивается за счет положительных и отрицательных токов лавин в соседних зазорах. За счет рекомбинации зарядов, потенциал в среднем остается неизменным. При этом большое число зазоров делят на отдельные части, называемые стеками. Это необходимо для уменьшения высокого напряжения, подаваемого на высоковольтные электроды.

В эксперименте MPD используется трехстековая конструкция МРПК (рис. 3). Каждый стек состоит из 5 газовых зазоров, каждый шириной 200 мкм. Высокое напряжение подается на внешнее стекло каждого стека (стекло покрыто проводящим веществом).

При тестировании детектора на пучке частиц было получено лучшее временное разрешение 40 пс. Измеренное временное разрешение детектора, предназначенного для времяпролетной системы TOF MPD, в среднем, составляет 50 пс (включая временное разрешение электроники) на всей активной поверхности, что в два раза превосходит требования Многоцелевого детектора. Для расчетов используется временное разрешение 80 пс. Такое значение используется в связи с неизвестностью значения σ_{start} , что может влиять на итоговый результат временного разрешения вплоть до 80 пс.

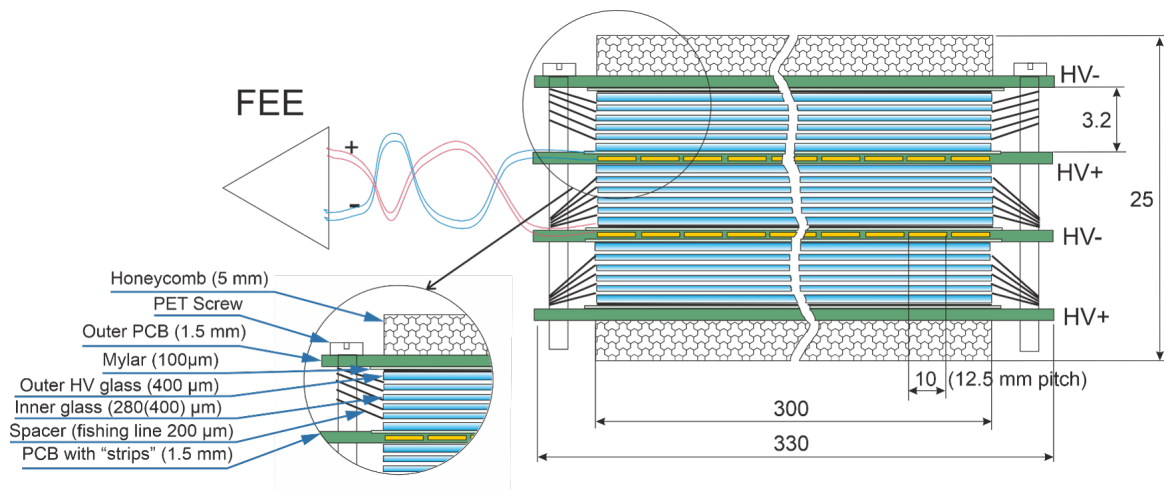


Рис. 3: Устройство многозазорной резистивной плоской камеры

Обсудим конструкцию времяпролетной системы. Времяпролетная система имеет цилиндрическую форму. Цилиндр состоит из 14 секторов, каждый из которых состоит из двух независимых модулей. Каждый модуль стыкуется с другим так, что крайние МРПК в этих модулях перекрываются (рис. 4), что обеспечивает лучшую геометрическую эффективность.

Каждый модуль состоит из внутреннего газового объема и внешнего объема накамерной электроники, разделенных опорной плоскостью. В герметичном газовом объеме модуля располагаются детекторы МРПК в количестве

десяти штук. Такая конструкция необходима для заполнения газовых зазоров рабочей газовой смесью на основе фреонов. При этом очень важно минимизировать утечку рабочей смеси из газового объема, так как в основном объеме находятся электроотрицательные компоненты, которые могут негативно повлиять на работу времяпролетной камеры. Все детекторы (кроме одного центрального в одном из модулей) расположены под углом 6 градусов к оси пучка. Такая конфигурация обеспечивает лучшее перекрытие активных областей детекторов и пересечение частиц детекторов TOF под меньшими углами. Это уменьшает множественность срабатывания каналов МРПК и улучшает эффективность поиска соответствия треков и событий времяпролетной системы.

Во внешнем объеме модуля находится накамерная электроника, представляющая собой предусилители-дискриминаторы, кабели низковольтного питания усилителей и сигнальные кабели.

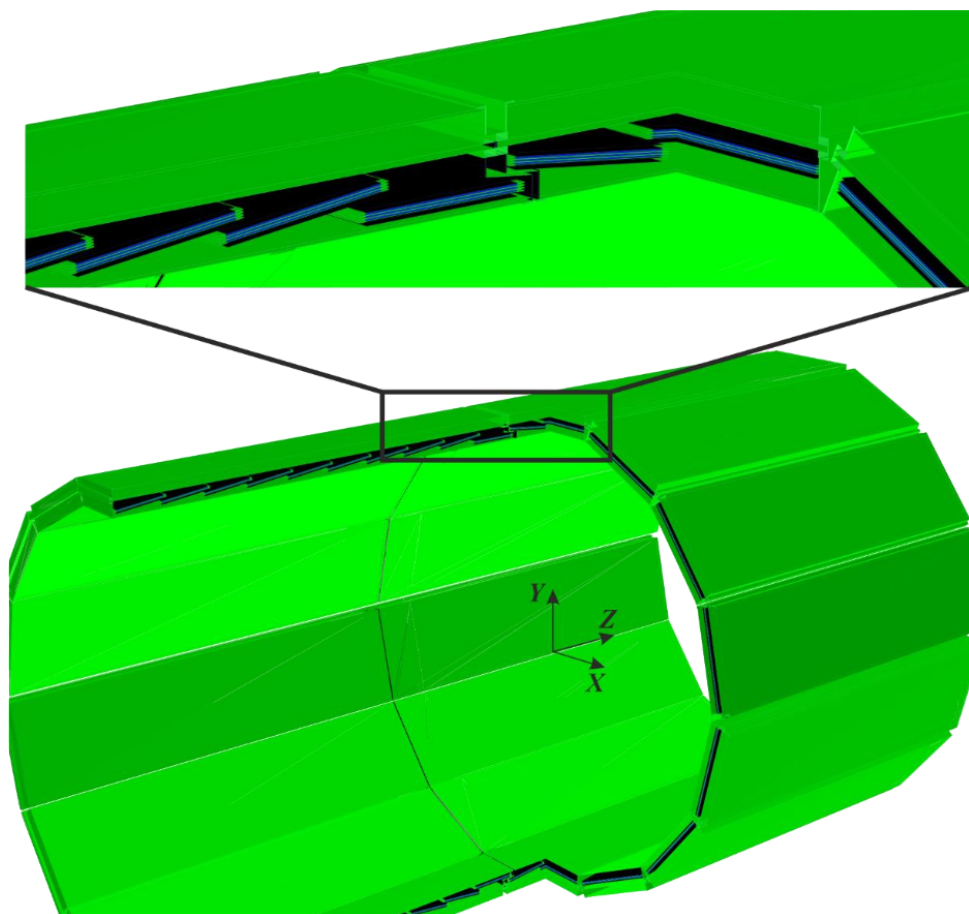


Рис. 4: Геометрия цилиндрической части TOF MRD

2.3 Устройство и назначение тестового стенда

Все модули детектора ТоF должны показывать надежность при длительной эксплуатации, так как их демонтаж и последующий ремонт является очень затруднительным. То есть каждый модуль должен быть испытан в течении длительного времени, в условиях, близких к рабочим. Из-за большой площади и длительности проверки, протестировать модули на пучке частиц ускорителя практически невозможно.

Для длительной проверки был создан специальный стенд тестирования модулей на космическом излучении (рис. 5). Все оборудование на стенде в точности соответствует тому, что будет использоваться в MPD.

Обсудим устройство стенда. Его основу составляет опорная конструкция из алюминия, на которой помещается до 8 модулей. Установка модулей происходит при помощи рельс-пазов, по которым можно задвинуть модуль в свою ячейку, а после зафиксировать. При этом сигнальные кабели по кабель-каналам прокладываются к стойкам со считывающей электроникой. Газовая система стенда также идентична той, что будет использоваться в MPD. Ее главная особенность - это циркуляция газа по замкнутому циклу с очисткой отработавшего газа от водяных паров и кислорода.



Рис. 5: Стенд тестирования модулей на космическом излучении.

На этом стенде будет проводиться тестирование модулей TOF перед уста-

новкой их в баррель МРД. В первую очередь в процессе тестирования будет проверяться работоспособность всех каналов модуля и стабильность рабочих параметров при длительном времени работы. Помимо этой задачи, на стенде будут получены предварительные калибровки, корректировки и параметры детекторов, необходимые для дальнейшего использования их в МРД.

2.4 Фреймворк MPDRoot

MPDRoot - это программная среда для моделирования, реконструкции и физического анализа сгенерированных или экспериментальных данных, полученных в ходе проведения эксперимента МРД на коллайдере NICA.

MPDRoot построен поверх систем анализа данных ROOT и FairRoot, которые содержат необходимые инструменты для моделирования: виртуальный метод Монте-Карло, интерфейсы к различным генераторам событий, интерфейсы к детекторам и их геометрии и т.д.). MPDRoot имеет сложную многоуровневую систему, которая управляется Менеджером запуска (рис. 2).

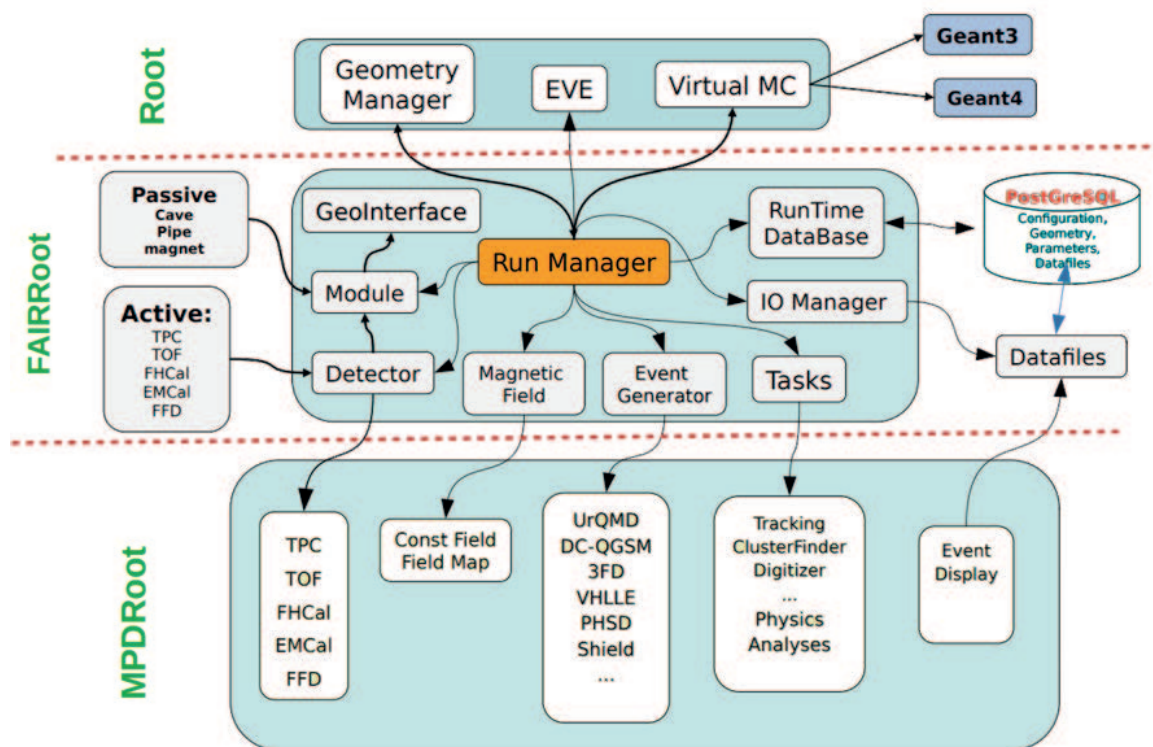


Рис. 6: архитектура MPDRoot

Процесс обработки экспериментальных данных с использованием MPDRoot имеет следующую структуру:

1. Необработанные данные, предварительно записанные системой сбора данных (далее ССД) преобразуются в ROOT формат и конвертируются в оцифрованные данные детекторов.
2. Далее осуществляется процедура реконструкции с целью определения параметров частиц, провзаимодействовавших с детектором.
3. Используя полученные данные, выполняется физический анализ.

Алгоритм обработки экспериментальных данных представляет собой цепочку задач, которые последовательно выполняются внутри запущенной сессии от события к событию (Рис. 7). Можно выделить 3 этапа: преобразование двоичных данных в цифровые данные TDC, преобразование данных TDC в данные детектора TOF и реконструкция хитов. Данные полученные от ССД записываются с помощью метода записи данных TVL(tag-length-value), который определяет простую двоичную структуру из трех полей: тег, длина данных и сами данные.

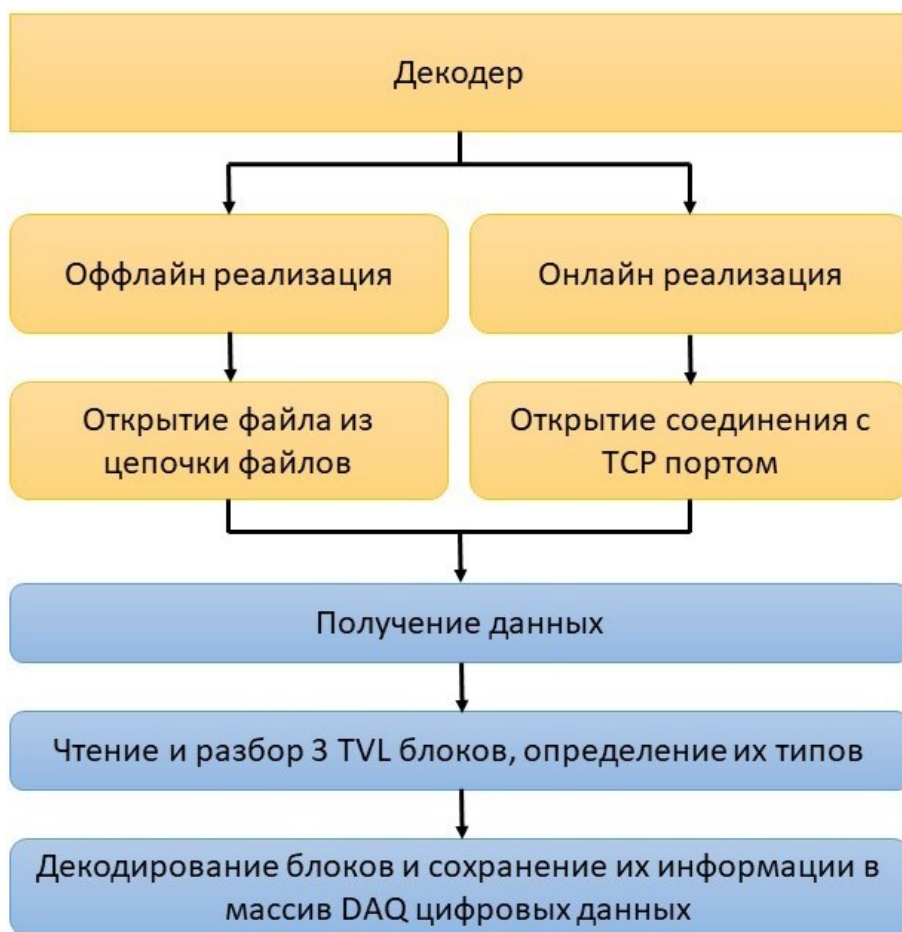


Рис. 7: Схема работы декодера

При выполнении процедуры декодирования помимо алгоритмов преобразования и реконструкции необходимо использовать таблицы соответствий каналов электроники каналам детекторов, геометрию установки, а также применить соответствующие калибровки и коррекции. Пакет MPDRoot осуществляет взаимодействие с центральной базой данных эксперимента MPD, в которой хранятся необходимые данные.

В итоге, по окончании описанной процедуры мы имеем ROOT файл со статистической информацией и деревом событий, каждая ветвь которого содержит массив оцифрованных данных.

Процесс установки MPDRoot на локальную машину достаточно прост. Осуществляется с помощью сценария и совместим с любыми основными дистрибутивами linux на основе RedHat и Debian. Установка занимает минуты и включает в себя ввод нескольких команд. Подробная информация об установке и работе с MPDRoot представлена на сайте[6].

3 Практическая часть

Целью настоящей работы является создание сводной таблицы результатов тестирования модулей TOF.

Таблица создана на основе обработанных данных. Для обработки данных использовалась система MPDRoot, макросы и bash-скрипт, использующийся для автоматизации обработки большого количества файлов.

Рассмотрим подробнее формат данных и процесс обработки. С установки тестирования модулей TOF записываются данные в двоичном формате (так называемые raw-data), имеющие расширение .data. В этих данных содержится последовательно записанная информация о сигналах детекторов в виде отдельных пакетов. Каждый пакет имеет следующую структуру: код начала пакета, длина пакета, полезная информация и код окончания пакета(формат TVL). Двоичные данные декодируются и создается ветка в конечном файле, которая называется TDCDigit. После, данные TDC преобразуются в цифровой файл с информацией о срабатывании детектора. Наконец, можно восстановить попадание частицы в TOF детектор. Обработка происходит с участием таблиц соответствия каналов приборов каналам электроники, гарантирующих корректный результат обработки.

В рамках разработанного программного комплекса для анализа восстановленных данных реализован алгоритм проведения треков по 4 попаданиям. Попадания группируются в каждом из модулей по положению попадания, его времени и амплитуде и упорядочиваются по амплитуде сигнала. В итоге, для одного трека используются хиты с наибольшей амплитудой из разных кластеров(рис. 8). Подробнее в статье[8].

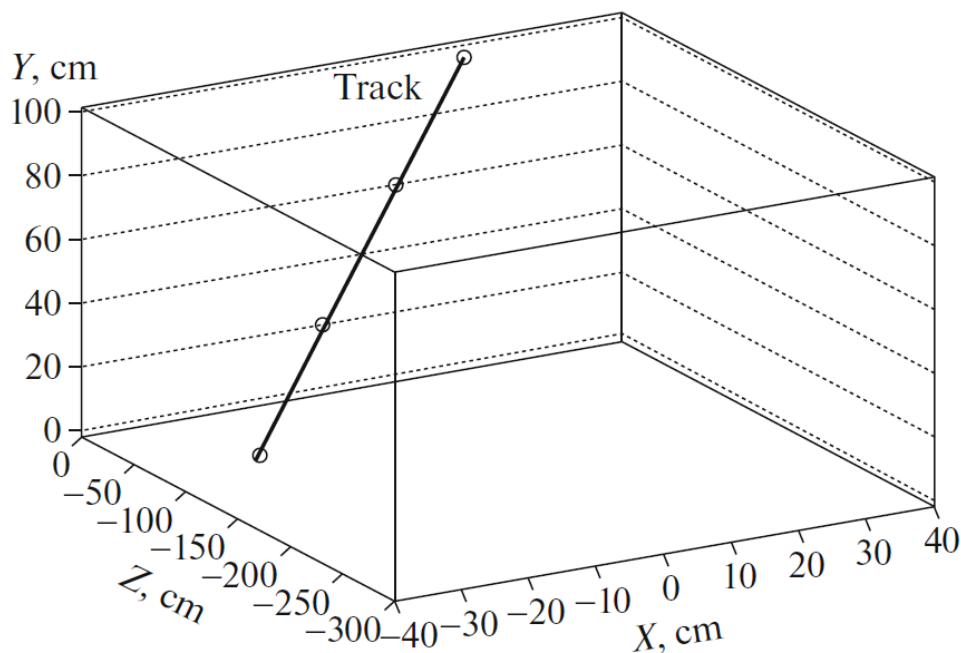


Рис. 8: Реконструкция трека на основе четырех попаданий на разные модули системы TOF.

В ходе выполнения работы было обработано 29 data-файлов. Обработка data-файлов происходила при помощи предварительно написанного макроса и системы MPDRoot. Для более корректной обработки изначально устанавливается соединение с серверами MPD по протоколу PTPP (Point-to-Point Tunneling Protocol), благодаря чему появляется возможность загрузки калибровок и коррекций детектора. С подключением могут возникать проблемы, в моем случае для установления соединения пришлось внести дополнительные разрешения в firewall. Подробнее с процедурой настройки соединения можно ознакомиться на сайте[7].

Для ускорения процесса обработки был написан bash-скрипт (рис. 9), позволяющий запускать сразу несколько процессов в фоновом режиме. В ходе работы были опытным путем подобраны соответствия 11 таблиц и 29 data-файлов, что оправдывает написание скрипта.

Конечный результат представлен в виде двух графиков. У первой зависимости (Рис. 10) по вертикальной оси отложено количество отсчетов, а по горизонтальной оси номер стрипа(считывающего электрода). Номер стрипа определяется из формулы: $(fSector-1)*240+24*fPlane+fstrip$, где $fSector$ - номер модуля(принимает значения от 1 до 4), $fPlane$ -номер МРПК в модуле(принимает значения от 0 до 9), а $fstrip$ -номер стрипа в МРПК(принимает

```
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_258", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_259", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_260", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_261", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_268", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_269", "StripMap_42b_04_2021.txt", 20, 0)' &

root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_052", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' & #2
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_054", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' & #3
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_056", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' & #4
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_068", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' & #5
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_079", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_080", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_300", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_302", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_304", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_306", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_064", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_065", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_075", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_253", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_258", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_259", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_260", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_261", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_268", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &
root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r7_269", "StripMap_42b_Left_12_2021.txt", 20, 0)' &

#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_052", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' & #2
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_054", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' & #3
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_056", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' & #4
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_068", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' & #5
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_079", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_080", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' &
#root -b -q 'runReco13.C("mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084", "StripMap_42b_mod1_24_3_11.txt", 20, 0)' &
```

Рис. 9: bash-скрипт.

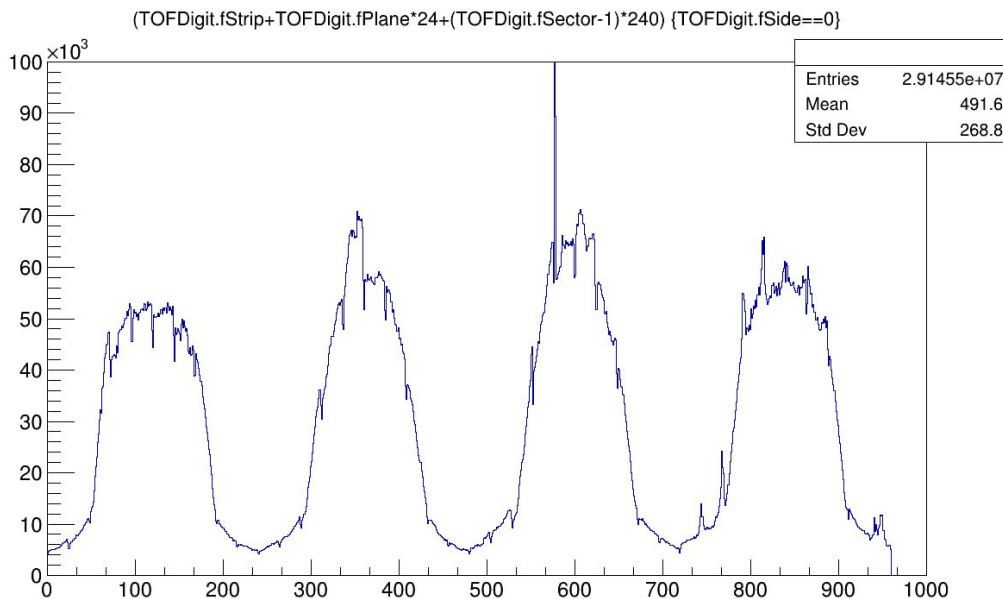


Рис. 10: Пример итогового графика

значения от 1 до 24). Левая либо правая сторона стенда выбирается заранее. Вторая зависимость (Рис. 11) представляет собой трехмерный график, включающий в себя координаты количества отсчетов, номер стрипа и амплитуды. Для приведения root-файлов к конечному виду был написан код, кото-

рый корректирует root-файлы путем удаления из дерева событий ненужных ветвей и построения на основе имеющихся данных описанных зависимостей. Визуализация данных в системе ROOT происходит при помощи встроенного проводника для root-файлов TBrowser.

Из графиков видно, что во время тестирования были задействованы не все стрипы. Также не все исходные data-файлы оказались пригодными для обработки. Требуется проведение процедуры поиска возможных ошибок, а также дополнительное тестирование детекторов.

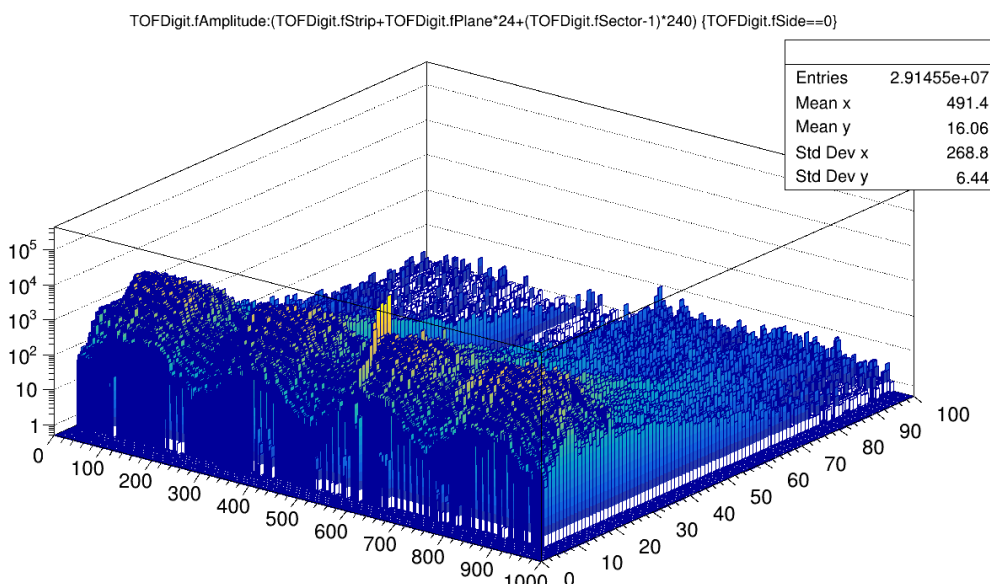


Рис. 11: Пример итогового графика

Исходный файл	Конечный файл	Таблица для 20 событий	Таблица для всех событий	20 событий	все события
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_052.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_052_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_054.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_054_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_056.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_056_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_068.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_068_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_071.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_071_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_119.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_119_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_126.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_126_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_127.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_127_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_140.data	mpd_run_MPD-TOF-STAND-1_140_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_079.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_079_big_hist.root	StripMap_42b_03_2021	StripMap_42b_03_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084_big_hist.root	StripMap_42b_03_2022	StripMap_42b_03_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_084_big_hist.root	StripMap_42b_03_2022	StripMap_42b_03_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_300.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_300_big_hist.root	Некорректные данные	Некорректные данные	Некорректные данные	Некорректные данные
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_302.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_302_big_hist.root	StripMap_42b_03_2025	StripMap_42b_03_2021_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_304.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_304_big_hist.root	Некорректные данные	StripMap_42b_03_2021_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r5_306.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r5_306_big_hist.root	Некорректные данные	StripMap_42b_03_2021_2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_008.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_008_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_010.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_010_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_011.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_011_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_064.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_064_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_065.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_065_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_075.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_075_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_253.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_253_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_258.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_258_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_259.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_259_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_260.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_260_big_hist.root	Некорректные данные	Некорректные данные	Некорректные данные	Некорректные данные
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_261.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_261_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	Некорректные данные	Данные успешно обработаны	Не строится дерево событий
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_268.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_268_big_hist.root	Некорректные данные	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны
mpd_run_mpd-tof-stand-r7_269.data	mpd_run_mpd-tof-stand-r7_269_big_hist.root	StripMap_42b_06_2021new.txt	StripMap_42b_06_2021new.txt 2022	Данные успешно обработаны	Данные успешно обработаны

Рис. 12: Отчет о проделанной работе.

4 Заключение

В результате выполнения работы было изучено устройство и принцип работы времяпролетной системы TOF эксперимента MPD; получены навыки работы с linux подобными системами; изучена система MPDRoot; изучен формат данных, получаемых с ССД, и методика их обработки. Итогом работы являются обработанные файлы в формате .root и готовый отчет в виде таблицы о проделанной работе. Эксперимент показал, что не все детекторы полностью работоспособны. Требуется дополнительные усилия для исправления найденных ошибок, а также повторное тестирование. Планируется более детальная проработка имеющихся данных, и обновление таблицы, в связи с набором новых данных.

5 Список литературы

1. Автор, В.А. Бабкин. Времяпролётная система идентификации частиц многоцелевого детектора (MPD): дис. ... канд. физ. мат. наук.
2. Единая среда разработки программного обеспечения и анализа для МПД эксперимента на НИКА коллайдере / Я. Буша мл. [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, No 1. С. 176-182. doi: <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.18.202201.176-182>
3. Status and initial physics performance studies of the MPD experiment at NICA
4. Development of the MRPC for the TOF system of the MultiPurpose Detector V.A. Babkin,1 S.N. Bazylev, I.S. Burdenyuk, M.G. Buryakov, A.V. Dmitriev, P.O. Dulov, V.M. Golovatyuk, S.P. Lobastov, M.M. Rumyantsev, A.V. Schipunov, A.V. Shutov, I.V.Slepnev, V.M. Slepnev, A.V. Terletskiy and S.V. Volgin Joint Institute for Nuclear Research.
5. <https://nica.jinr.ru/>
6. <https://mpdroot.jinr.ru/>
7. <https://noc.jinr.ru/ru/service/vpn-ubuntu-pptp.php>
8. Status of the Time-of-Flight System of the MPD Experiment at the NICA Collider V. Baryshnikov1), 2)*, V.Babkin1), S.Buzin1), A.Burdyko1), M.Buryakov1), V. Golovatyuk1), A.Dmitriev1), P.Dulov1), 3), M.Rumyantsev1), 4), S.Romakhov1), 4), T. Smolyanin1), V.Dronik1), 5), E.Kidanova5), A.Pyatigor5), and K. Vokhmyanina5) Received March 2, 2023; revised March 2, 2023; accepted March 2, 2023

9. Разработка системы обработки экспериментальных данных детекторов ESAL и TOF MPD/NICA, В. Барышников, Р. Адхикари, В. Бабкин, С. Базылев, М. Бхаттачарджи, М. Буряков, С. Бузин, А. Димитриев, В. Дроник, И. Дубровин, А. Дубровин, П. Дулов, В. Головатюк, и др.