

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

АЛМАТИНСКИЙ ФИЛИАЛ НИЯУ МИФИ

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**СБОРКА STRAW ДЕТЕКТОРА /
ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ СО
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА**

Студент
Научный руководитель

Тишков А. В.
Еник Т. Л.

Москва - 2025 г.

Содержание

1	Введение	3
2	Сборка детектора	4
2.1	Устройство детектора	4
2.2	Сборка	5
3	Анализ данных	6
3.1	Считывание данных с дампа и сохранение в root TTree	6
3.2	Фильтрация полезных событий	7
4	Заключение	10

1 Введение

В данной работе будут рассмотрены два независимых эксперимента. Первый посвящен сборке straw детектора до работоспособного состояния. Второй первоначальной обработки данных со сцинтилляторного детектора. Несмотря на то, что эксперименты не связаны между собой, оба направлены на развитие навыков работы с детекторной аппаратурой и обработки экспериментальных данных.

Straw-детекторы — это тип трековых детекторов, состоящих из проводящих трубок (обычно диаметром 4–10 мм), заполненных газовой смесью (например, Ar/CO₂). При пролёте заряженной частицы происходит ионизация газа, и дрейфующие электроны регистрируются анодной проволокой, что позволяет реконструировать траекторию частицы с высоким пространственным разрешением (вплоть до 100–200 мкм)[3]. Такая точность достигается при малом диаметре трубок, измерении времени дрейфа, фитировании сигналов при обработке и др. методов.

К преимуществам такого типа детекторов стоит отнести гибкость, при изготовлении трубок различной длины не возникает сложных технических проблем, что позволяет собирать из них детекторы совершенно разных форм и габаритов, что несомненно удобно. Кроме того straw детекторы, изготовленные из пластика, гораздо менее чувствительны к радиации, по сравнению с кремниевыми детекторами[2].

Первые прототипы straw-детекторов появились в начале 1980-х годов как альтернатива традиционным дрейфовым камерам. Ключевым преимуществом новой технологии стала модульность конструкции - отдельные трубки могли заменяться независимо, что значительно повышало ремонтпригодность детекторных систем[1]

Сцинтилляционные детекторы — широко распространённый тип детекторов ионизирующего излучения, в которых частицы взаимодействуют со сцинтиллятором, вызывая вспышки света, регистрируемые фотоумножителями (ФЭУ) или кремниевыми фотодетекторами (SiPM). Эти детекторы применяются в физике высоких энергий, ядерной медицине (ПЭТ-сканирование) и радиационном мониторинге благодаря высокой эффективности регистрации и хорошему временному разрешению (1–10 нс)[4].

Современные методы обработки включают фильтрацию шумов для выделения полезного сигнала; амплитудный анализ для определения энергии частиц; временной анализ для идентификации частиц и подавления фона.

2 Сборка детектора

2.1 Устройство детектора

Детектор, оказавшийся в моем распоряжении, состоит из 18 straw трубок, длина каждой трубки составляет 770, диаметр 44. Стенки трубок выполнены из тонкослойного алюминия. Предварительный расчетный объем одной трубки без учета толщины стенок:

$$V = \pi \frac{D^2}{4} H = 3.14 * \frac{0.44^2}{4} * 7.7 = 1.17 \text{ л}$$

Для 18 трубок объем газовой смеси составит:

$$V_{18} = 18 * 1.17 \text{ л} \approx 21 \text{ л}$$



Рис. 1: Конструкция детектора

Конструкция детектора устроена следующим образом: корпуса трубок соединены рамой, представляющую собой 4 пластины с углублениями под трубки. Пластины стягиваются с обеих сторон детектора винтами, обеспечивая фиксацию и общую земляную шину. Мне предстоит закрепить печатные платы к этим пластинам при помощи проставочных винтов. Плату с электроникой, ответственной за съём сигнала, предстоит распаять и подключить к торцу детектора.

2.2 Сборка

Печатные платы были получены мной в таком виде. Необходимо установить недостающие компоненты. После выполненных работ печатные платы выглядят как на правом фото. Мной были распаяны 4 экземпляра данных плат. После прошивки плата готова к работе.

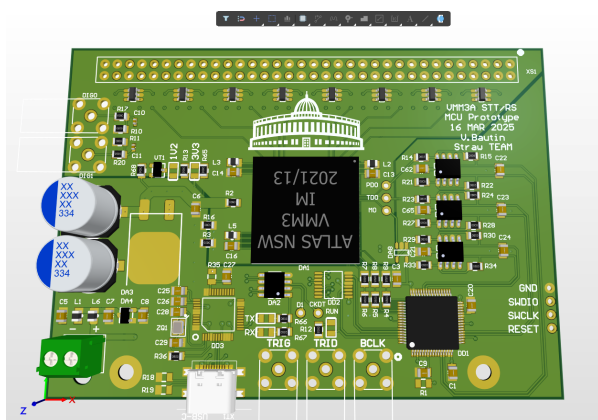


Рис. 2: Полученная плата

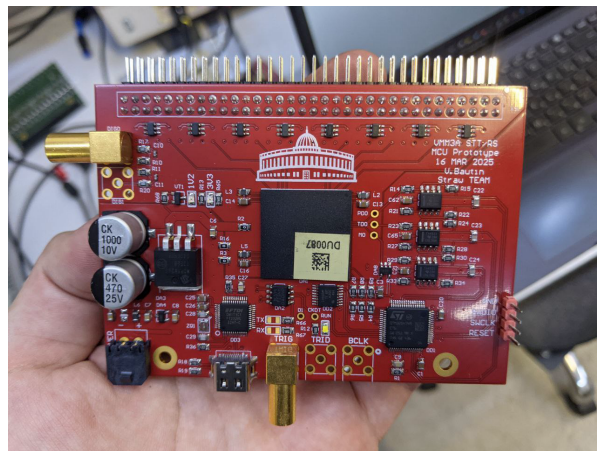


Рис. 3: Собранная плата

Для работы детектора необходимо подключить straw трубки к специальным платам, которые будут подводить к ним высокое напряжение. Подключение необходимо реализовать через разделительными конденсаторы и резисторы. Первые необходимы для отделения высокого постоянного напряжения и считывания сигнала, вторые для разделения сигналов с трубок, обеспечивая изолированность каналов. Для установки плат мной были изготовлены болты М6 нужной длины с резьбой М5 на конце для вкручивания в родную резьбу рамы детектора. Сами шпильки и платы на них фиксируются при помощи гаек М6. Конструкция получилась удобной для регулировок и жесткой.

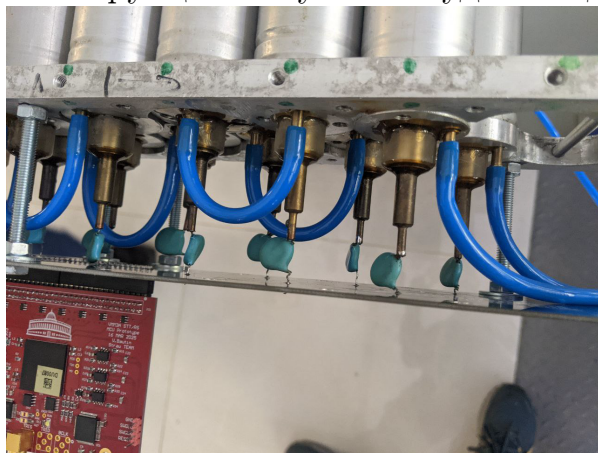


Рис. 4: Установленные разделительные конденсаторы



Рис. 5: Внешний вид детектора после сборки

На одну из печатных плат устанавливается высоковольтный разъем, а к торцу другой красная плата для съема и оцифровки сигнала. После сборки к детектору подключается газосмеситель, который продувает детектор смесью Ar и CO_2 от остатков воздуха. Смесью состоит на 73% из Ar и на 27% из CO_2 . После окончания процедуры детектор готов к калибровке и использованию.

3 Анализ данных

3.1 Считывание данных с дампа и сохранение в root TTree

Начало обработки необходимо начать со считывания данных с sql дампа в удобных для обработки формат. Данные в sql дампе представляют собой одновременную запись с каждого из 8ми каналов АЦП при фиксации частицы хотя бы на одном канале. Каждое событие записано в отдельную строку, каждая строка начинается с даты и времени фиксации, числа измерений одного события АЦП в каждом канале (nint), временного разрешения (timescale) и 8 последовательностей из измеренных значений, для каждого из каналов соответственно. В одном и том же дампе могут находиться события с разным временным разрешением и nint, при формировании TTree это необходимо учесть.

Для решения этой задачи мной была написана программа на C++ целью которой является подсчет числа строк и выделения событий с различным временным разрешением. Я скомпилировал ее в готовый бинарный исполняемый файл при помощи g++ O2, который позволяет ускорить обработку текстовых файлов. После исполнения программа должна передать полученные результаты скрипту ROOT, ответственному за формирование отдельных деревьев, каждое для уникального временного разрешения. Для реализации этого мной был составлен Bash скрипт, который запускает эту программу для подсчета, а далее передает ее вывод в скрипт ROOT который запускает следующим. Я реализовал удобную систему флагов у скрипта, позволяющую корректировать его работу без необходимости правки программного кода, например выделить и составить дерево только по событиям с определенным временным разрешением.

Сам скрипт ROOT парсит каждую строку, и записывает данные в дерево ROOT. Дата и время сохраняются в формате TDate, значения событий записываются в 8 отдельных веток по каналам. Работа скрипта сопровождается индикацией процесса. Готовую программу я разместил на github репозитории. В финальной версии запуск выглядит как `bash run.sh <название файла> -флаги`. Результатом работы являются файлы .root, содержащие дерево с данными. Название этих файлов формируется из первоначального названия обрабатываемого файла+временное разрешение.

3.2 Фильтрация полезных событий

Для дальнейшей обработки мной была составлена программа, считывающая данные из дерева ROOT. В этой программе я реализовал множество различных функций для обработки, которые можно комбинировать в нужном порядке. Одна из таких функций позволяет визуализировать конкретные события (или диапазон) и сохранять в виде `png` файлов по определенному пути. Рассмотрим визуализацию данных:

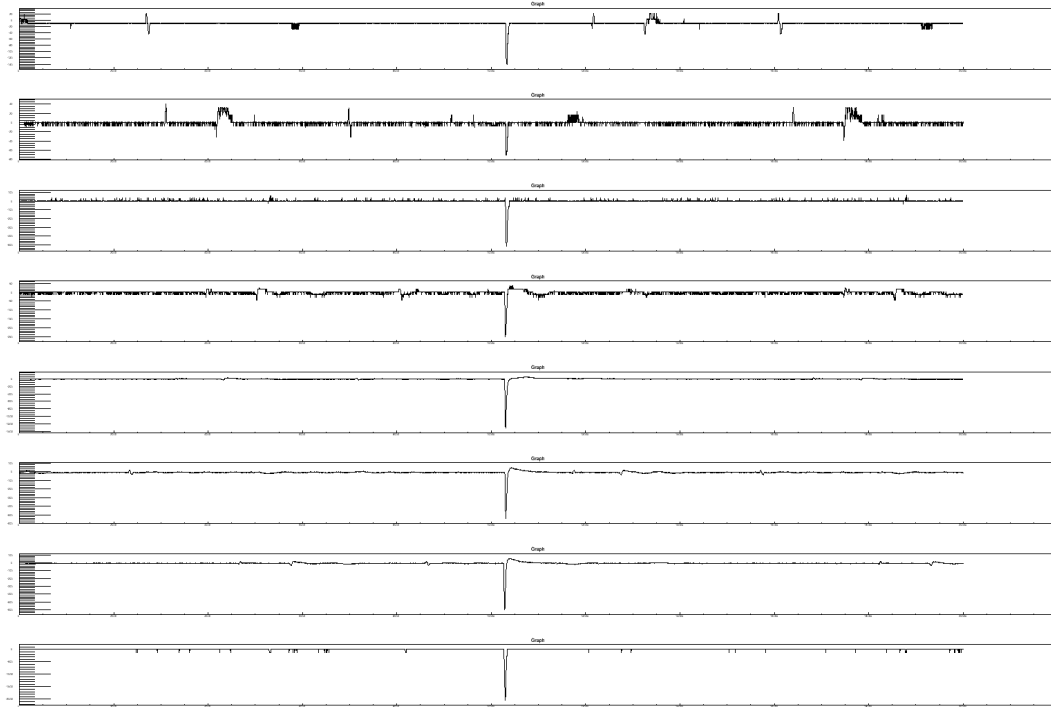


Рис. 6: Визуализация события по 8ми каналам

После анализа полученных изображений было установлено что на многих из них, помимо аналогового шума, присутствует высокочастотный цифровой. Для его сглаживания мной была реализована функция фильтра бегущего среднего. Результат ее работы следующий:

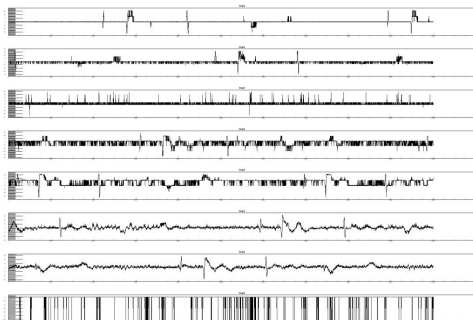


Рис. 7: До фильтрации бегущим средним

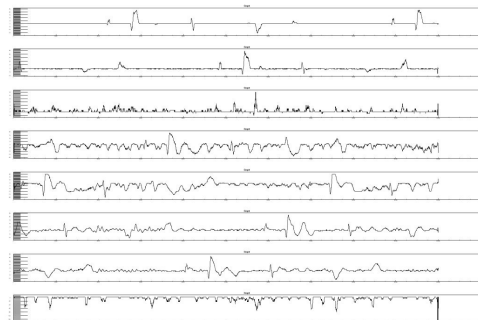


Рис. 8: После

Для дальнейшей обработки необходимо инвертировать сигнал, а также выставить на нем правильное нулевое значение. Написанная мною функция инвертирует и считает среднее значение по всему графику, выставляя его за новый ноль и зануляя все отрицательные области. Результат:

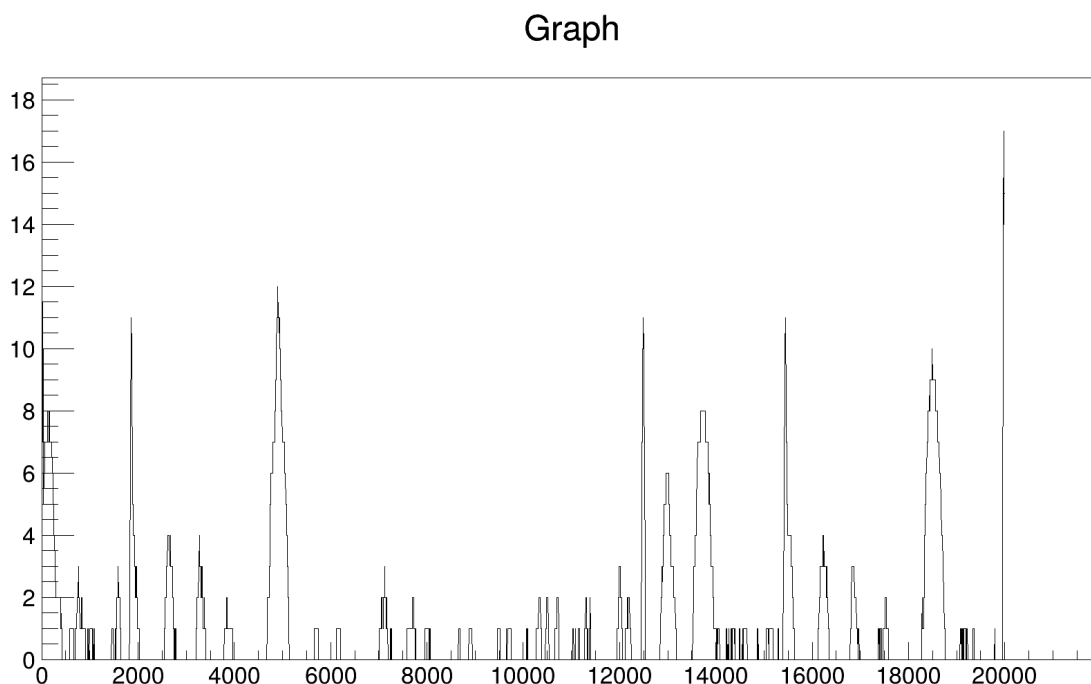


Рис. 9: График события по 1 каналу после инверсии и установки нулевого значения

Теперь необходимо избавиться от аналогового шума. Он представляет собой всплески самой различной амплитуды и продолжительности. Поэтому было принято отделить только те события в которых частица была зафиксирована сразу на нескольких каналах. Таких событий основное большинство, поэтому бороться с шумом и пытаться отделить полезные события во всех каналах и всех событиях показалось мне неразумной затеей. Для отделения таких событий я написал функцию которая нормирует все значения по каждому из каналов и складывает их, после чего ищет максимальное значение полученного массива. Если максимальное значение выше 2 то оно отделяется как хорошее, иначе пропускается. Далее у хорошего события определенный диапазон значений вокруг центра максимального пика по каждому из каналов записывается в новое дерево, содержащее только чистые события с незначительным шумом. Этот остаточный шум обладает малой амплитудой, благодаря чему легко фильтруется при дальнейшей обработке.

Полученное в результате такой обработки дерево содержит в среднем 60% первоначальных событий. Далее для построения распределения каждое из событий необходимо фитировать. Для этого реализована отдельная функция. После фитирования построим распределение по каждому из каналов для оценки качества данных.

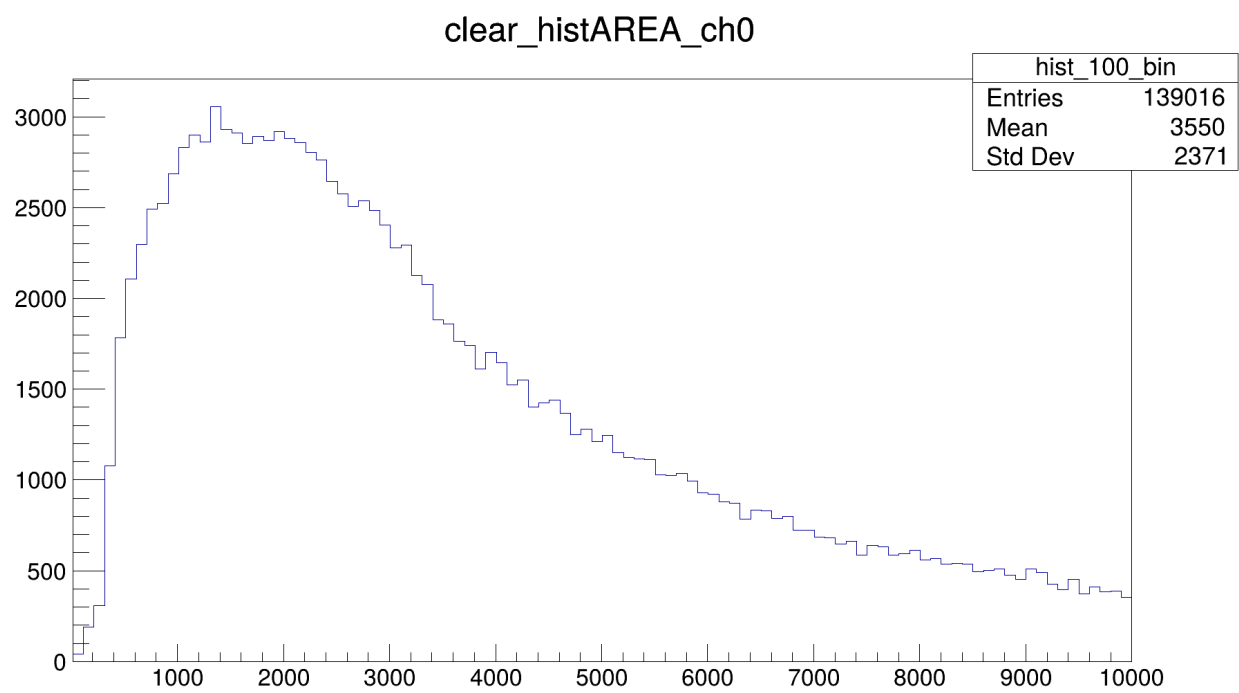


Рис. 10: График распределения по одному каналу

4 Заключение

В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы были успешно проведены два независимых эксперимента, каждый из которых внес значимый вклад в развитие практических навыков работы с детекторными системами и обработки экспериментальных данных.

Сборка straw-детектора, состоящего из 18 алюминиевых трубок диаметром 44 и длиной 770 , потребовала решения комплекса технических задач. Были разработаны и изготовлены специальные крепежные элементы (болты М6 с резьбой М5), обеспечивающие надежную фиксацию печатных плат к раме детектора. После проведенных работ детектор готов к дальнейшей калибровке и эксплуатации. Общий объем газовой смеси составил около 21 литра, что соответствует расчетным параметрам системы.

Параллельно проводилась работа по анализу данных сцинтилляционного детектора. Была разработана программная система на C++ и ROOT, включающая: алгоритм конвертации SQL-дампа в формат TTree с учетом различных временных разрешений, систему фильтрации сигналов (включая метод бегущего среднего), процедуры нормировки и инверсии данных. Особого внимания заслуживает реализованный алгоритм выделения полезных событий. Визуализация данных и построение распределений подтвердили работоспособность разработанных методов обработки.

Оба эксперимента, несмотря на их независимый характер, продемонстрировали важные аспекты современных физических исследований: от технических решений при создании детекторных систем до сложных алгоритмов анализа данных. Полученные результаты создают основу для дальнейшего развития работы - проведения калибровочных измерений straw-детектора и расширения функциональности программного обеспечения для обработки данных сцинтилляционного детектора. Особую перспективу представляет возможное объединение этих направлений в будущих исследованиях.

Список литературы

- [1] Walenta A.H. “The Time Expansion Chamber”. B: *NIM 161* (1979).
- [2] TW. Blum. “HParticle Detection with Drift Chambers”. B: *Springer* (2008).
- [3] The ATLAS Collaboration. “HPerformance of the ATLAS Muon Trigger in Run 2”. B: *JINST* (2021).
- [4] Knoll G.F. “Radiation Detection and Measurement”. B: *Wiley* (2010).