

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.12

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ
РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ УСТАНОВКИ ОКА

Научный руководитель _____ С. Р. Слабоспицкий
д.ф.-м.н., в.н.с.
Студент _____ Л. И. Лапшин

Москва 2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	2
1 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ОКА	3
1.1 Архитектура ПО	3
1.2 Основные компоненты ПО и их состояние	3
Наследие: устаревшая система первичной обработки данных	3
Современный уровень: фреймворк для анализа	3
Скриптовая автоматизация и управление	4
Геометрическая модель и калибровочные константы	4
1.3 Общая оценка состояния ПО	4
2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЮОННОГО СЧЁТЧИКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАННЫХ ДАННЫХ	4
2.1 Подготовленные данные	5
2.2 Метод оценки эффективности и геометрических размеров счётчика	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	5
А Гистограммы распределения координат частиц	8

ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент ОКА (ОКА) представляет собой установку, предназначенную для исследования взаимодействий каонов (К-мезонов) с ядрами и изучения их распадов. Установка использует пучок К-мезонов с импульсом около 17.7 ГэВ от ускорителя У-70 ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» (г. Протвино).

Установка ОКА включает следующие основные компоненты:

- Пучок К-мезонов;
- Систему детекторов:
 - Электромагнитный калориметр GAMS-2000 для определения энергий частиц;
 - Черенковские счётчики для идентификации заряженных частиц;
 - Дрейфовые камеры для отслеживания траекторий частиц;
 - Детекторы для регистрации частиц, вылетающих под большими углами.

В эксперименте ОКА решаются следующие задачи:

- Исследование когерентного взаимодействия каонов с ядрами меди. Когерентное взаимодействие — процесс, при котором каон взаимодействует со всем ядром как с целым, не разрушая его.
- Измерение вероятностей (сечений) различных процессов взаимодействия, в частности в области резонанса $K^*(892)$ — возбуждённого состояния, содержащего странные кварки.
- Изучение радиативных распадов каонов, то есть распадов с испусканием фотонов.
- Поиск эффектов, выходящих за рамки Стандартной модели элементарных частиц, в частности эффектов киральной аномалии. Киральная аномалия — квантовый эффект, нарушающий определённый вид симметрии и приводящий к специфическим взаимодействиям частиц.
- Поиск лёгких неоткрытых частиц, таких как аксионы.

Результаты эксперимента ОКА важны для проверки предсказаний квантовой хромодинамики — теории сильных взаимодействий. В данной работе рассматривается разработка программного обеспечения для обработки данных с установки ОКА, направленная на повышение эффективности реконструкции событий [1, 2].

1 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ОКА

1.1 Архитектура ПО

Программное обеспечение эксперимента ОКА построено по многоуровневой архитектуре последовательной обработки данных. Архитектура включает этапы от сбора сырых данных с детекторов до получения физических результатов.

1.2 Основные компоненты ПО и их состояние

Наследие: устаревшая система первичной обработки данных

Ядро системы реконструкции событий представляет собой значительно устаревший фреймворк. Ключевые его характеристики:

- Язык программирования: Основные алгоритмы реконструкции написаны на FORTRAN.
- Библиотеки данных: Используется устаревший формат HBOOK для хранения промежуточных данных.
- Состояние: Код разрабатывался и модифицировался в течение многих лет. Он представляет собой сложную, плохо документированную систему, требующую глубокого понимания для внесения изменений.
- Проблемы: Устаревшая кодовая база затрудняет развитие, отладку и интеграцию современных методов анализа.

Для взаимодействия с этой системой используются входные файлы списков, а её выход необходимо конвертировать в современный формат с помощью утилиты преобразования.

Современный уровень: фреймворк для анализа

Поверх устаревшего слоя реконструкции построен современный уровень анализа на основе фреймворка ROOT:

- Назначение: Вся работа по калибровке, физическому анализу, моделированию и визуализации данных.
- Язык: Программы и скрипты пишутся преимущественно на C++.
- Инструменты: Используются все возможности ROOT: фитирование, работа с деревьями и гистограммами, графический интерфейс.

Этот слой является основным для исследователей, проводящих физический анализ.

Скриптовая автоматизация и управление

Для автоматизации рутинных задач используется уровень скриптовой автоматизации:

- Язык: Преимущественно Python и shell-скрипты.
- Назначение: Оркестрация запуска программ, управление заданиями, предварительная обработка данных.
- Интеграция: Скрипты связывают различные компоненты системы, обеспечивая сквозной процесс обработки данных.

Геометрическая модель и калибровочные константы

ПО использует внешние данные, описывающие экспериментальную установку:

- Геометрическая модель: Таблицы с координатами и ориентацией детекторов, полученными из прямых измерений.
- Калибровочные базы данных: Файлы, содержащие индивидуальные поправки для каждого канала детекторов.

1.3 Общая оценка состояния ПО

Программный комплекс ОКА представляет собой гибридную систему:

- Устаревшее, но критичное ядро на FORTRAN/HBOOK, выполняющее реконструкцию.
- Современная надстройка на ROOT/C++, в которой проводится весь анализ.

Такая архитектура создаёт технологический разрыв. Модернизация ядра реконструкции является сложной, но необходимой задачей для повышения эффективности работы установки и упрощения разработки новых методов анализа.

Несмотря на архаичность части кода, созданная система полностью функционирует и позволяет получать научные результаты [3].

2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЮОННОГО СЧЁТЧИКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Целью работы являлась оценка эффективности мюонного счётчика $eff(\mu)$, расположенного в конце установки и передающего только информацию о факте пролёта мюона, на основе заранее смоделированных данных. Результатами работы являются найденная частота срабатывания счётчика и подтверждение конечных геометрических размеров счётчика в модели.

Программа была написана на основе уже использующейся на установке ОКА части программы для обработки данных на C++.

2.1 Подготовленные данные

До начала работы были смоделированы распады заряженного каона на мюон и мюонное нейтрино на установке ОКА. Среди данных для задачи важны:

- Треки частиц (число треков и координаты в нескольких точках);
- Сигнал с мюонного счётчика.

Этих данных достаточно для определения частоты срабатывания счётчика и определения его геометрических размеров.

2.2 Метод оценки эффективности и геометрических размеров счётчика

Для оценки эффективности определялась частота срабатывания счётчика (любой из четырёх компонент), т.е. отношение числа смоделированных событий, когда счётчик сработал, к числу событий, в которых частица геометрически пролетала через счётчик. Для определения положения частицы в плоскости счётчика использовались данные о траектории частицы из данных события, обработанные при помощи готовых методов анализа треков. При наличии информации о срабатывании счётчика и координатах частицы в плоскости счётчика в одном и том же событии были подсчитаны общее число срабатываний счётчика, число событий, в которых частица геометрически пролетела через счётчик, и их отношение. Значение отношения для данного набора данных:

$$eff(\mu) = 0.78$$

Для оценки геометрических размеров счётчика таким же образом была получена информация о срабатывании счётчика и координатах частиц в плоскости счётчика. По этим данным были построены двумерные гистограммы распределения координат частиц в плоскости счётчика (см. Приложение А): первая гистограмма — координаты частиц во всех событиях (рис. 1а), вторая гистограмма — координаты частиц в событиях, в которых сработал счётчик (рис. 1б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках научно-исследовательской работы были проведены оценки эффективности мюонного счётчика установки ОКА и его геометрических размеров по заранее смоделированным данным.

В ходе работы была определена частота срабатывания мюонного счётчика, равная 0.78, что свидетельствует о его работоспособности. Однако полученное значение отличается от известного экспериментального значения 0.98 (погрешность и методология не представлены). Расхождение в результатах может указывать на неточности в моделировании или ошибки в обработке экспериментальных данных.

В результате работы были построены гистограммы (см. Приложение А) распределения координат частиц в плоскости счётчика. Из сравнения гистограмм можно сделать вывод о существовании области пространства, в которой счётчик практически не фиксирует частицы, и можно сделать заключение о конечных размерах счётчика.

Список литературы

- [1] V. S. Burtovoy, S. A. Akimenko, A. V. Artamonov, et al. The coherent production of the $(k^+\pi^0)$ system by k^+ beam on copper nuclei at the oka setup. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 131(6):928–939, 2020.
- [2] A. Yu. Polyarush. Evidence for the chiral anomaly in the coherent scattering of kaons on copper nuclei. Moscow University Physics Bulletin, 77(2):250–251, 2022. (OKA Collaboration).
- [3] А. В. Охотников. Калибровка детекторов установки ОКА ускорителя У-70. Дипломная работа магистра, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2022.

A Гистограммы распределения координат частиц

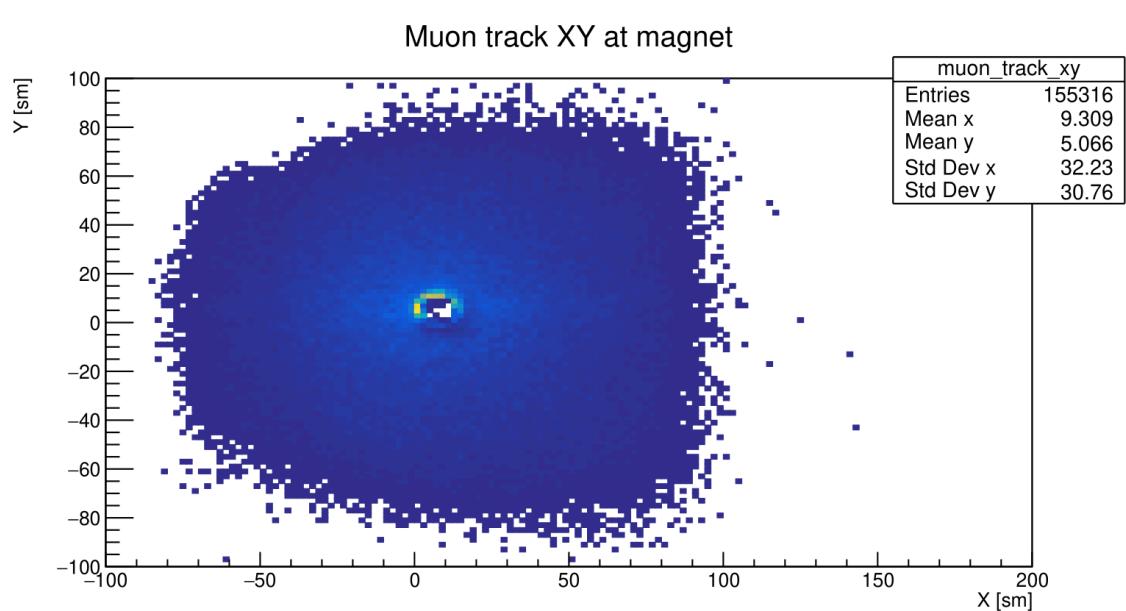
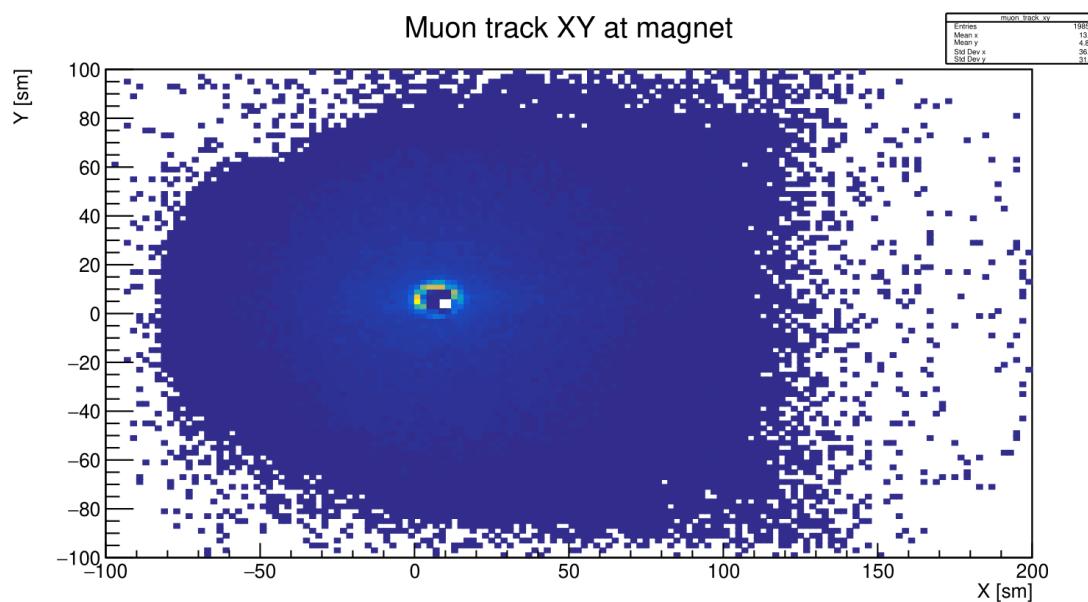


Рис. 1: Гистограммы распределения координат частиц