

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Институт Ядерной Физики и Технологий  
Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

**ОТЧЁТ**  
**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**  
**ЗАДАЧИ ПЕРВОГО СЕАНСА РАБОТЫ**  
**ЭКСПЕРИМЕНТА: ИЗМЕРЕНИЕ ДИМЮОННОГО**  
**СПЕКТРА, ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПУЧКОВ В**  
**УСЛОВИЯХ ДЕТЕКТОРА SPD**

Научный руководитель,  
(к.ф.-м.н.)

Е.Ю.Солдатов

Студент

И.Ю.Иваненко

Москва, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>3</b>
1.1	Первая стадия эксперимента SPD	5
1.2	Мюонная система( Range system, RS)	6
1.3	Docker-контейнер	8
1.4	Цель работы и задачи	9
<b>2</b>	<b>Представление результатов</b>	<b>10</b>
2.1	Работа с docker-контейнером	10
2.2	Получение геометрии	10
2.3	Симуляция $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$	11
2.4	Процесс реконструкции	11
2.5	Результаты реконструкции	12
	<b>Заключение</b>	<b>14</b>
	<b>Список литературы</b>	<b>15</b>

## ВВЕДЕНИЕ

NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility) – ускорительный комплекс, предназначенный для изучения свойств сильного взаимодействия, находится в стадии строительства в ОИЯИ.

На первом этапе работы исследование горячей и плотной барионной материи будет проводиться в столкновениях тяжёлых ионов с помощью Многоцелевого детектора (MPD), расположенного в первой точке взаимодействия коллайдера. Это исследование должно пролить свет на свойства адронов в среде и уравнение состояния ядерной материи, наступление деконфайнмента, восстановление киральной симметрии, фазовый переход, существование смешанной фазы, критическую конечную точку и т.д. Коллайдер также предоставляет возможность работы с поляризованными протонными и дейтронными пучками высокой интенсивности, которые будут использоваться для изучения поляризованной структуры протона и дейтрона с помощью Детектора Спиновой Физики (SPD), установленного во второй точке взаимодействия.

Основной целью эксперимента на SPD является получение информации о зависящих от поперечного импульса партонных функциях распределения (TMD PDF) глюонов в протоне и дейтроне, а также о распределении поперечной поляризации (трансверсальности) глюонов и тензорных PDF в дейтроне. Это будет осуществляться путём измерения определённых односпиновых и двухспиновых асимметрий с использованием таких комплементарных проб, как процессы рождения чармония, открытого очарования и прямых фотонов. Эта физическая задача предъявляет общие требования к концепции экспериментальной установки.

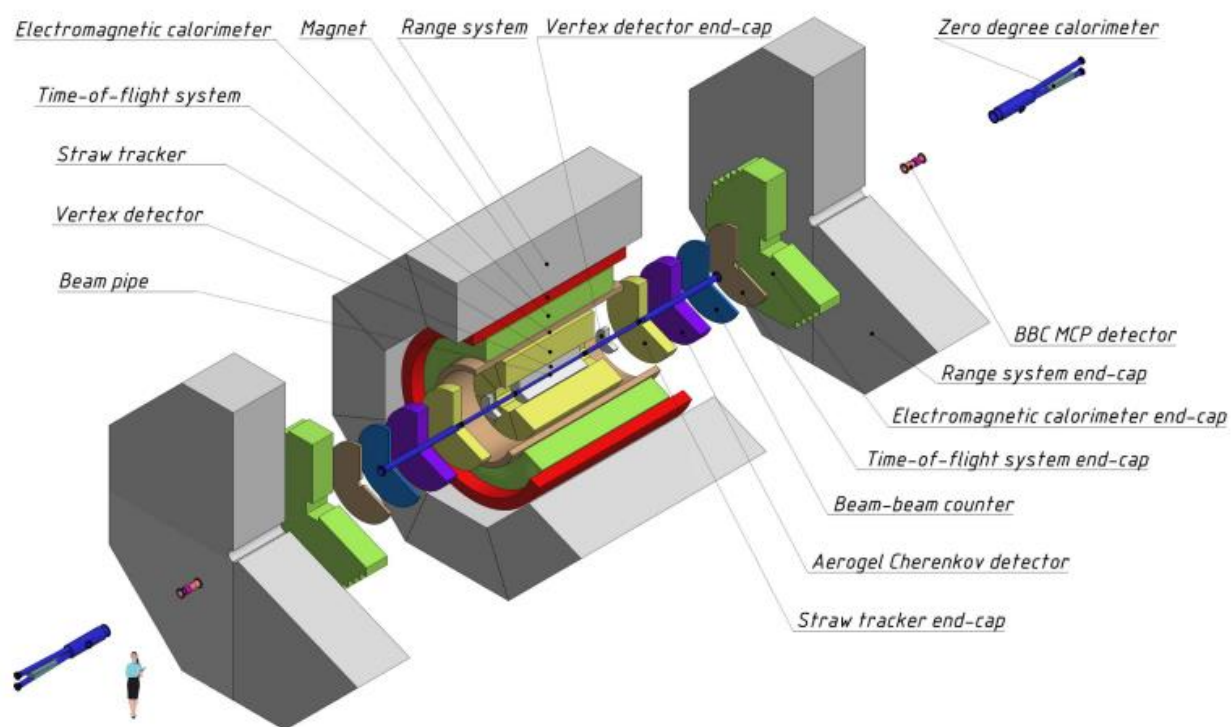


Рис.1 – Модель установки SPD

Работу планируется вести в два основных этапа: Первая фаза будет посвящена отладке систем, сбору первых данных и изучению упругого рассеяния, а также процессов с учетом поляризации и без. Вторая фаза будет направлена на комплексное исследование поляризованных глюонов в протонах и дейтронах.

## 1.1. ПЕРВАЯ СТАДИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SPD

Первый этап эксперимента SPD будет посвящён исследованию поляризованных и неполяризованных явлений при низких энергиях и пониженной светимости с использованием пучков тяжёлых ионов, а также поляризованных протонов и дейтронов. В круг изучаемых процессов войдут, в частности, поляризованные явления в упругом  $p$ - $p$  и  $d$ - $d$  рассеянии и других эксклюзивных реакциях, спиновые эффекты в рождении гиперонов, образование дибарионных резонансов и гиперъядер, рождение чармония вблизи порога и др. Данный этап подразумевает создание минимальной конфигурации установки, которая должна включать:

- Range System (RS) – несущую конструкцию всей установки и ярмо магнита, а также систему идентификации мюонов;
- Сверхпроводящий соленоид (SS) – для восстановления импульса заряженных частиц;
- Трековая система на основе дрейфовых трубок (ST) – для восстановления импульса заряженных частиц и идентификации частиц путём измерения  $dE/dx$ ;
- Простой центральный трекер на основе микромегасов (MCT) – для повышения точности восстановления импульса заряженных частиц;
- Система из двух Beam-Beam счётчиков (BBC), внутреннего и внешнего – для локальной поляриметрии, контроля светимости и, возможно, измерения времени;
- Система из двух калориметров нулевого угла (ZDC) – для локальной поляриметрии и контроля светимости.

## 1.2. МЮОННАЯ СИСТЕМА( Range System, RS)

Мюонная система (Range System, RS) детектора SPD выполняет следующие задачи: (i) идентификация мюонов в условиях значительного адронного фона и (ii) оценка адронной энергии (грубая калориметрия адронов). Важно подчеркнуть, что мюонная система является единственной подсистемой в основной части установки SPD, способной идентифицировать нейтроны (за счет комбинирования их сигналов с данными электромагнитного калориметра и внутренних трекеров). Идентификация мюонов осуществляется посредством распознавания мюонных траекторий и последующего сопоставления сегментов треков с треками внутри магнитов. Точное определение импульса мюонов выполняется внутренними трекерами в магнитном поле. В мюонной системе в качестве трековых детекторов используются мини-дрейфовые трубки (Mini Drift Tubes, MDT), обеспечивающие двухкоординатное считывание (проволочные и полосовые электроды, расположенные перпендикулярно). Такое считывание в первую очередь необходимо для событий с высокой множественностью треков, а также для восстановления пространственного угла нейтронов.

Одной из ключевых физических задач мюонной системы является идентификация мюонов из распадов  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  на фоне ложных сигналов от ошибочно идентифицированных пионов и их распадов.

Range system выполняет роль поглотителя для адронов и "фильтра" для мюонов. Она также формирует ярмо магнита. Система состоит из Бочки (Barrel) и двух Торцевых крышек (End-Caps, ECs).

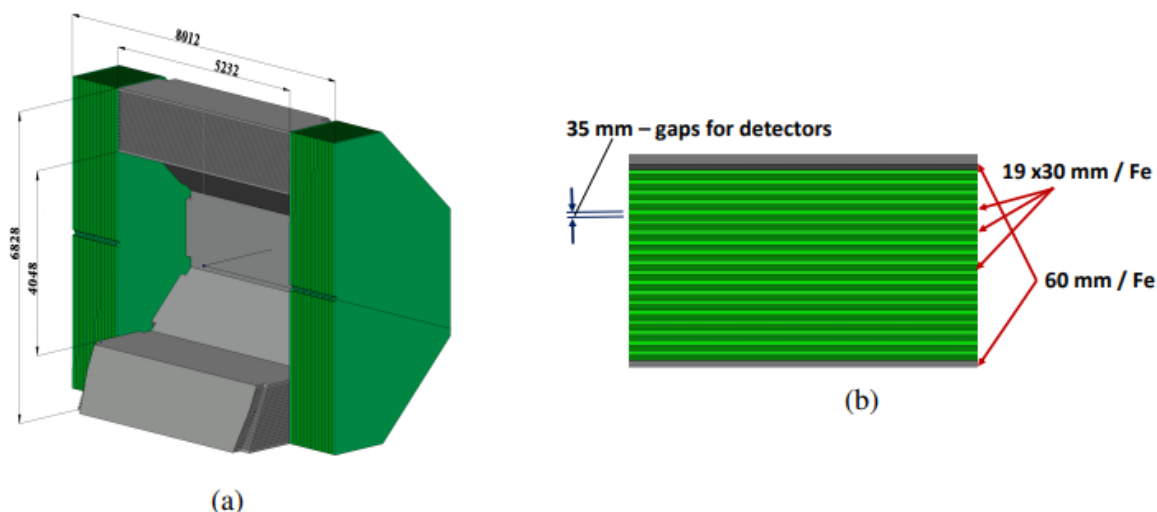


Рис.2 – а) Структура мюонной системы, включающая barrel и ECs, б) структура поглотителя

Два внешних 60-мм стальных слоя используются для соединения модулей между собой, а также для крепления внутренних детекторов (изнутри) и внешних сервисных устройств (снаружи). Толщина основных пластин поглотителя (всего девятнадцать), равная 30 мм, выбрана как величина, сравнимая с разбросом пробега мюонов в стали. Это обеспечивает наилучшее возможное разделение мюонов и пионов, а также дает достаточно хорошее сэмплирование для адронной калориметрии.

Межслойные зазоры в 35 мм предусмотрены для надежного монтажа детектирующих слоев (всего двадцать), состоящих из мини-дрейфовых трубок (MDT), печатных плат со стриповыми электродами, установленных поверх них плат электроники сопряжения, а также соответствующих кабелей.

Бочка состоит из восьми модулей, а каждая Торцевая крышка — из двух половин (створок), разделенных по вертикали. Каждая створка, в свою очередь, также разделена в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению пучка, на две равные части.

### 1.3. DOCKER-КОНТЕЙНЕР

Контейнер Docker — это программный пакет, который включает в себя всё необходимое для запуска приложения: код, библиотеки, системные инструменты и настройки.

Ключевые особенности:

- Контейнер работает изолированно от других контейнеров и основной системы. У каждого свои собственные процессы, сетевое пространство и файловая система.
- Контейнеры работают быстро и потребляют мало ресурсов.
- Контейнер гарантирует, что приложение будет одинаково работать на любой системе, где установлен Docker.
- Контейнеры, как правило, создаются и удаляются по мере необходимости.

В текущей работе все действия были произведены внутри docker-контейнеров на ферме ui03.lxfarm.mephi.ru.



## 1.4. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ

**Цель работы** – знакомство с устройством и работой docker-контейнера, использование приобретенных навыков для получения информации о pdg частиц внутри мюонной системы, а также Pt мюонов после реконструкции треков частиц при симуляции  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ .

### **Задачи:**

1. Освоить работу с docker-контейнерами
2. Обработать для практики некоторые полезные макросы( например, ConstructRsTB2.C, создающий 3d-модель barrel части мюонной системы)
3. Провести симуляцию  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  для 1000 событий.
4. При помощи отдельного макроса провести реконструкцию треков и получить pdg частиц и Pt мюонов.

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 2.1. Работа с docker-контейнером.

Для обработки макросов сначала в домашнюю директорию на ферме ui03.lxfarm.mephi.ru был скопирован каталог репозиторий <https://git.jinr.ru/nica/spdroot>. После переключения на новую ветку были освоены принципы работы докера, метод создания и взаимодействия с отдельными контейнерами, особенности расположения файлов и связь путей на хосте и в контейнере.

### 2.2. Получение геометрии.

После получения представления о работе с контейнерами были отработаны различные макросы для понимания того, что они делают. После подключения библиотек с геометрией был выполнен макрос ConstructRsTB2.C, создающий 3d-модель barrel части мюонной системы. Результаты представлены на рис.3.

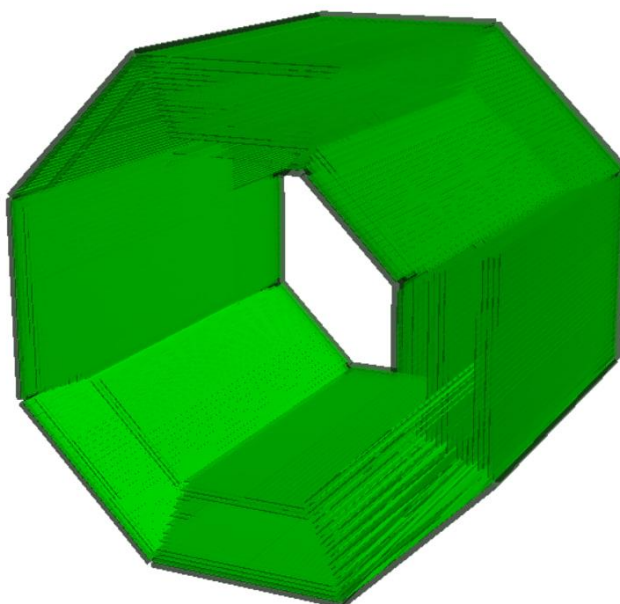


Рис.3 – 3d модель barrel части мюонной системы.

## 2.3. Симуляция $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ .

При помощи макроса `simu.C` для  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  распада была проведена симуляция для 1000 событий. По окончании процесса были получены root-файлы `simu.root` и `params.root`, содержащие дерево гистограмм и информацию по симуляции вместе с параметрами. Для данных файлов была создана отдельная директория `output` внутри директории `docker` для последующего удобного к ним обращения.

## 2.4. Процесс реконструкции.

При помощи макроса `gso.C` было проведено 2 попытки реконструировать треки.

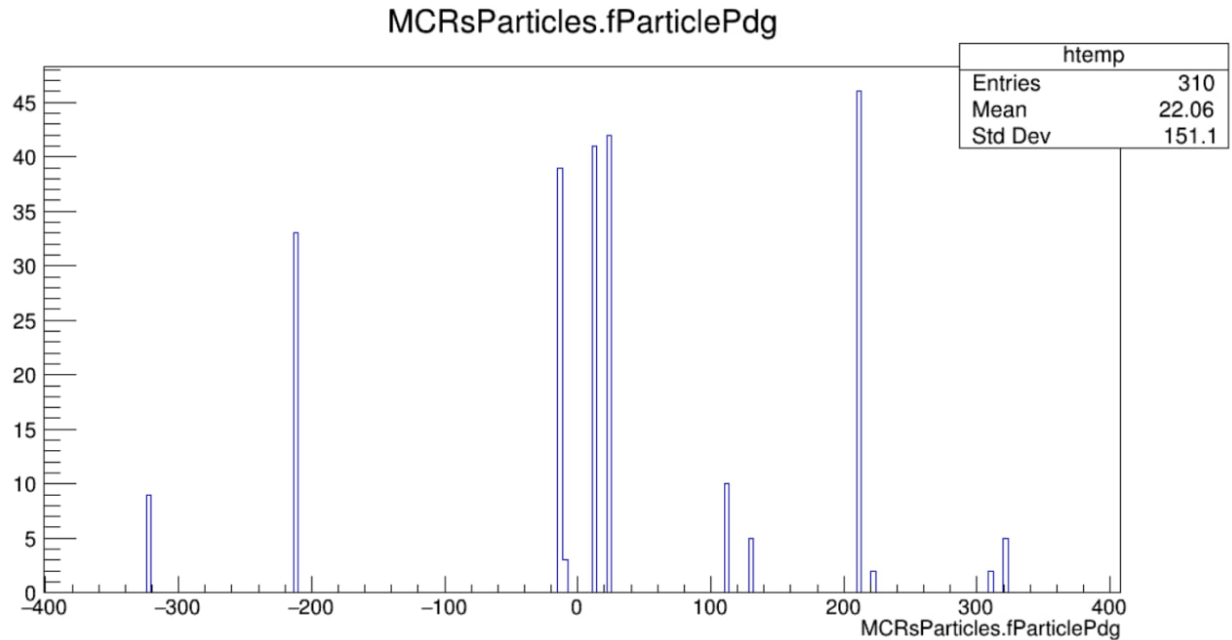
При первой попытке не была учтена длительность процесса реконструкции, из-за чего не была использована команда `nohup`, существующая в Linux для предотвращения остановки процесса при выходе с сервера. Спустя некоторое время бездействия при ожидании конца процесса реконструкции сервер прервал соединение, как и сам процесс.

При второй попытке макрос завис на реконструкции  $i$ -ого события и просто не продолжал процесс.

Было принято решение использовать для анализа данные, которые макрос уже успел обработать и поместить в файл `gso.root`, созданный снова в директории `output`, вследствие чего результаты реконструкции имеют меньшую точность и наглядность.

## 2.5. Результаты реконструкции.

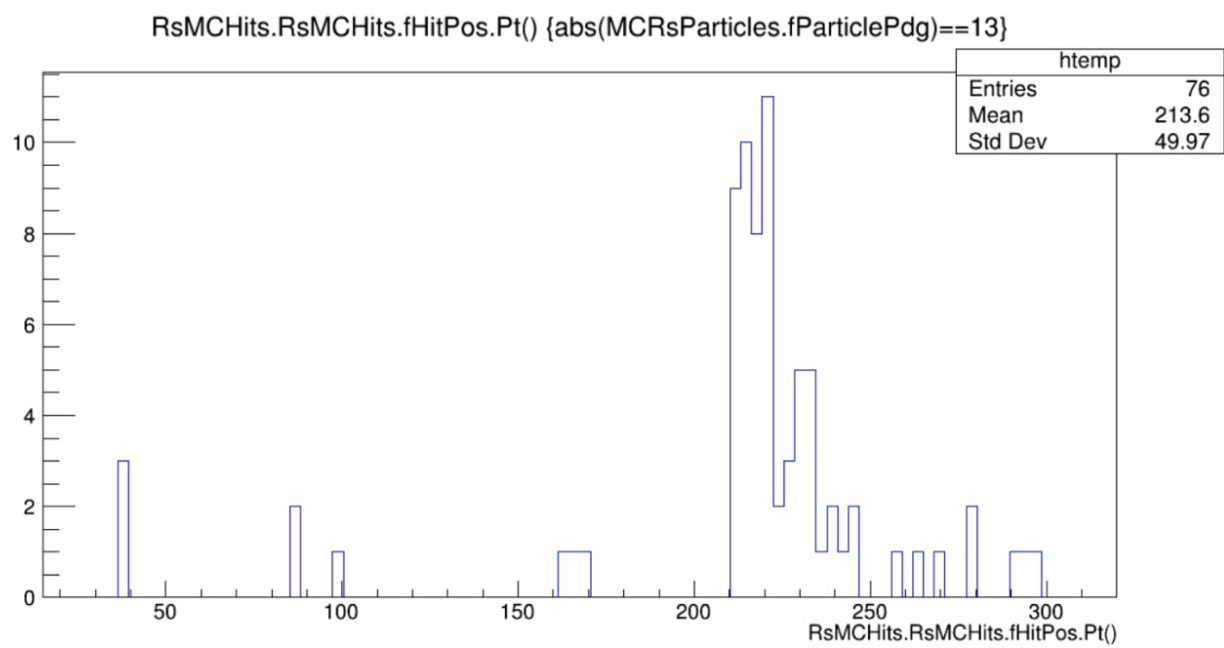
В результате реконструкции по остаточным данным из незавершенного сеанса можно получить информацию о  $pdg$  частиц в мюонной системе:



Гист.1 – Количество срабатываний для различных  $pdg$ .

Из гистограммы видно, что наибольшее количество частиц имеет  $pdg$  около 210, т.е. больше всего положительных пионов, так как их  $pdg = 211$ . Следующие по количеству вхождений идут, соответственно, фотоны( $pdg = 22$ ) и, предположительно, мюоны, т.к. их  $pdg = 13$ .

Также была получена гистограмма  $P_t$  для мюонов:



Гист.2 – Pt для мюонов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы были освоены навыки пользования docker-контейнерами и выполнения различных операций над макросами. Были получены гистограммы для  $pdg$  различных частиц внутри мюонной системы и для  $P_t$  мюонов, хотя статистика для них недостаточная и в будущем необходимо отработать макрос реконструкции заново, но уже для полного набора событий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешко, А. Исследования на первом этапе работы коллайдера NICA с поляризованными и неполяризованными протонными и дейтронными пучками [Электронный ресурс] / А. Алешко, В.В. Абрамов.
2. Spin Physics Detector collaboration. О проекте детектора Spin Physics Detector (SPD) [Электронный ресурс] // SPD — Spin Physics Detector at the NICA collider. — Режим доступа: <https://spd.jinr.ru/>.
3. Абазов, В.М. Концептуальный проект детектора Spin Physics Detector / В.М. Абазов и [др.]. — 2021.
4. Электронный ресурс: статья на arXiv.org — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2404.08317>.