

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ В МЮОННОЙ СИСТЕМЕ УСТАНОВКИ SPD**

---

Презентацию подготовил студент группы М23-112

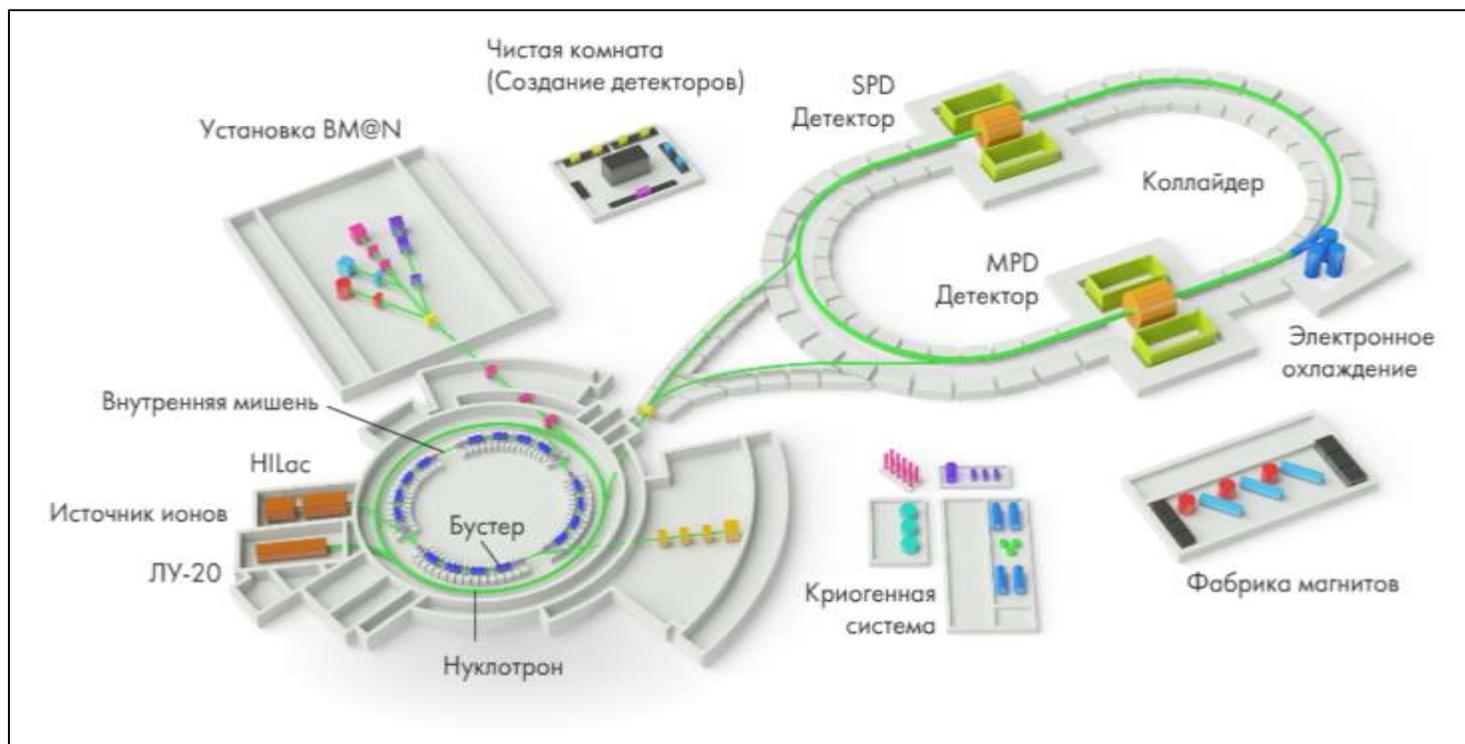
Осетров Александр Олегович

Научный консультант: Верхеев Александр Юрьевич

# О работе

- Для проектирования установки и изучения возможности решения поставленных физических задач в эксперименте необходимо моделирование различных детекторных систем.
- Необходимо построение алгоритмов и методик обработки и анализа экспериментальных данных.
- Цель работы: моделирование мюонной системы SPD и разработка программного обеспечения для обработки и анализа данных эксперимента.

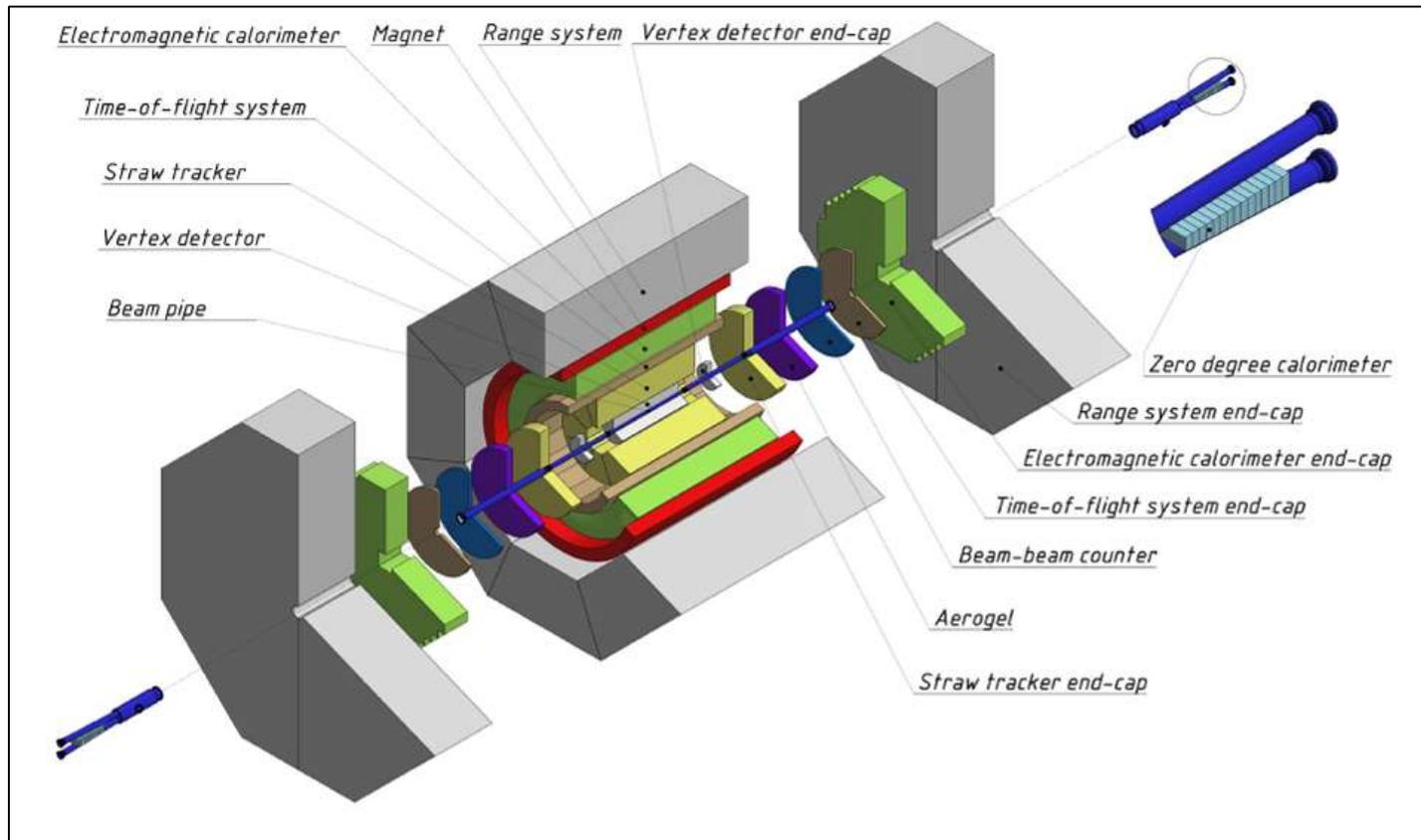
# Ускорительный комплекс



Проект нацелен на воссоздание и исследование ядерной материи в экстремальных условиях, возникавших в природе на ранних стадиях эволюции Вселенной и в недрах нейтронных звезд.

Рис.1 Комплекс NICA

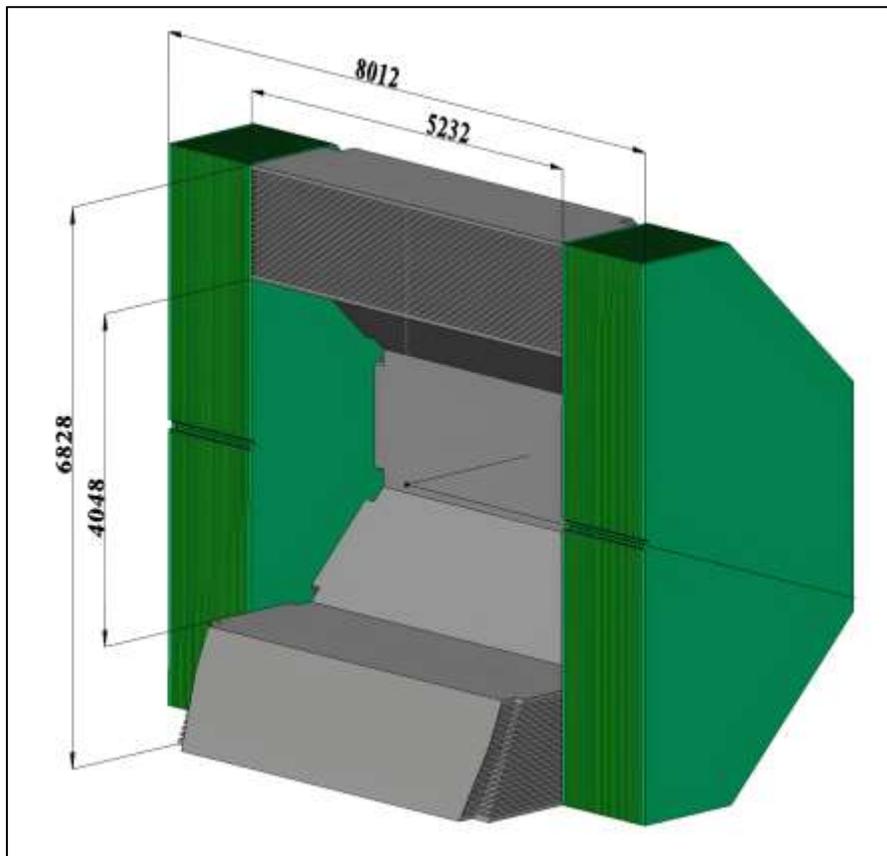
# Эксперимент SPD



- Цель эксперимента - изучение спиновой структуры протона и дейтрона и других спиновых явлений путем столкновения поляризованных p-p, d-d и p-d пучков с  $\sqrt{s} = 27$  ГэВ и светимостью порядка  $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Рис. 2 Общая схема установки SPD

# Мюонная система



- Идентификации мюонов в присутствии значительного адронного фона и оценки энергии адронов (грубая адронная калориметрия).
- Состоит из восьмимодульного бареля (“бочки”) и двух торцевых дисков.
- В межслоевые зазоры помещаются Mini Drift Tubes (MDT) детекторы и считывающая электроника.

Рис. 3 Схематичный вид мюонной системы

# MDT детектор

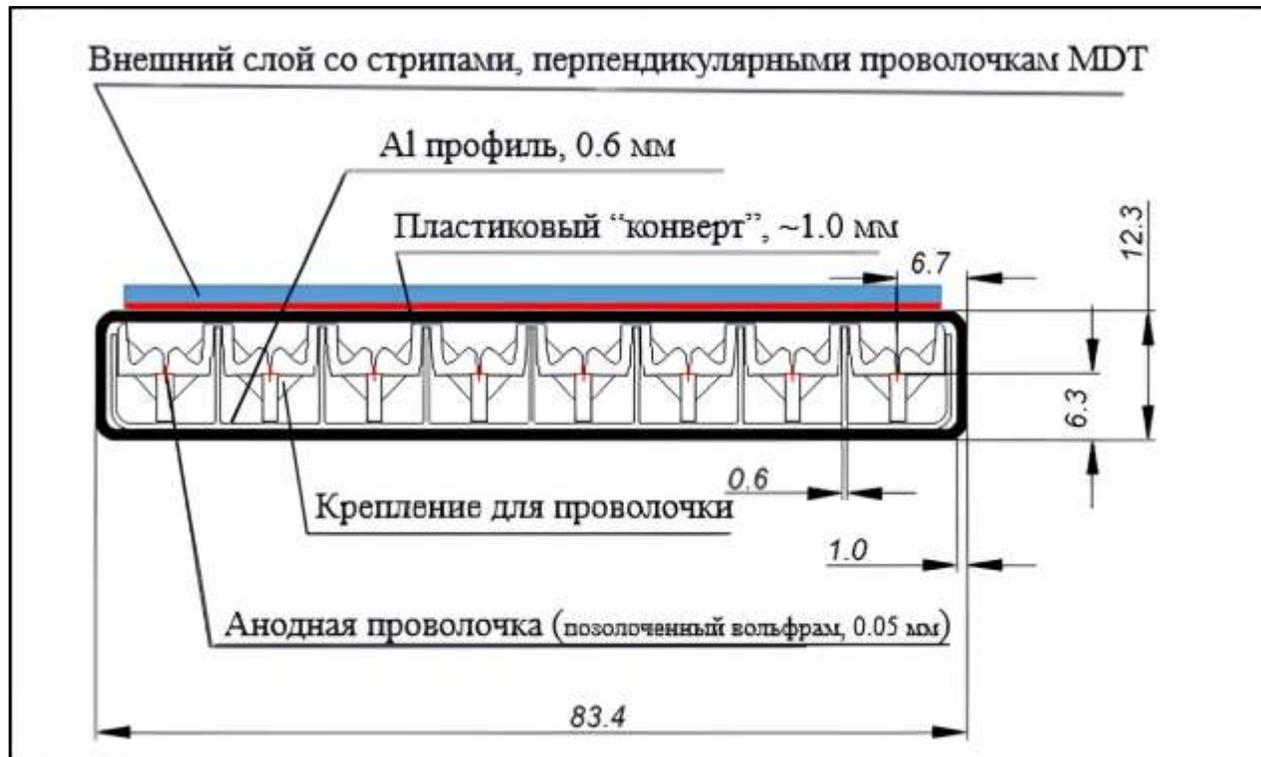


Рис. 4 Поперечное сечение MDT детектора

- Состоит из металлического катода (алюминиевый гребенчатый профиль из 8 ячеек), анодных проволочек и пластиковой оболочки (норил) для газонепроницаемости.
- Перпендикулярная полосовая плоскость вместе с системой анодных проволочек дают две координаты прохождения частицы.

# Геометрическая модель прототипа мюонной системы



Рис. 5 Геометрическая модель прототипа мюонной системы SPD

- MDT детектор из восьми ячеек, заполненных газовой смесью  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ .
- 6 MDT объединены в одну детекторную плоскость
- В железном корпусе размещено 16 детекторных плоскостей с железными поглотителями с шагом в 35 мм для электроники.
- Bilayer, состоящий из двух детекторных плоскостей, по 4 MDT детектора. За ними расположен железный лист толщиной 60 мм.

# Моделирование событий

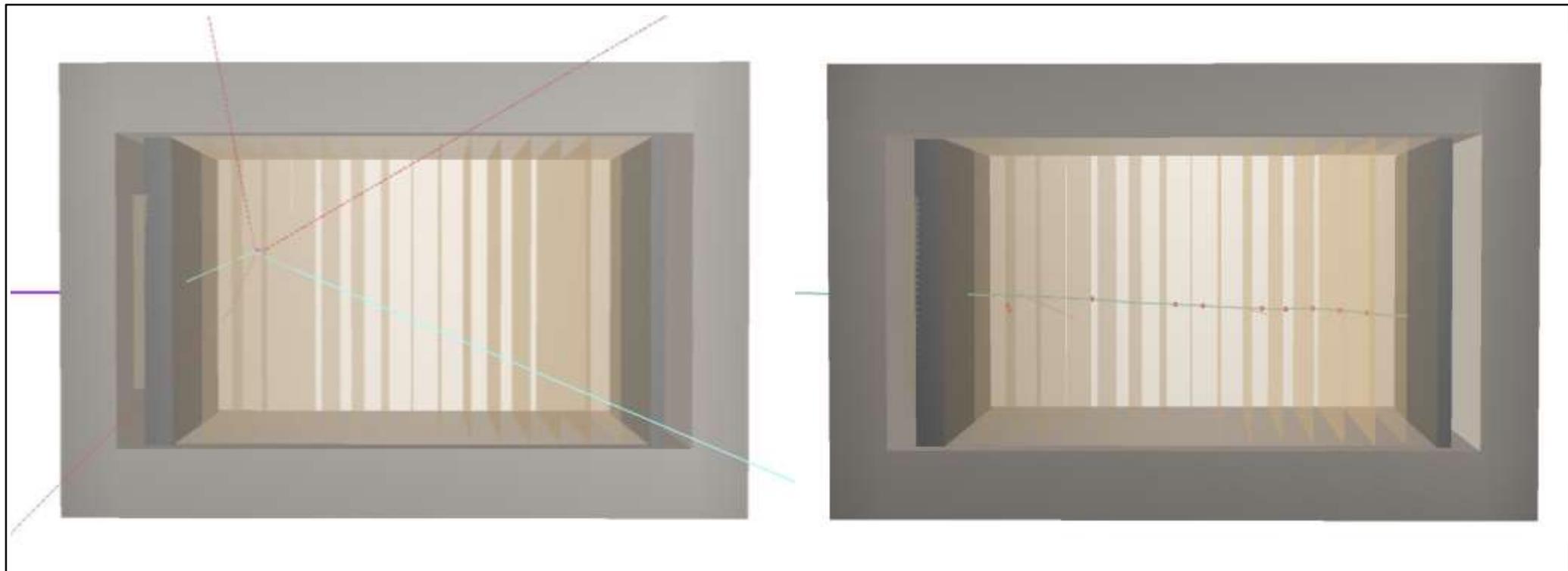


Рис. 6 Прохождения протона и мюона с энергией 1 ГэВ через прототип.

Слева – протон, справа – мюон

# Моделирование событий

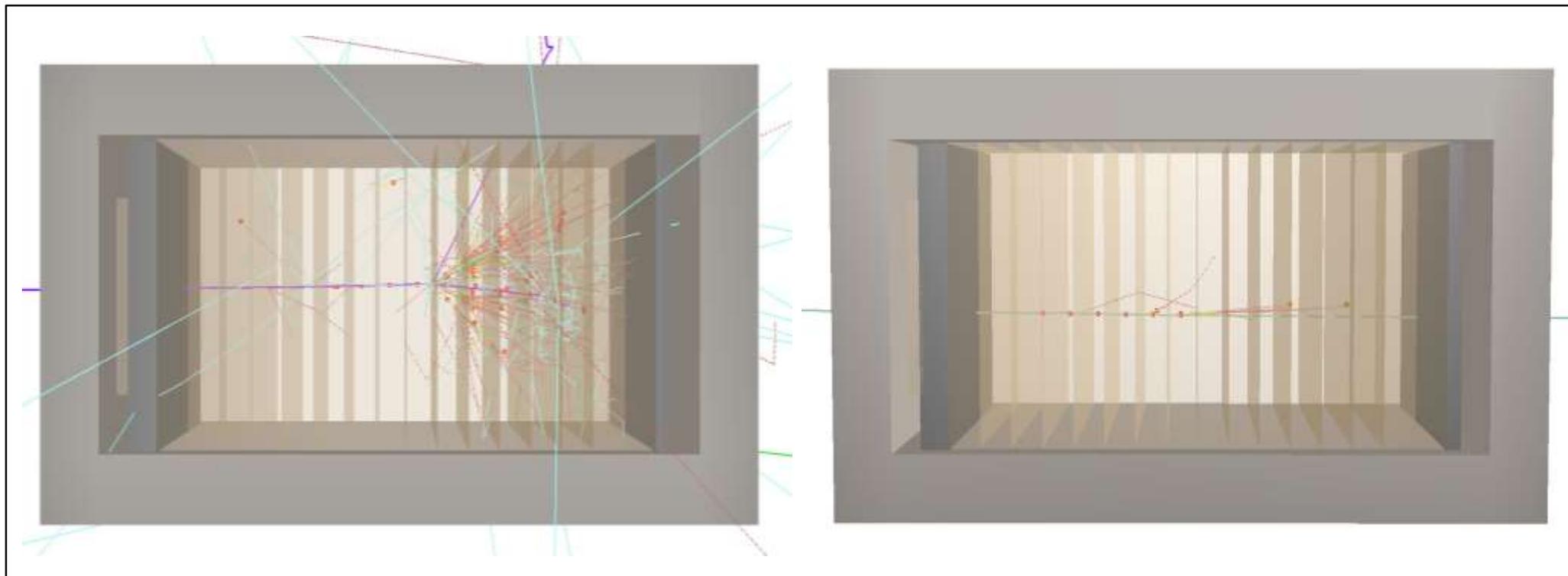


Рис. 7 Прохождения протона и мюона с энергией 10 ГэВ через прототип.

Слева – протон, справа – мюон

# Алгоритм кластеризации DBSCAN

Метод кластеризации, который идентифицирует кластеры на основе плотности точек в пространстве данных. Он особенно хорошо работает с кластерами произвольной формы и справляется с шумами в данных.

Ключевые понятия:

- $\epsilon$ -окрестность точки  $p$ , обозначаемая как  $N_\epsilon(p)$
- MinPts (Минимальное количество точек в  $\epsilon$ -окрестности точки  $p$ )
- Основная точка (Core Point)
- Пограничная точка (Border Point)
- Шумовая точка (Noise Point)

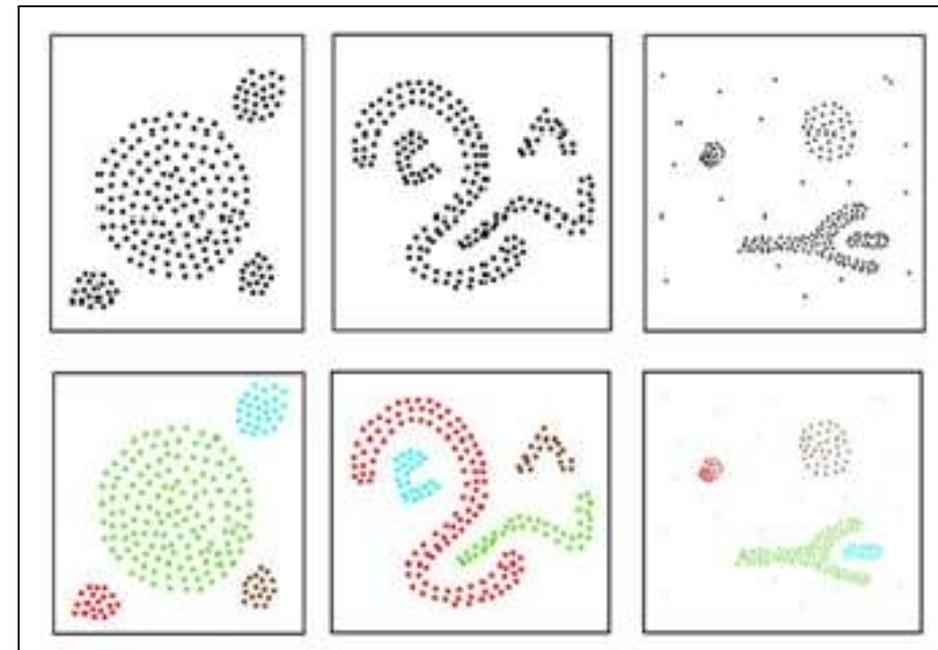


Рис. 8 Иллюстрация работы DBSCAN.

Сверху изображен оригинальный набор точек, снизу – результат работы алгоритма DBSCAN.

# Алгоритм кластеризации DBSCAN

- Поскольку стандартные библиотеки языка C++ не содержат встроенной реализации алгоритма DBSCAN, была разработана собственная версия данного алгоритма для последующей интеграции в SpdRoot.
- На рис. 9 представлен пример сравнения результата работы алгоритма DBSCAN, реализованного на C++, с результатом стандартной версии из библиотеки scikit-learn языка Python на случайном наборе точек.

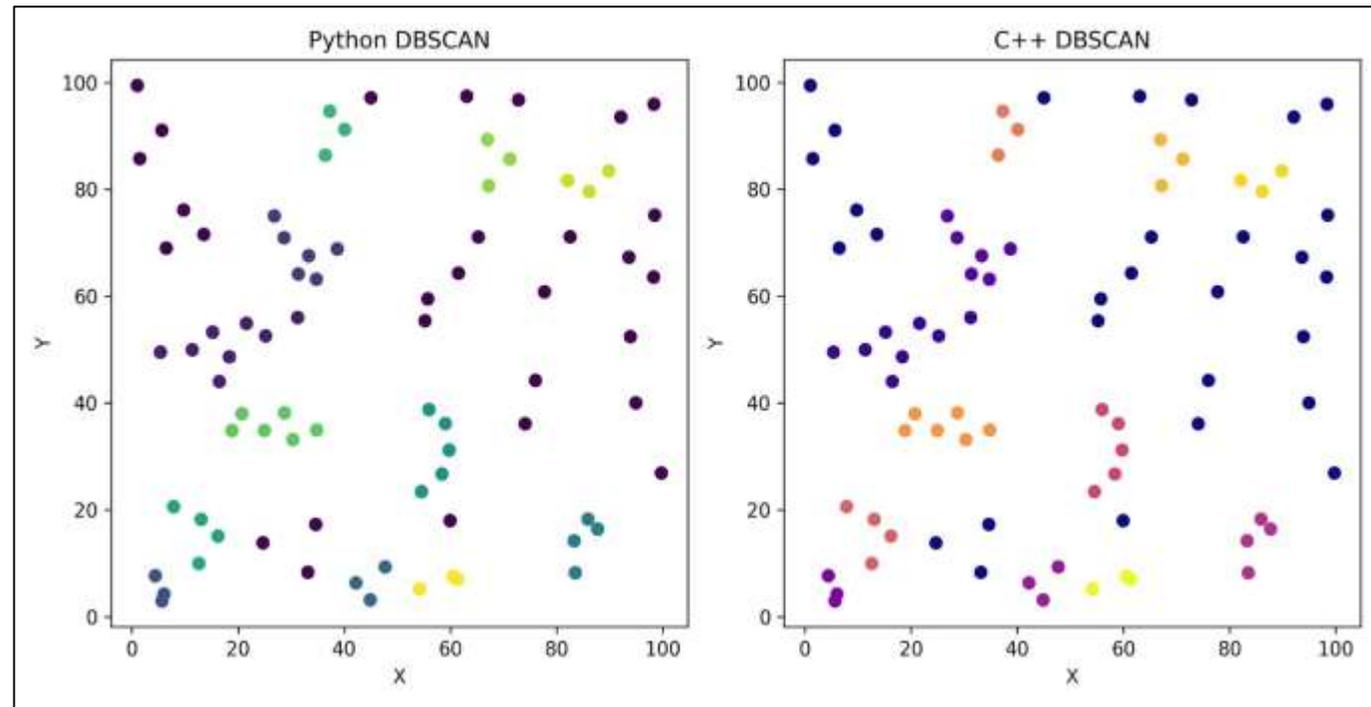


Рис. 9 Пример визуального сравнения работы двух реализаций алгоритма DBSCAN

# Моделирование Монте-Карло

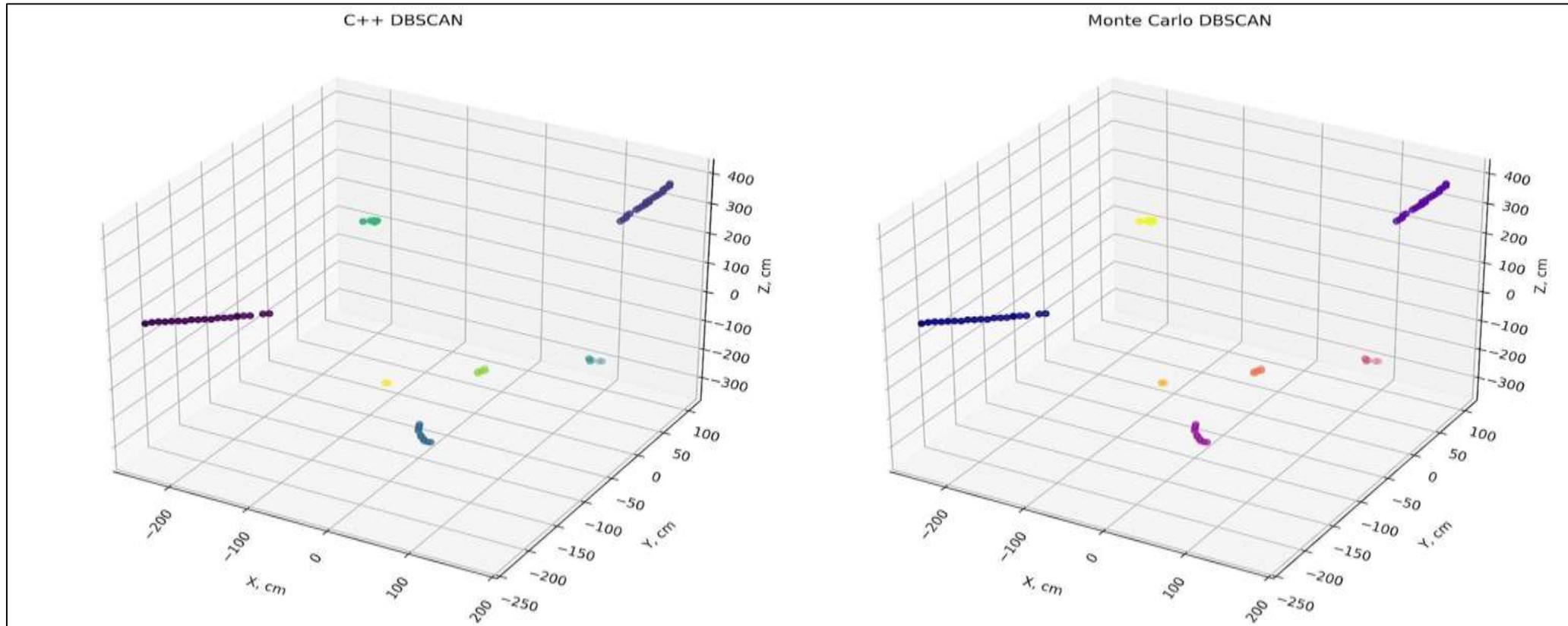


Рис. 10 Кластеризация хитов для смоделированного события  $J/\psi$

# Нейронные сети

Искусственные нейронные сети представляют собой модели машинного обучения, основанные на принципах функционирования биологических нейронных сетей мозга. Они состоят из множества взаимосвязанных узлов — искусственных нейронов, организованных в слои.

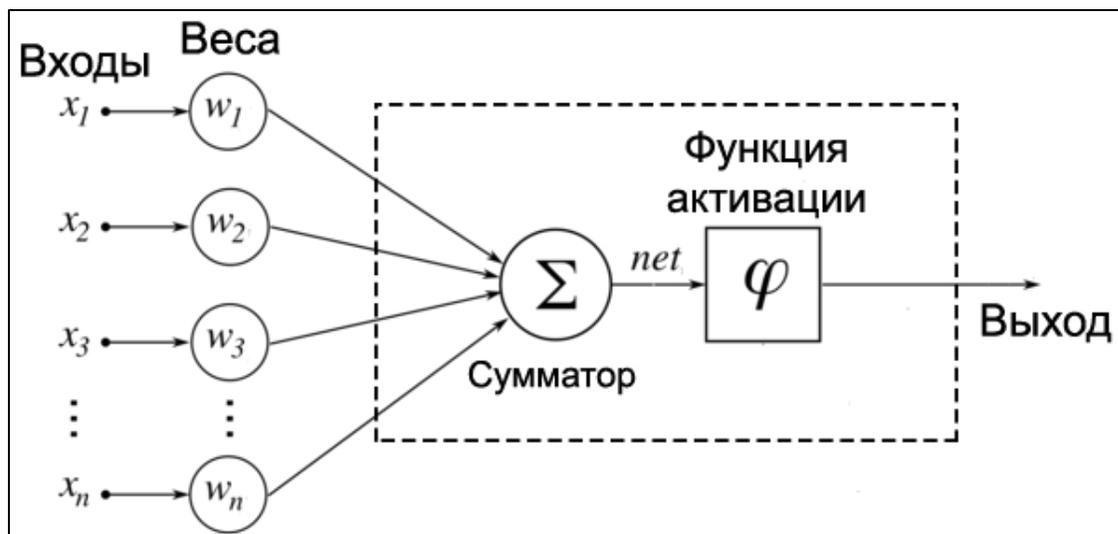


Рис. 11 Схема работы искусственного нейрона в нейронных сетях

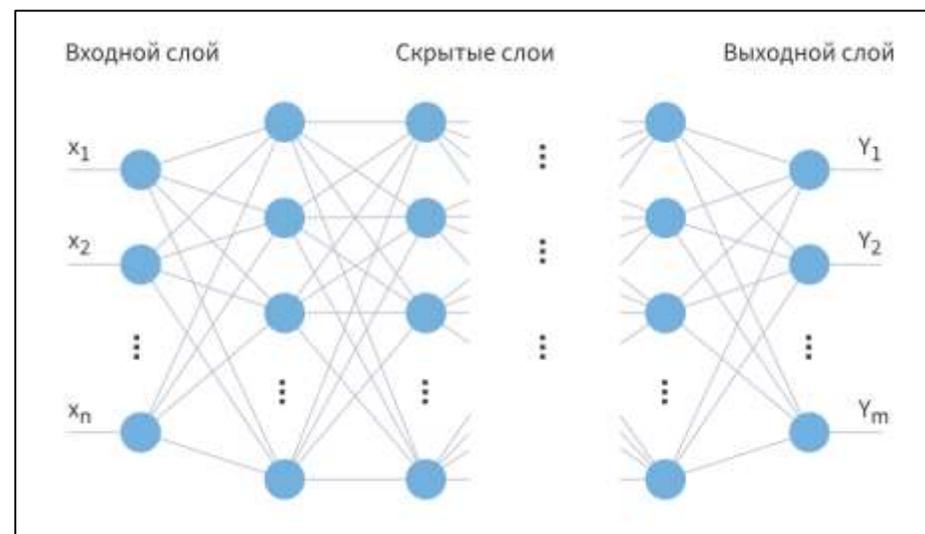


Рис. 12 Схема искусственной нейронной сети

# Сверточные нейронные сети

Сверточные нейронные сети представляют собой специализированную архитектуру искусственных нейронных сетей, разработанную для эффективного распознавания и обработки данных с сеточной структурой, таких как изображения.

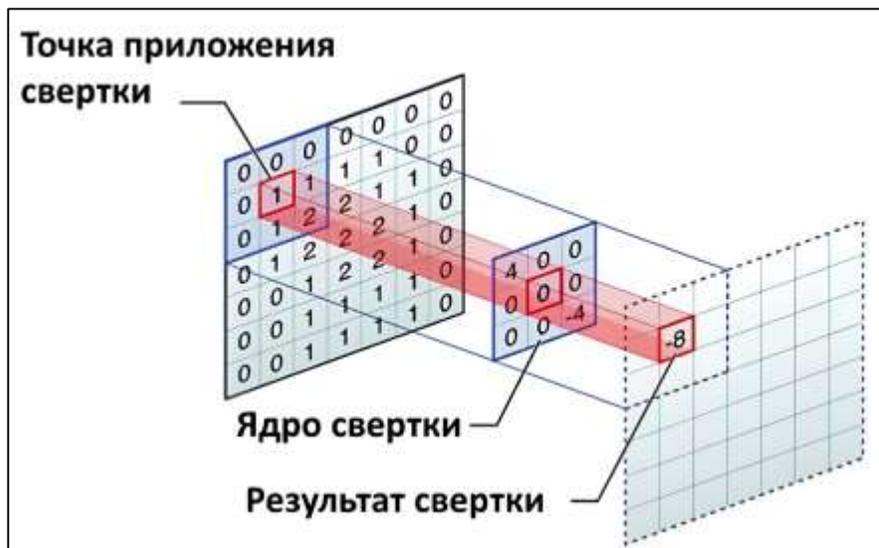


Рис. 13 Применение свертки в сверточном слое

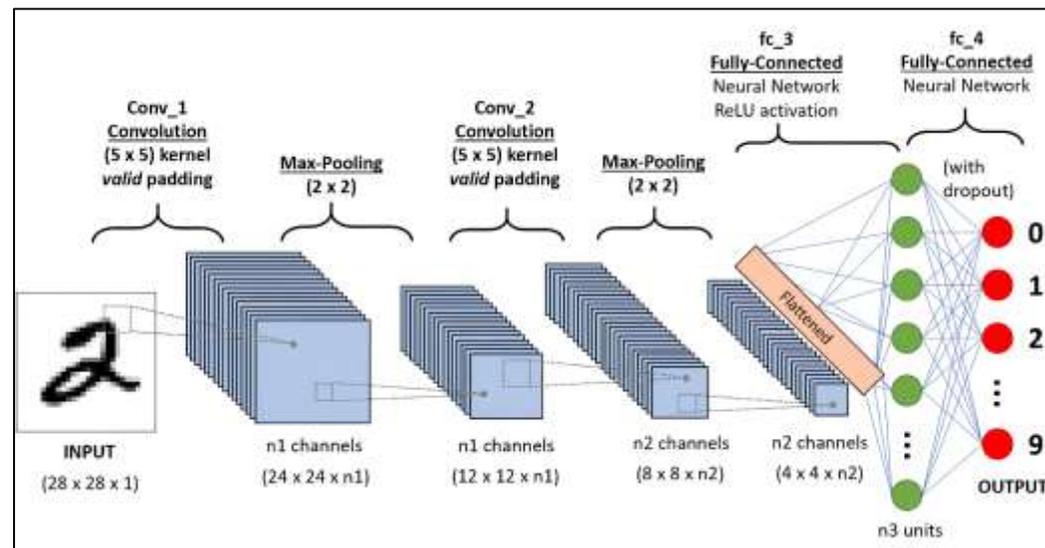


Рис. 14 Структура сверточной нейронной сети

# Заключение

- Смоделирован прототип мюонной системы эксперимента SPD в SpdRoot.
- Выполнено моделирование и визуализация событий, получен набор хитов частиц.
- Реализован алгоритм кластеризации DBSCAN на C++ для формирования треков, интегрирован в среду SpdRoot.
- Изучен алгоритм классификации на основе CNN.
- Результаты работы представлены на митинге коллаборации SPD и 28-ой международной конференции молодых ученых и специалистов (AYSS-2024).

# Планы

- Разработка алгоритма идентификации различных частиц и измерения их характеристик