

НИЯУ "МИФИ"
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

Разработка программного обеспечения отдельных модулей для реконструкции событий установки ОКА

Разработка алгоритма реконструкции треков

Научный руководитель

М.Н.С.

Научный консультант

д.ф.-м.н., в.н.с.

Студент

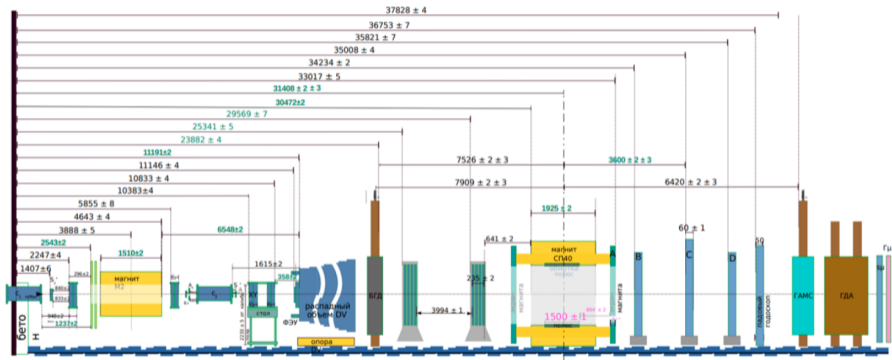
А. В. Охотников

С. Р. Слабоспицкий

Л. И. Лапшин

Москва 2026

Схема установки ОКА



Размеры в мм. Электромагнит СП-40 в центре ($z = 0$).

Дрейфовые камеры

- 4 трёхслойных дрейфовых камеры
- Расположены после распадного объёма
- Данные: точка в плоскости XZ или YZ



Назначение в трекинге:

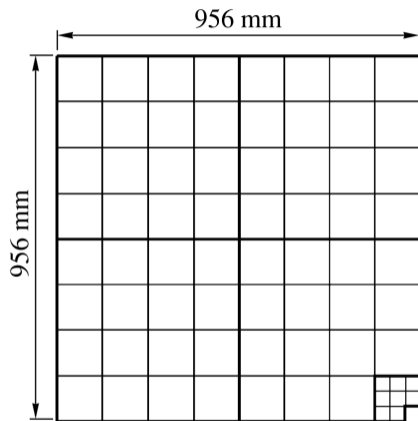
- Точное определение параметров трека

Падовый годоскоп

- 256 независимых секций, размером $119.5 \times 119.5 \text{ мм}^2$
- Сцинтилляционные детекторы, использование wls-волокон
- Данные: точка в плоскости XY

Назначение в трекинге:

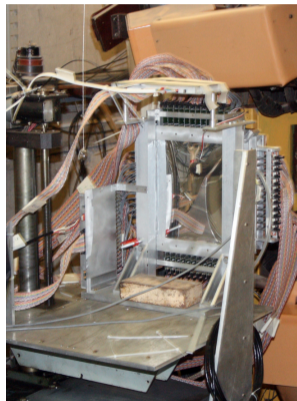
- Разрешение XY-неопределённости



Дополнительный годоскоп (4 ячейки) — в конце установки, детектор мюонов.

Пропорциональные камеры

- Однослойная дрейфовая камера, меньшие геометрические размеры
- Расположены до распадного объёма
- Получение хитов пучка и калибровка пучка



Методы трекинга

Нахождение треков:

Метод	Тип	Сложность
Преобразование Хафа	Глобальный	$O(N \cdot n_a \cdot n_b)$
Фильтрация Калмана	Локальный	$O(N^2)$

Фитирование:

Метод	Тип	Сложность
Метод Пирсона (χ^2)	Глобальный	$O(N)$
Фильтрация Калмана	Локальный	$O(N^2)$

Выбор методов для установки ОКА

- Частица создаёт два линейных трека (до и после электромагнита)

Выбраны глобальные методы:

- Преобразование Хафа — поиск треков
- Метод Пирсона (χ^2) — фитирование

Причина: простота аналитических выражений.

Алгоритм реконструкции

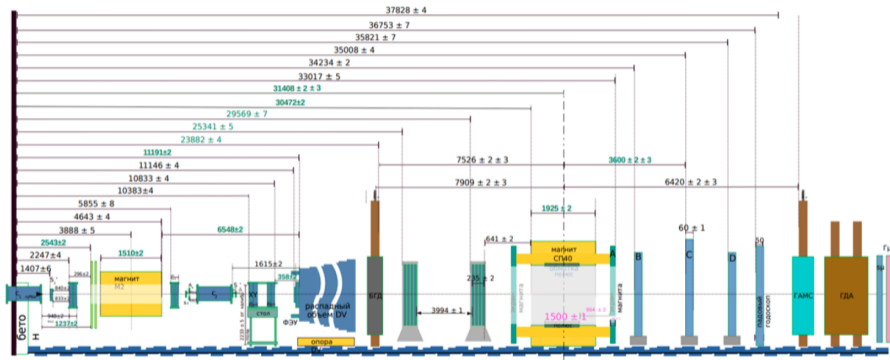
- Язык: C++
- Фреймворк: ROOT
- Классы: хиты, треки, бины искусственной сетчатки

Этапы:

- 1 Нахождение треков в плоскости ZX
- 2 Нахождение треков в плоскости ZY
- 3 Сшивка через хиты с тремя координатами
- 4 Аналитическое нахождение параметров

+ Настройка параметров преобразования Хафа (пределы, число бинов, перекрытие).

Схема установки ОКА



Размеры в мм. Электромагнит СП-40 в центре ($z = 0$).

Оценка параметров: граничные значения

Трек аппроксимируется прямой:

$$x = a \cdot z + b$$

Из геометрии установки:

$$a \in (-0,074; 0,074), \quad b \in (-1,5; 1,5) \text{ м}$$

Учтены ограничения:

- Апертура электромагнита СП-40: $200 \times 140 \text{ см}^2$
- Область измерения падового годоскопа: $498 \times 498 \text{ мм}^2$
- Детектор с наибольшей неопределённостью: падовый годоскоп

Оценка параметров: расчёт шагов и числа бинов

$$\Delta a = \operatorname{arctg} \left(\frac{x + 478}{12931} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{x}{25562} \right), \quad x \in (-956; 478)$$

Результат:

$$\Delta a \approx 0,05, \quad \Delta b \approx 0,478 \text{ м}$$

Число бинов:

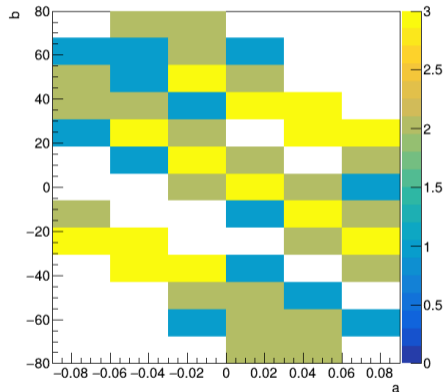
$$N_a = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{\Delta a} \approx 3, \quad N_b = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{\Delta b} \approx 7$$

Степень перекрытия:

$$\frac{a_{\max} - a_{\min}}{N_a \cdot \Delta a} = 0,82 \Rightarrow 12\%, \quad \frac{b_{\max} - b_{\min}}{N_b \cdot \Delta b} = 0,86 \Rightarrow 14\%$$

Проверка эффективности работы алгоритма

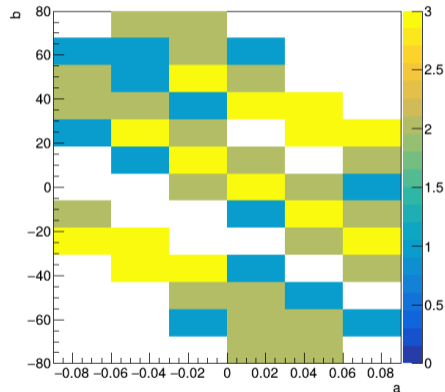
- Необходимость в подготовке данных
- Смоделированный распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$
- Анализ фрагмента данных для уточнения параметров преобразования Хафа
- Анализ фрагмента данных для уточнения параметров преобразования Хафа



Пример пространства Хафа для
 $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ распада 12 / 14

Проверка эффективности работы алгоритма

- 500 000 событий
- Отбор событий, в которых возможен трекинг - 95.6 %
- Отбор событий с точной реконструкцией и с малым относительным отклонением параметров - 16.5 %



Пример пространства Хафа для
 $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ распада 13/14

Заключение

- На основе анализа установки и готовых методов выбраны методы реконструкции треков (преобразование Хафа и хи-квадрат)
- Написан прототип алгоритма (C++, ROOT)
- Оценка эффективности на основе смоделированных распадов даёт неудовлетворительный результат (16.5 % событий обработаны корректно)
- Необходим пересмотр выбранных подходов к реконструкции (улучшение поиска через преобразование Хафа, использование дополнительных данных в анализе, рассмотрение локальных методов)