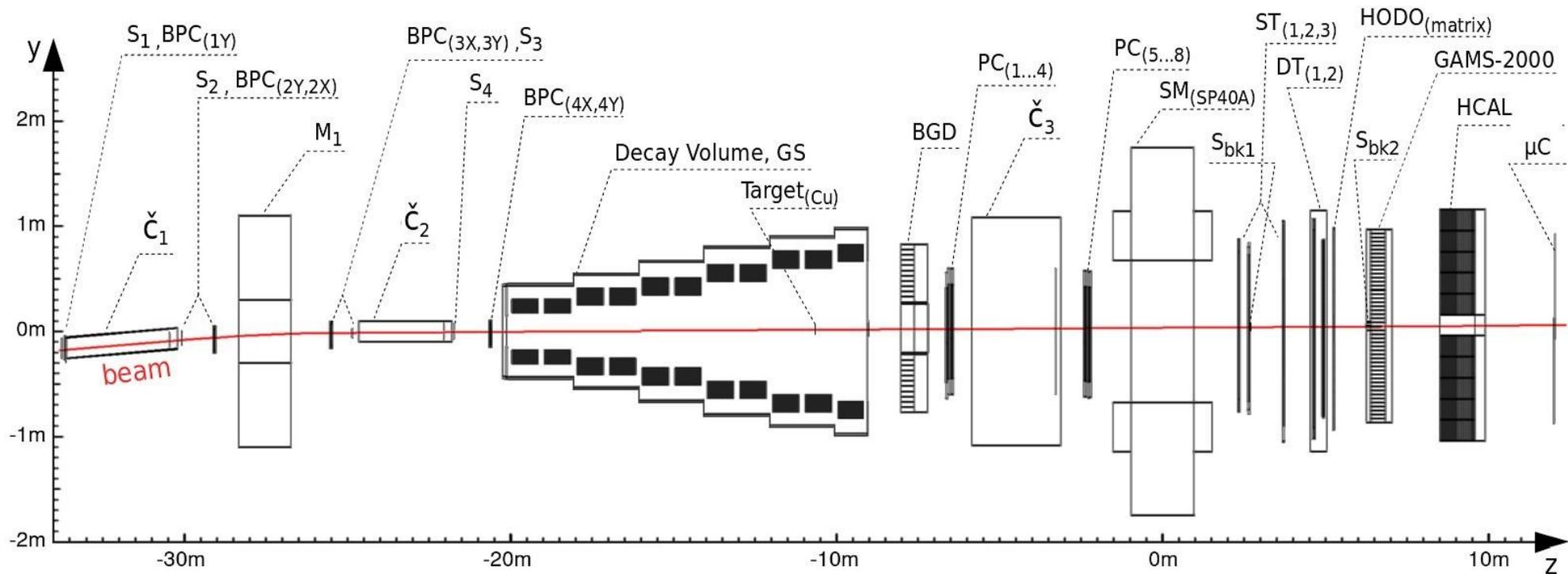


Схема установки ОКА (Опыты с КАонами)



Поставленные задачи

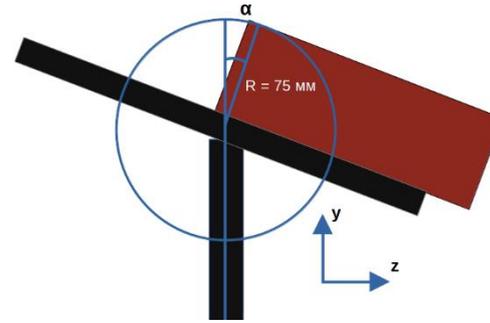
1. Измерение положения трековых детекторов.
2. Калибровка пропорциональных камер.
3. Калибровка дрейфовых камер.
4. Анализ реконструированных данных.

Измерение положения трековых детекторов

Необходимость измерения

- Аккуратная геометрическая привязка необходима для эффективной работы системы реконструкции
- В ходе эксперимента установка неоднократно модифицировалась, менялся набор детекторов

Использованное оборудование



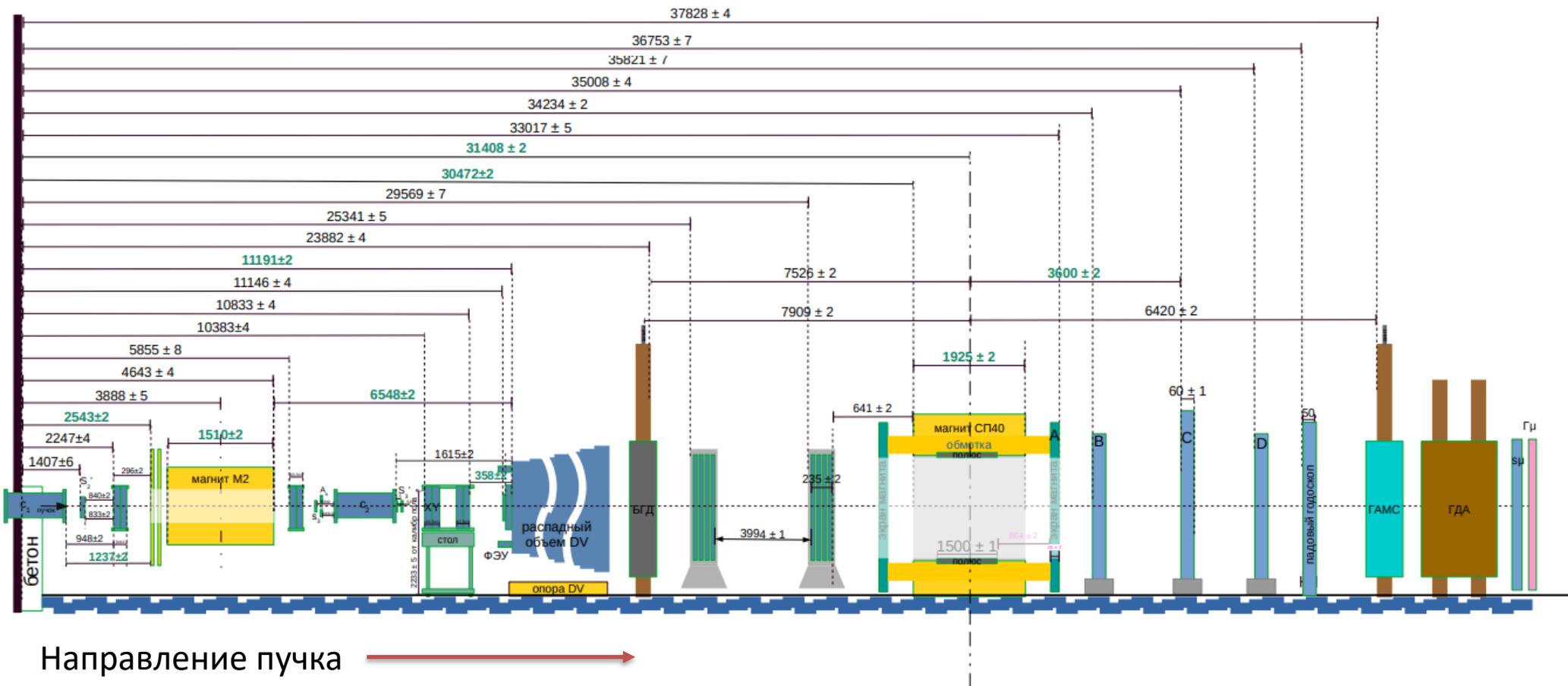
Смещение точки отсчета при наклоне штатива

Лазерный дальномер Leica DISTO D3a
BT и штатив

$$y' = y - R \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$z' = z + R \cdot \sin \alpha$$

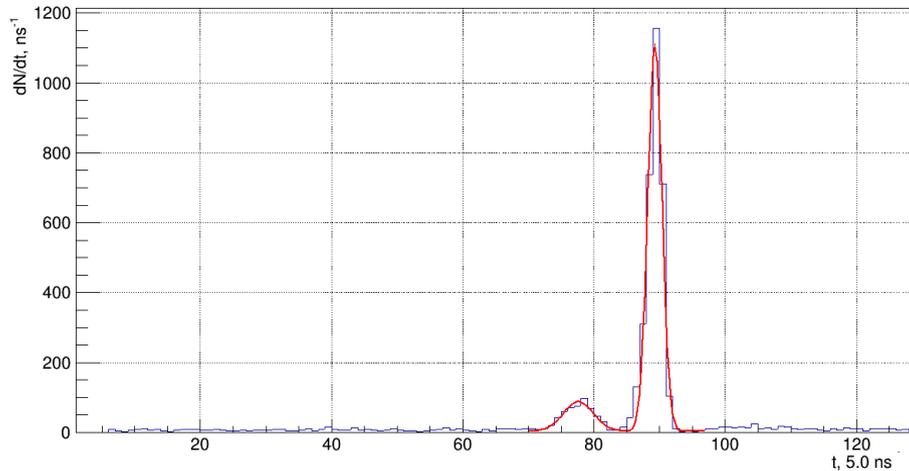
Результаты измерения



Калибровка пропорциональных камер

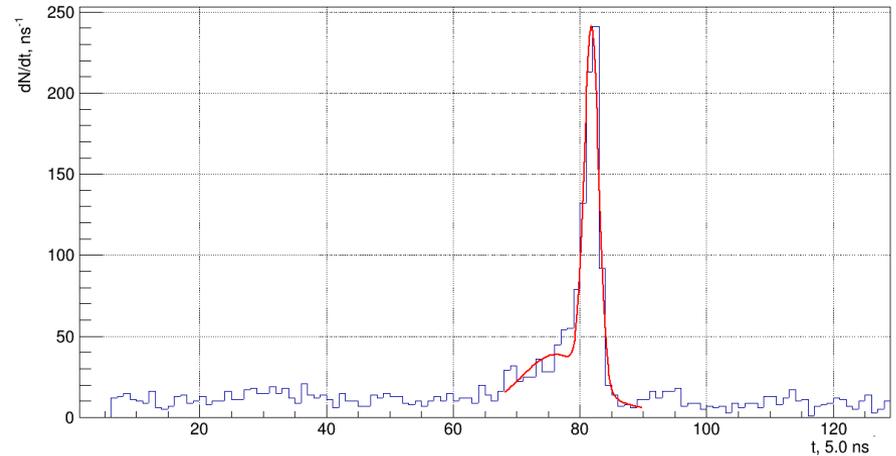
Калибровка пропорциональных камер

Events vs time (calib.)



Особенность временного распределения - пик импульса, созданного электронной лавиной, сопровождается вторичным пиком. Его необходимо исключить.

Events vs time (calib.)

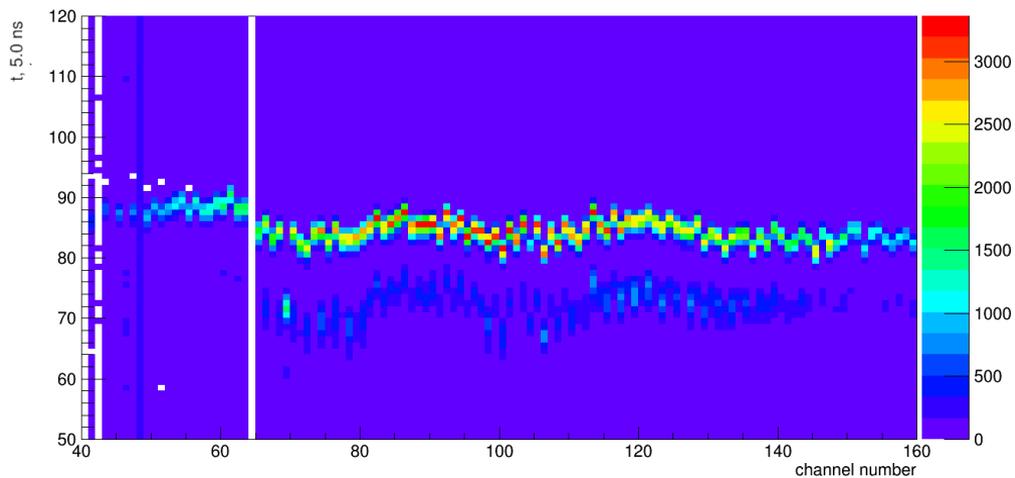


Иногда разрешить два пика может быть непросто.

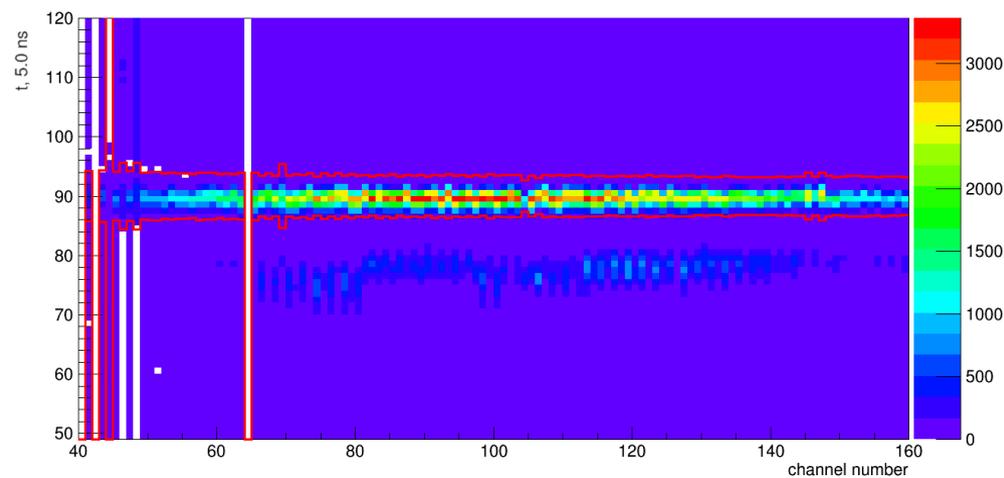
$$\frac{dN}{dt} = P_1 \cdot e^{-\frac{(x-P_2)^2}{P_3}} + P_4 \cdot e^{-\frac{(x-P_5)^2}{P_6}} + P_7$$

Калибровка пропорциональных камер

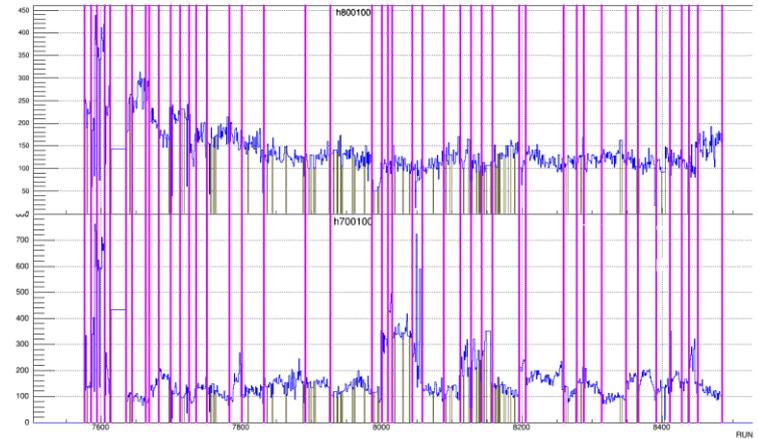
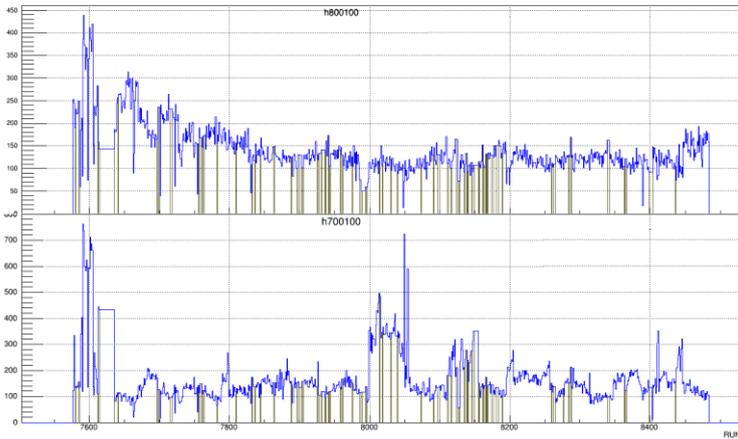
Events vs wires



Events vs wires (calib.)



Калибровка сеанса



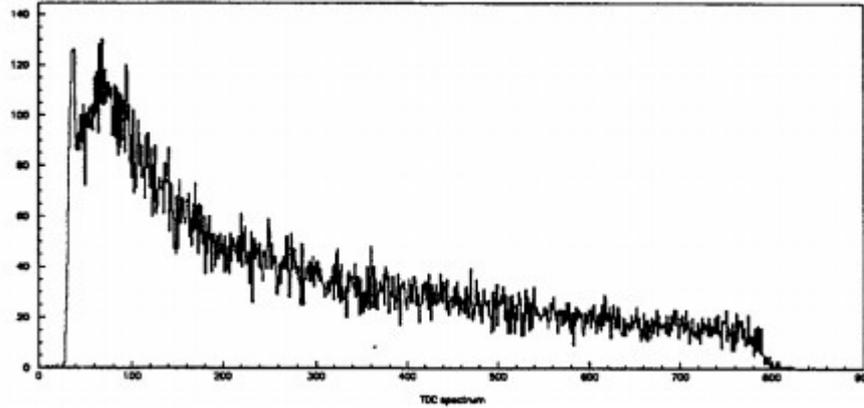
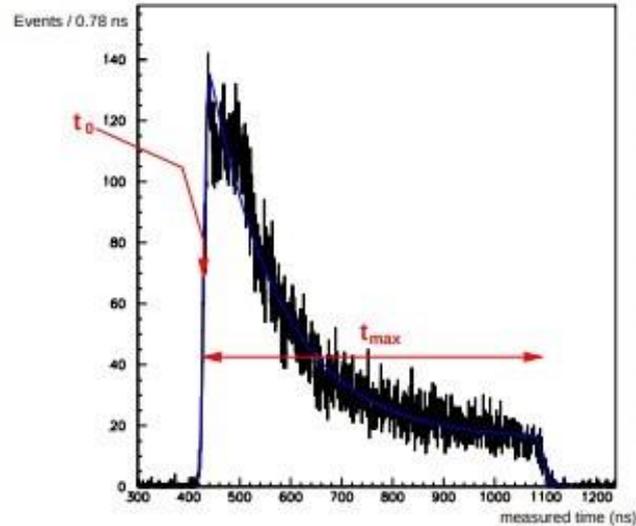
Здесь в качестве характеризующего параметра рассмотрены два тренда – значения t_0 в каналах.

- Выбираются параметры, зависящие от внешних условий
- Строится линия тренда, показывающая их изменение в течение сеанса
- Выбираются временные отрезки, на протяжении которых изменения были невелики
- Для данных из каждого отрезка проводится отдельная калибровка

Калибровка дрейфовых трубок

Калибровка дрейфовых трубок

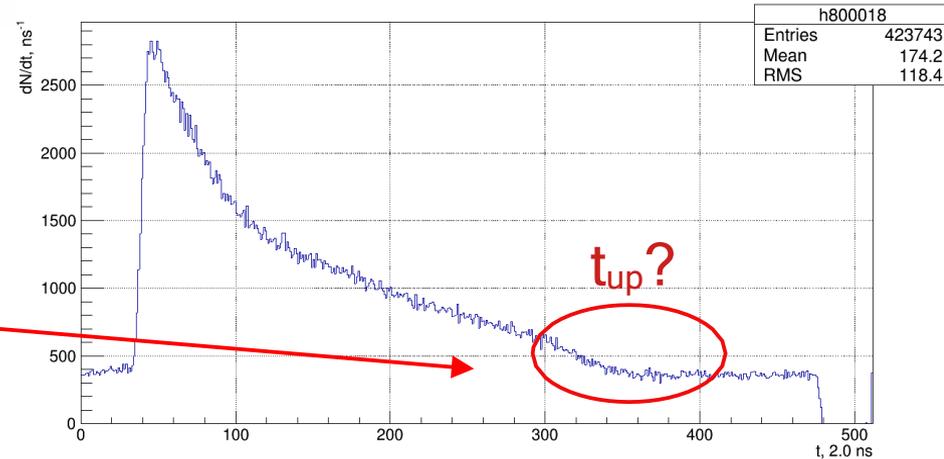
Характерные распределения dN/dt сигналов, снимаемых с дрейфовых трубок.



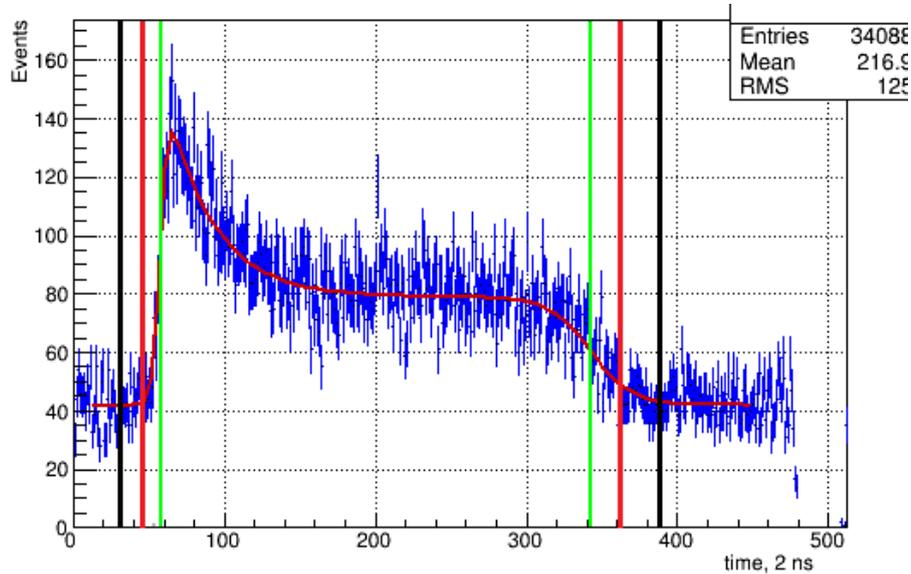
Первоочередная задача - определение рабочего диапазона времен прихода сигнала

$$t_0 < t < t_{up} = t_0 + t_{max}.$$

Поиск t_{up} осложнен плавным убыванием правой части временного спектра сигнала. Иногда переход сигнал-шум практически никак качественно не выделяется.



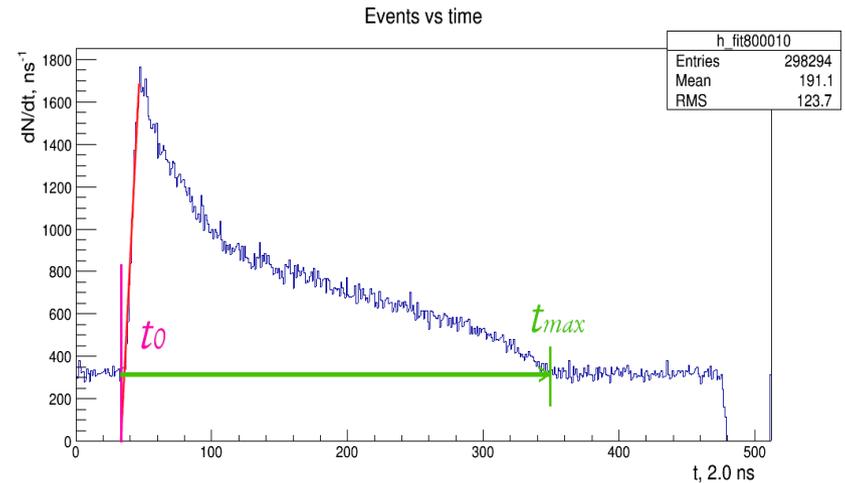
Калибровка дрейфовых трубок



1. Грубая оценка t_0 .
2. Грубая оценка шума.
3. Грубая оценка t_{up} .
4. Фитирование (см. внизу).
5. Определение поправок к t_0 , t_{up} .
6. Нахождение $r(t)$.

$$\frac{dN}{dt} = P_1 + \frac{P_2(1 + P_3 \cdot e^{\frac{P_5-t}{P_4}})}{(1 + e^{\frac{P_5-t}{P_7}})(1 + e^{\frac{t-P_6}{P_8}})}$$

(ATL-MUON-PUB-2008-04)



Калибровка дрейфовых трубок

$$\frac{dn}{dr} = const = \frac{N_{totTube}}{R_{tube}},$$

$$v(t) = \frac{dr}{dt} = \frac{dn}{dt} \cdot \frac{dr}{dn} = \frac{R_{tube}}{N_{totTube}} \cdot \frac{dn}{dt} \Rightarrow r(t) = \frac{R_{tube}}{N_{tot}} \cdot \int_0^t \frac{dn}{d\tau} \cdot d\tau.$$

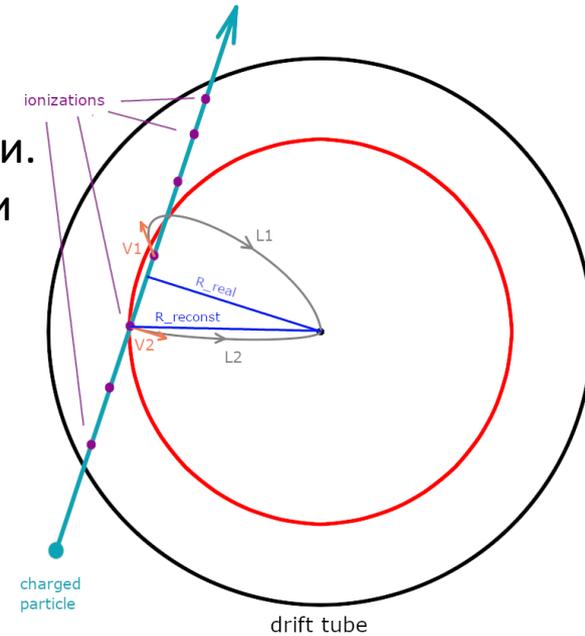
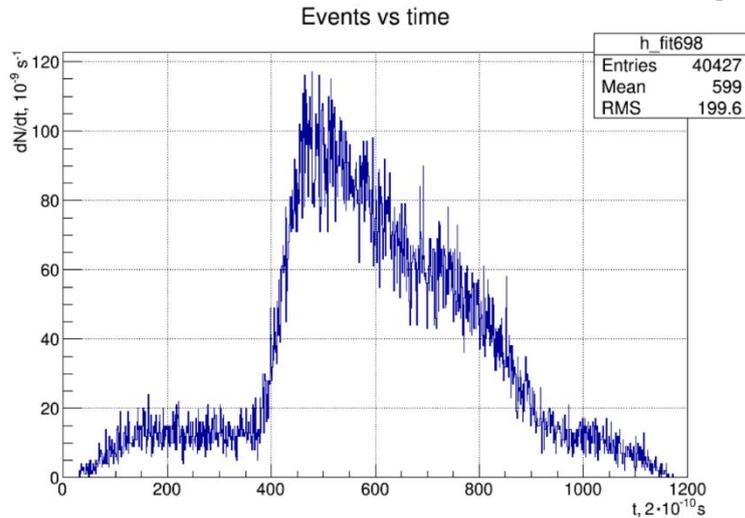
(ATL-MUON-94-040)

Достоинством используемого метода является отсутствие необходимости знания треков и геометрической привязки детекторов

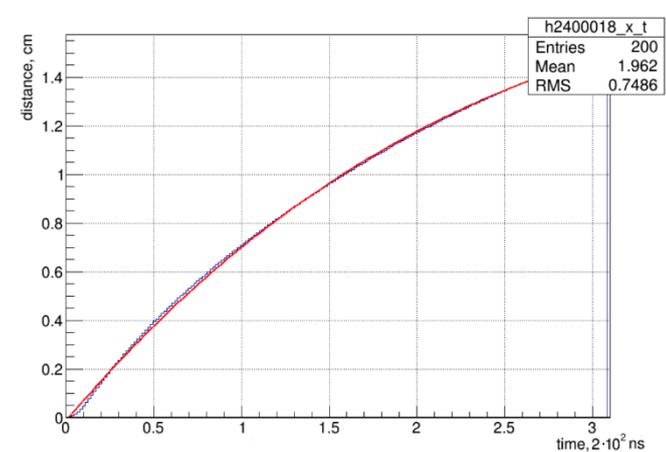
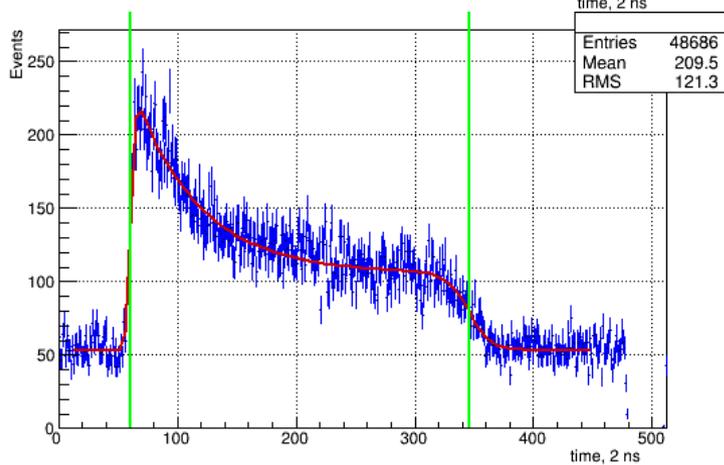
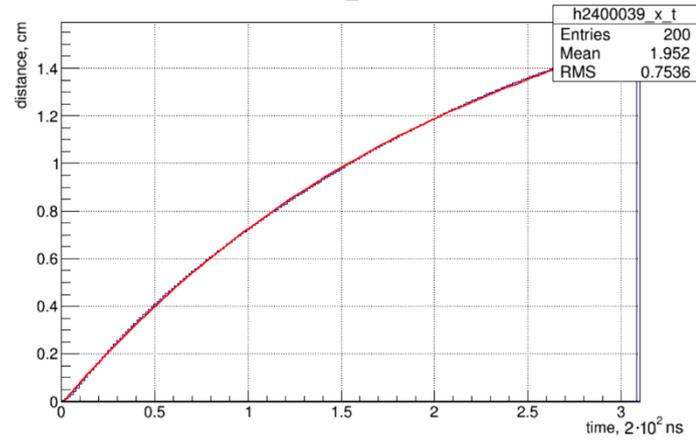
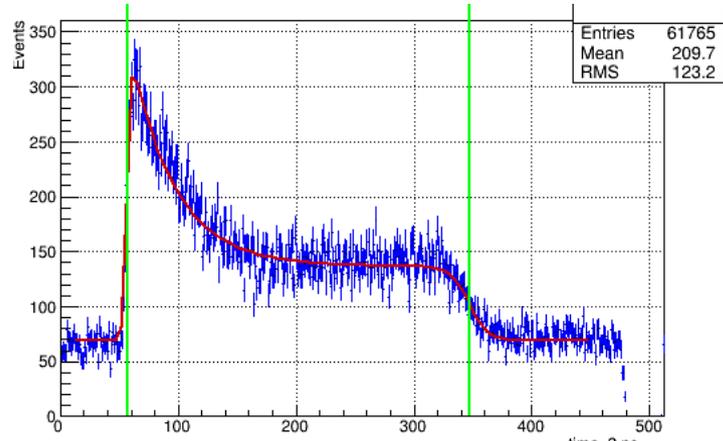
Калибровка дрейфовых трубок

Факторы, создающие искажение сигнала:

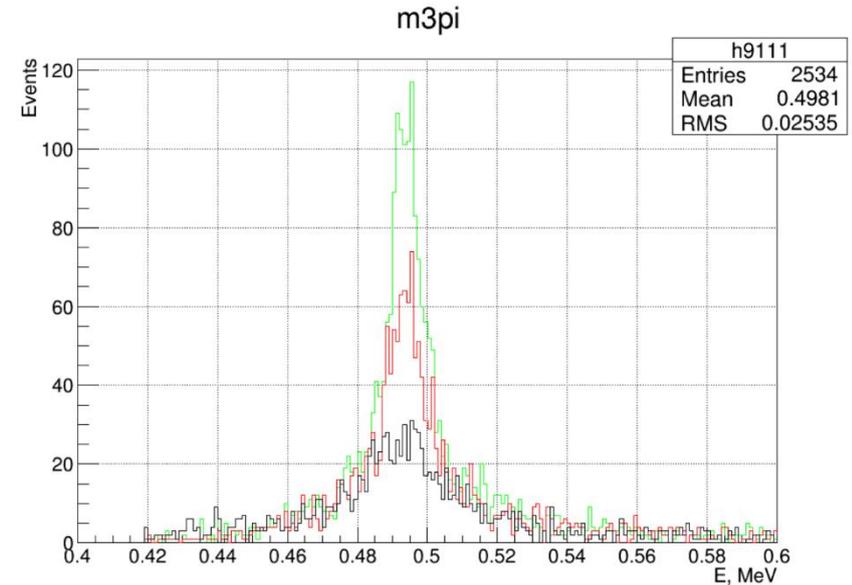
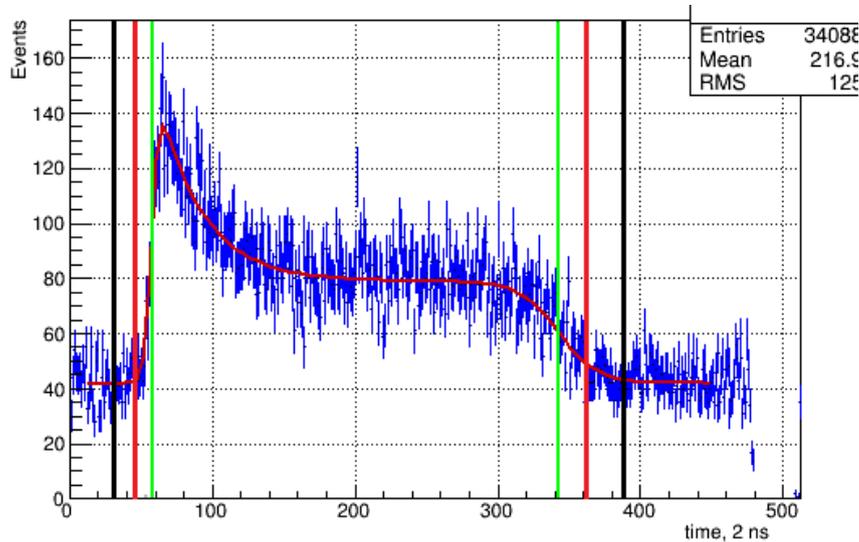
1. Начальная скорость электронов.
2. Разброс сигналов вдоль проволоки.
3. Соударения электронов с атомами газовой смеси.



Калибровка дрейфовых трубок



Калибровка дрейфовых трубок



В ходе работы выяснилось, что крайне важен для успеха калибровки подбор временного окна

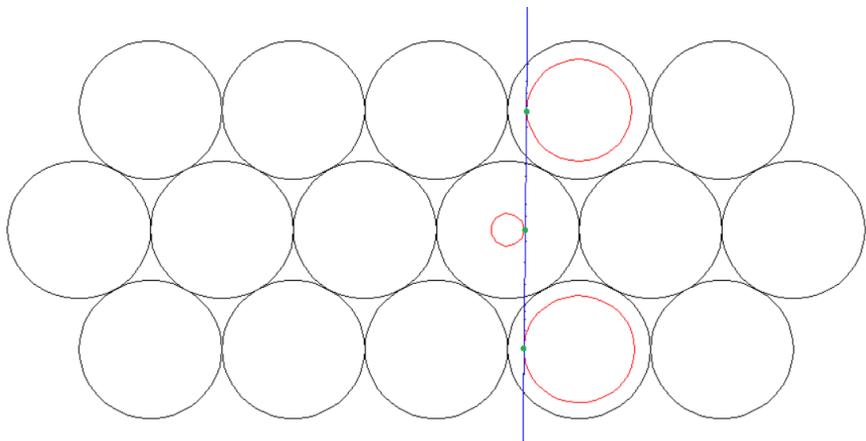
Распределение инвариантной массы пиона в процессе $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ Использовалось для проверки качества калибровки.

Реконструкция трека в трехслойной камере

Реконструкция трека в трехслойной камере



Реконструкция трека в трехслойной камере



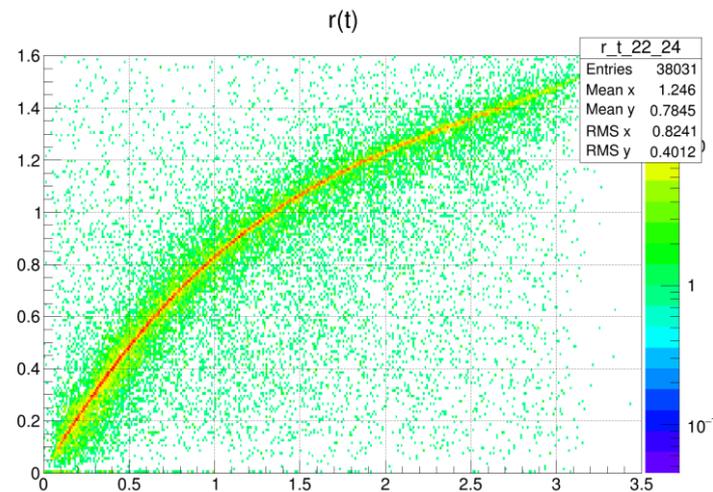
Residual – ключевой параметр для оценки трека:

$$res = d_1 + d_2 + d_3$$

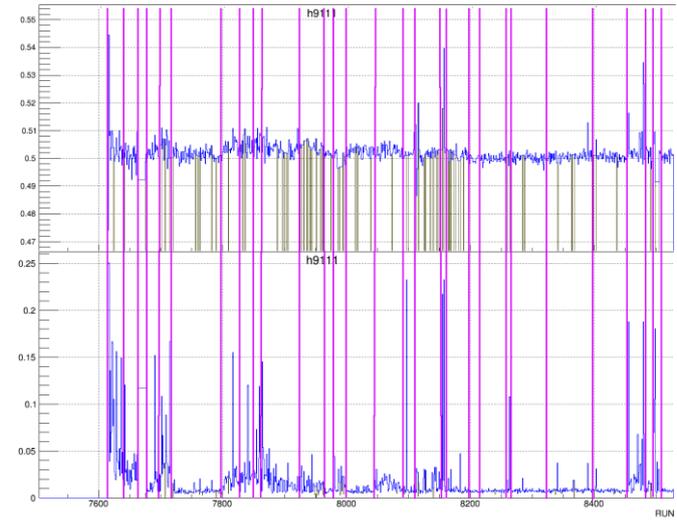
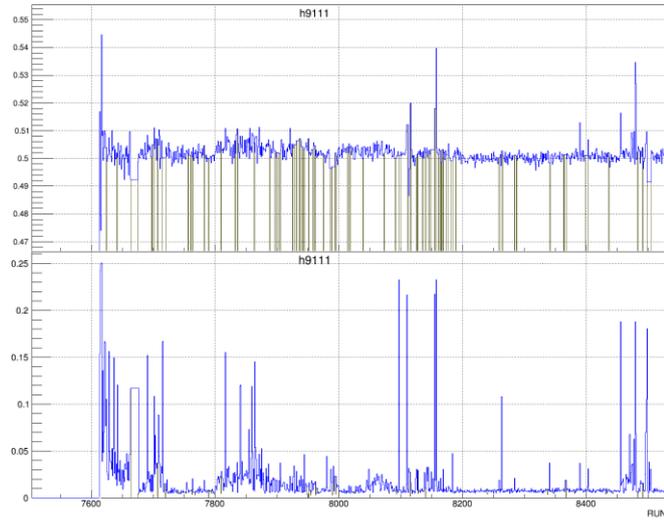
$$d_i = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

- расстояния до окружностей.

(CERN-EP-2019-091)



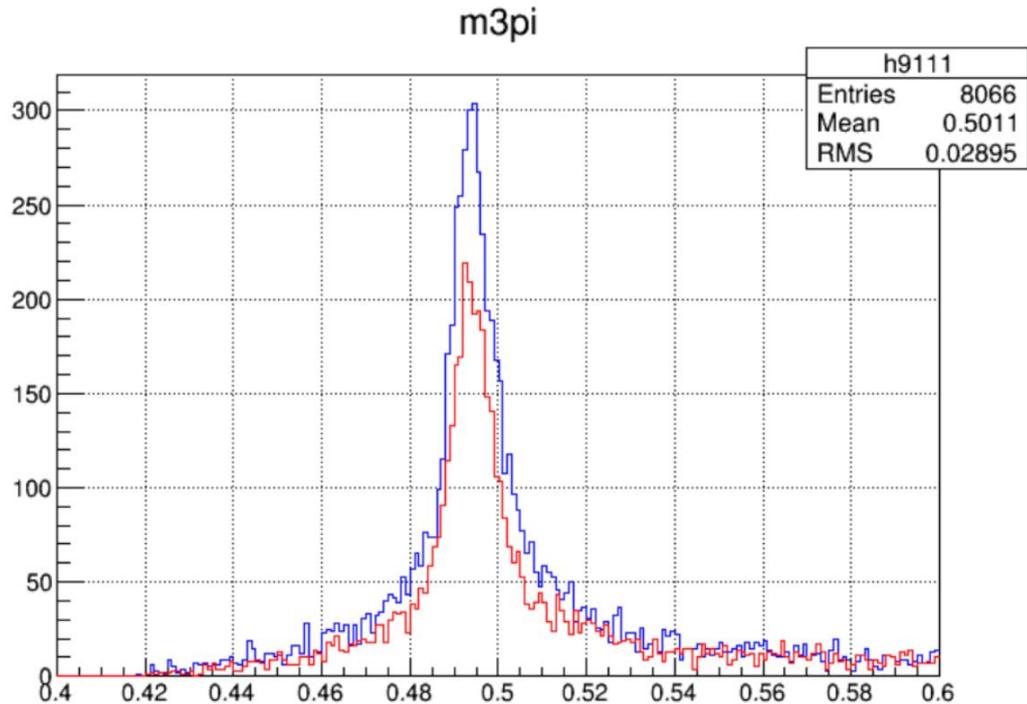
Калибровка сеанса



В качестве характеризующих параметров использованы ширина и положение пика инвариантной массы $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$.

Анализ реконструированных данных

Реконструкция $K \rightarrow 3\pi$



Восстановлено распределение инвариантной массы для распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$.

Показан пример восстановленного пика с использованием калибровки на начальном этапе (красная линия) и конечная версия (синяя) – восстанавливается на $\sim 60\%$ больше событий, ширина пика меньше на $\sim 5\%$.

Анализ $K \rightarrow \mu\nu$

Распад $K^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ не относится к редким процессам (вероятность $\sim 60\%$), достаточно хорошо изучен. Его анализ сам по себе едва ли будет иметь ценность для фундаментальной физики.

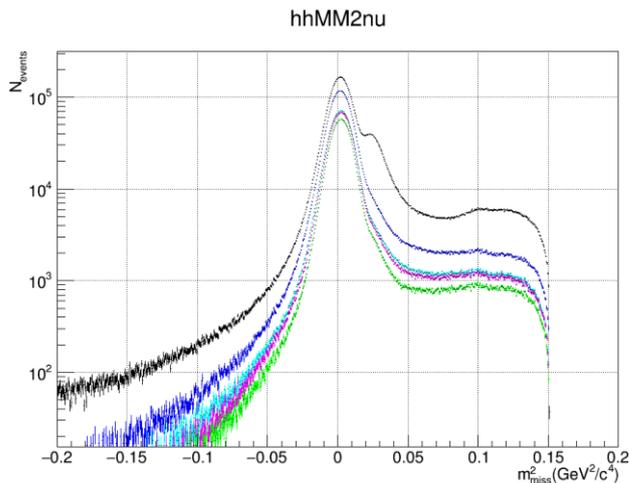
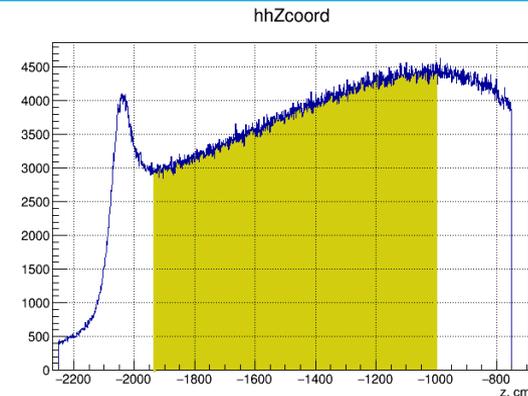
Цели изучения:

1. Проверка эффективности работы созданной системы калибровки.
2. Обработка экспериментальных данных с целью поиска тяжелых стерильных нейтрино в гипотетическом процессе $K^+ \rightarrow \mu^+\nu_H$.

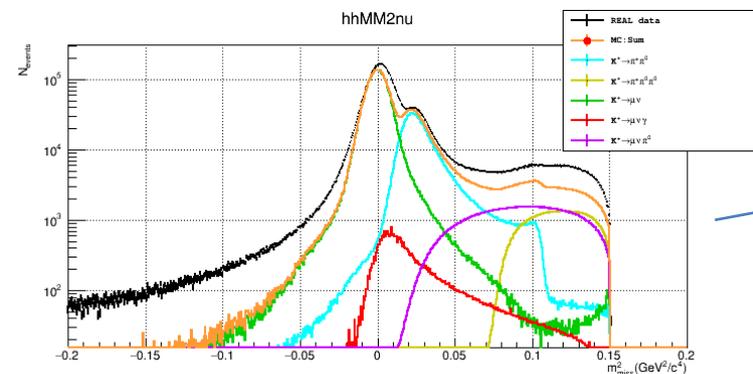
Отбор событий

1. Событие имеет два трека (пучковый + вторичная частица).
2. Точка распада первичной частицы находится внутри DV.
3. Точка распада расположена в области пучка (не более 5 см от оси установки).
4. Минимальное число хитов в системе трековых камер не менее 16.
5. Наличие мюонного трека: отсутствие сигнала в BGD и его наличие в GAMS или GDA.

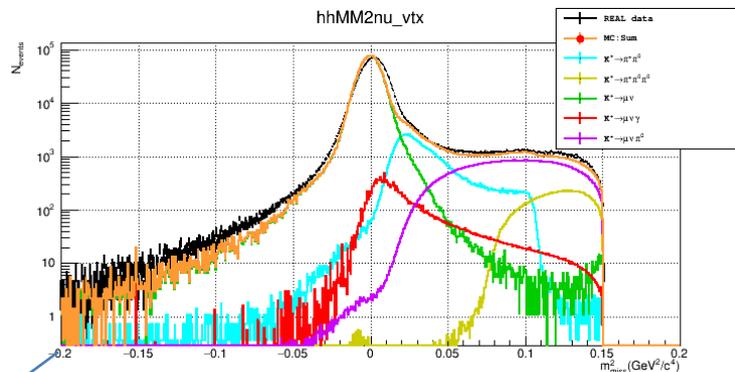
Импульс пучка	17,7 ГэВ/с;
Начальное число событий	$\sim 9,1 * 10^9$;
Событий после отбора	$\sim 2,4 * 10^9$.



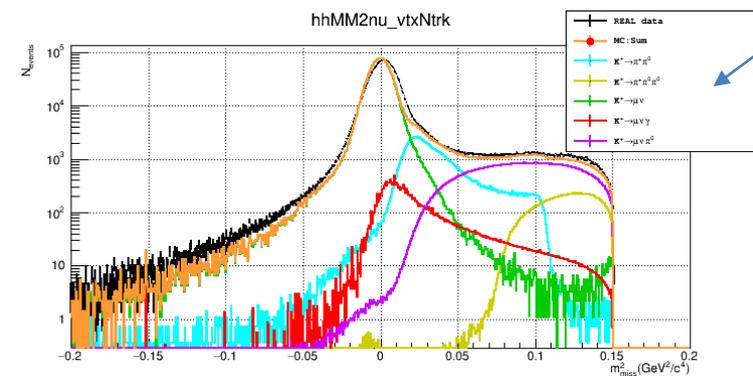
Отбор событий



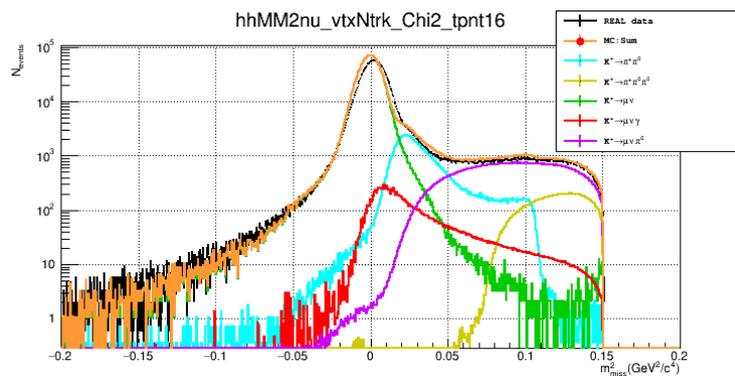
1,2



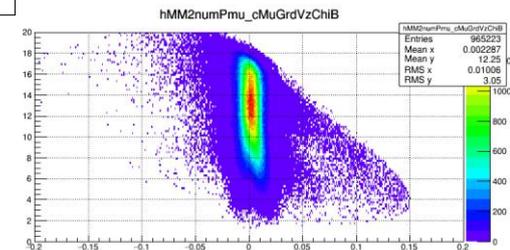
3,4



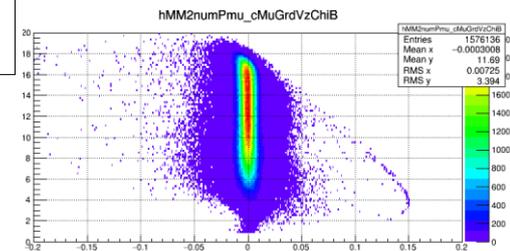
5



REAL:



MC:



Понижение уровня фоновых процессов важно для поиска следов $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_H$

Заключение

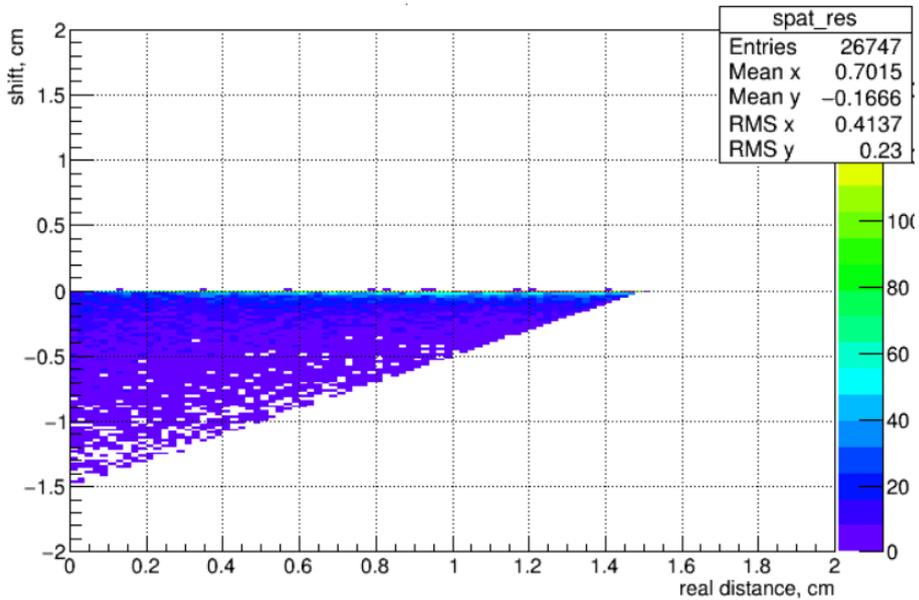
1. Проведены измерения установки ОКА и получена схема расположения детекторов.
2. Разработан и применен алгоритм на языке C++ с использованием пакета ROOT для калибровки пропорциональных и дрейфовых детекторов установки ОКА.
3. С целью возможного уточнения калибровки создан и опробован альтернативный алгоритм, реконструирующий треки заряженных частиц по данным от трех последовательных слоев дрейфовых трубок.
4. Проведена калибровка трековых детекторов для полного сеанса работы. Качество калибровки проверено путем анализа распада $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$.

Таким образом, **поставленная задача выполнена в полном объеме**: созданная система калибровки позволяет проводить измерения с высокой точностью и будет востребована сотрудничеством ОКА при анализе ближайшего и последующих сеансов работы установки.

Спасибо за внимание!

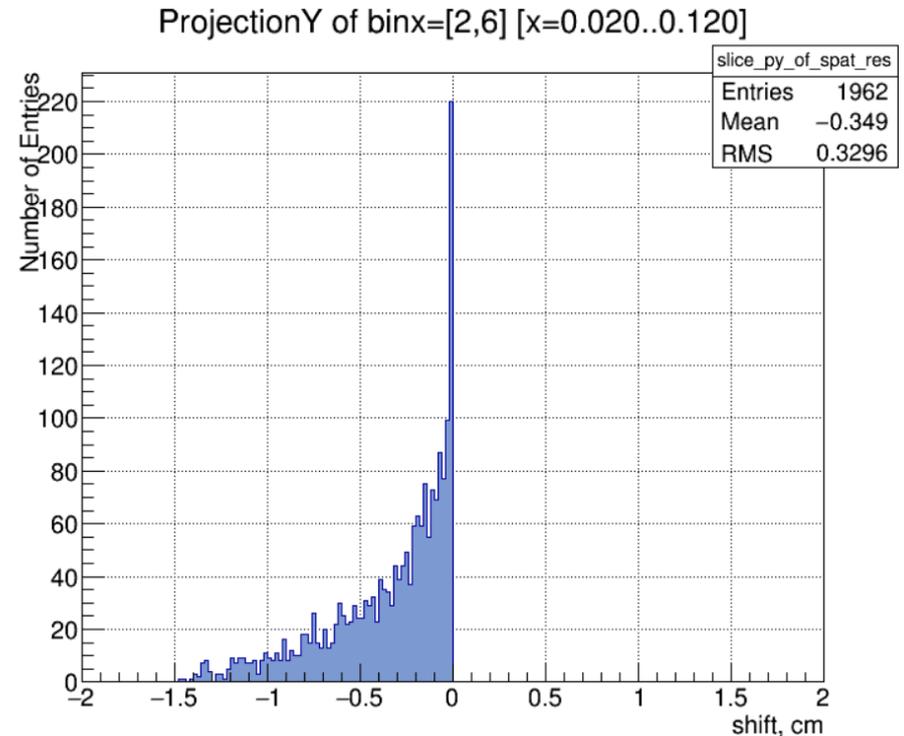
- [1] P. Bagnaia, T. Baroncelli et al. Calibration model for the MDT chambers of the ATLAS Muon Spectrometer. 04 2008.
- [2] S. Baranov, V. Dodonov, and A. Glazov. Autocalibration method for determination of drift time - space relation for HPDT. 5 1994.

Реконструкция трека в трехслойной камере



Чем ближе к центру трубки проходит трек, тем выше становится относительное искажение времени прибытия

=> выше вероятность искажения местоположения трека



Калибровка пропорциональных камер

