

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МИФИ»

Кафедра физики элементарных частиц

ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ  
на соискание степени магистра

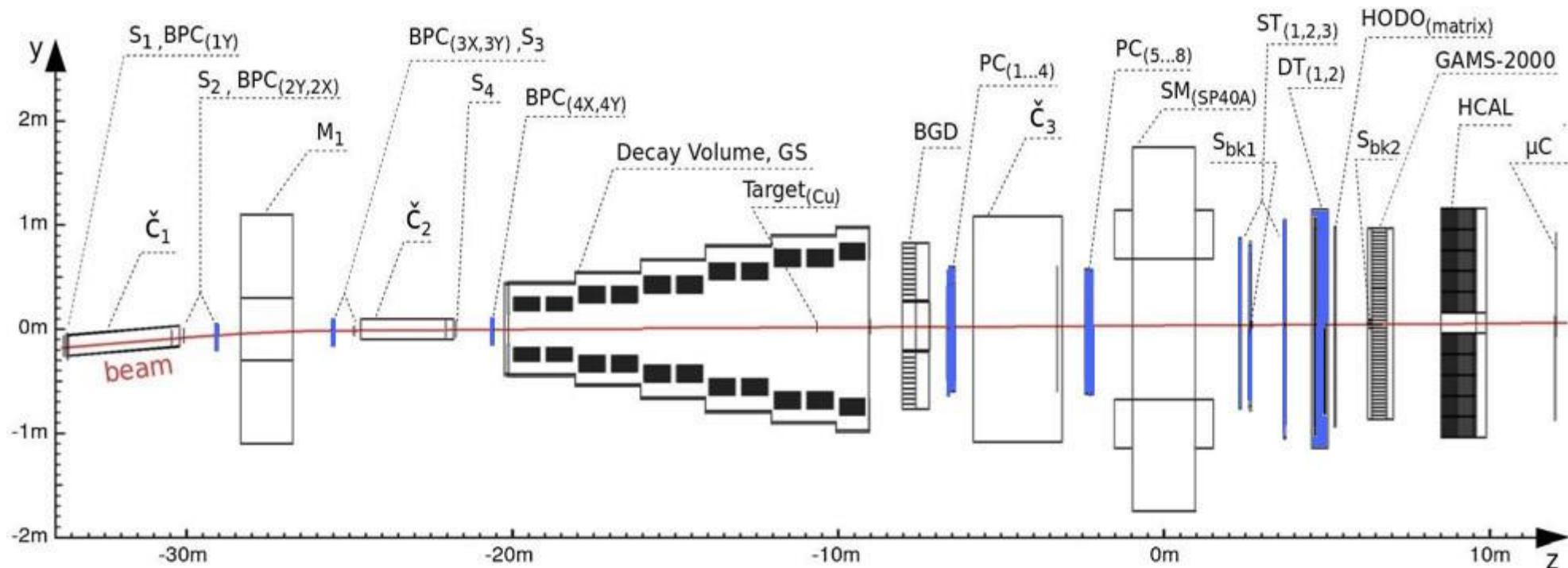
Калибровка детекторов установки ОКА на ускорителе  
У-70

Студент А.В. Охотников

Научный руководитель к. ф.-м. н.,  
А.С. Садовский

Консультант с.н.с.,  
В.Ф. Куршецов

# Схема установки ОКА (Опыты с КАонами)



# Поставленные задачи

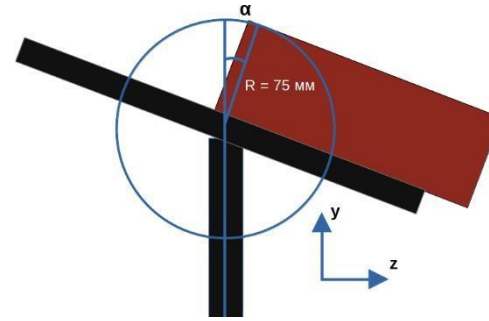
1. Измерение положения трековых детекторов.
2. Калибровка пропорциональных камер.
3. Калибровка дрейфовых камер.
4. Анализ реконструированных данных.

# 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



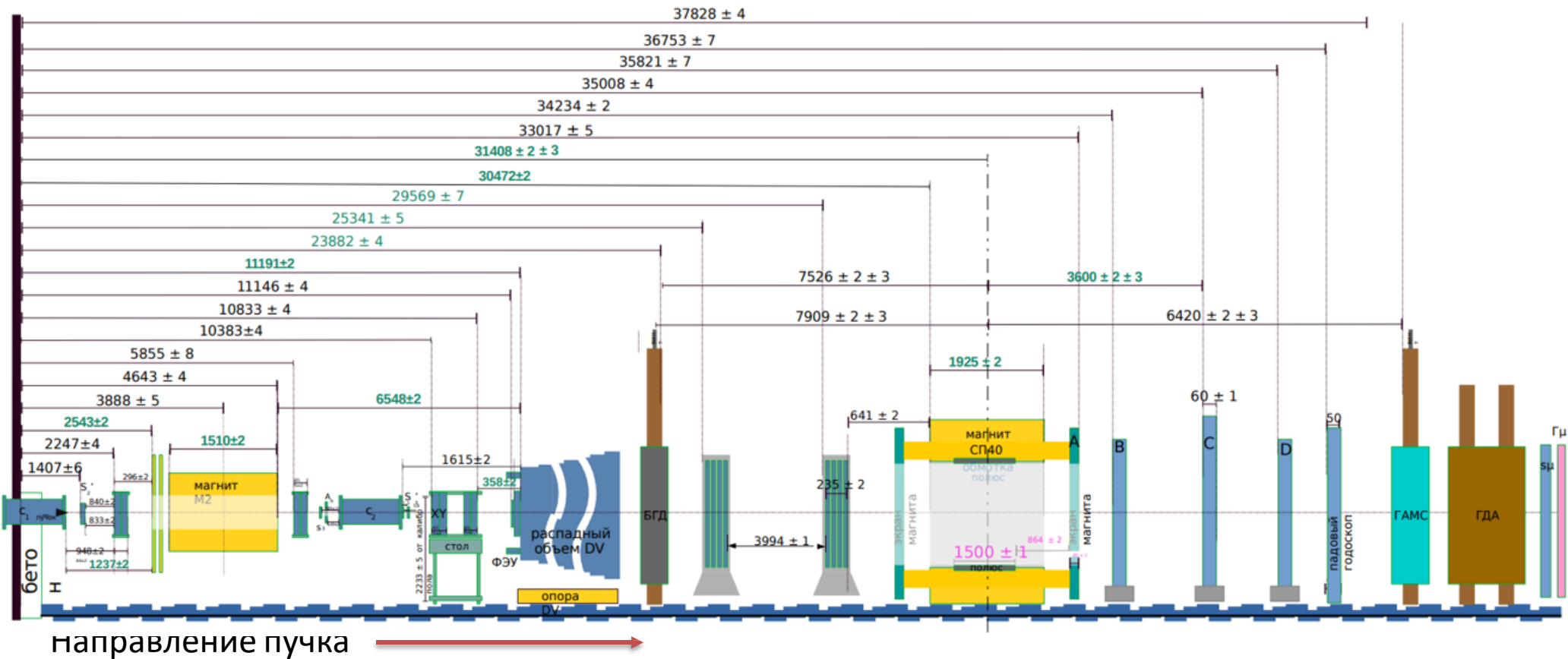
Смещение точки отсчета при наклоне штатива

Лазерный дальномер Leica DISTO D3a  
BT и штатив

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

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

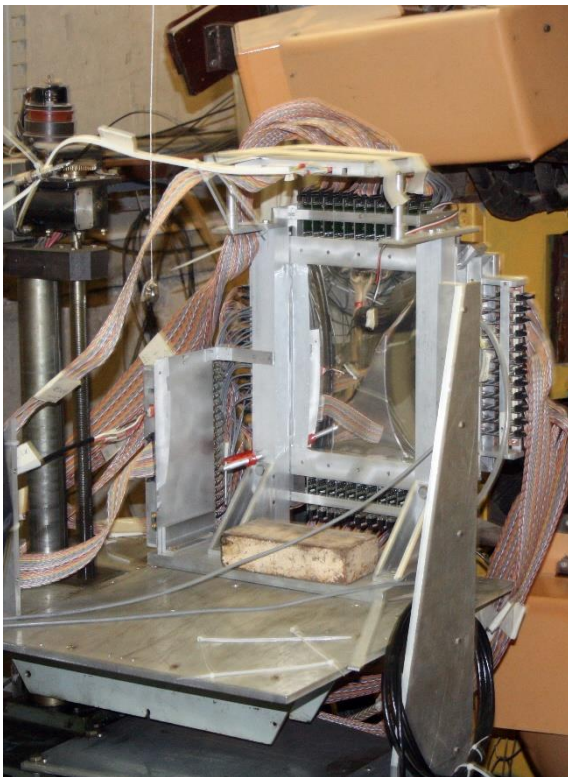
# Результаты измерения



# Калибровка пропорциональных камер



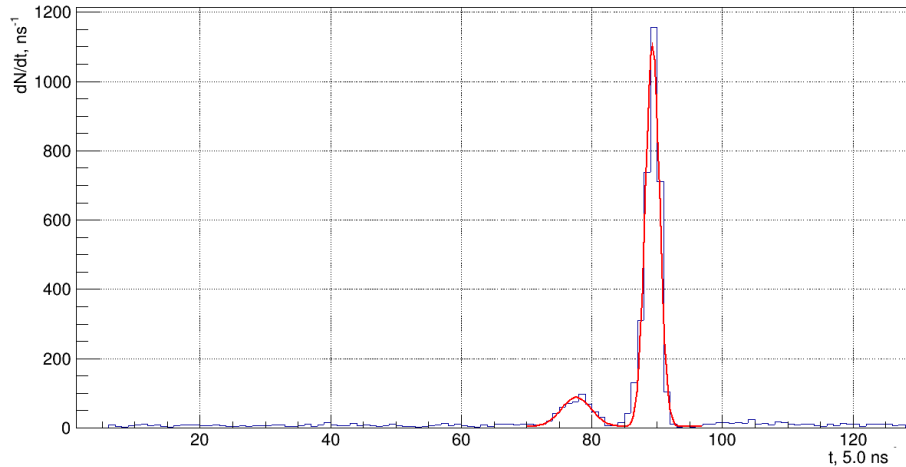
# Калибровка пропорциональных камер



Пучковая пропорциональная камера  
установки ОКА

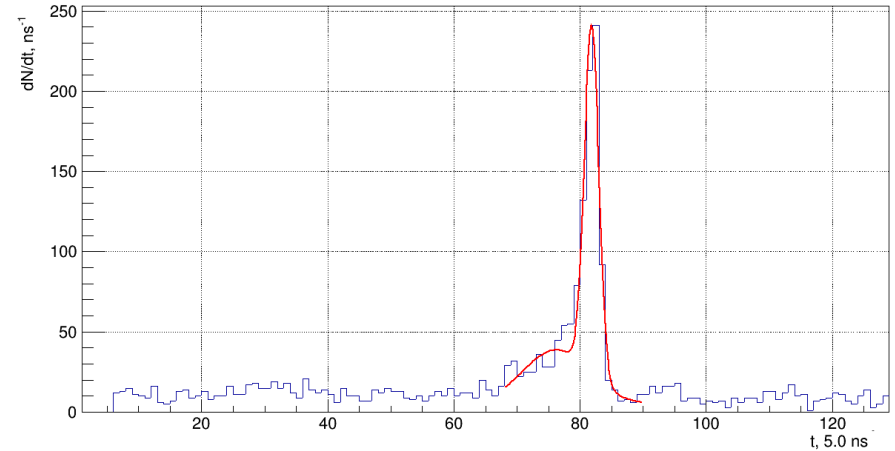
# Калибровка пропорциональных камер

Events vs time (calib.)



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

Events vs time (calib.)

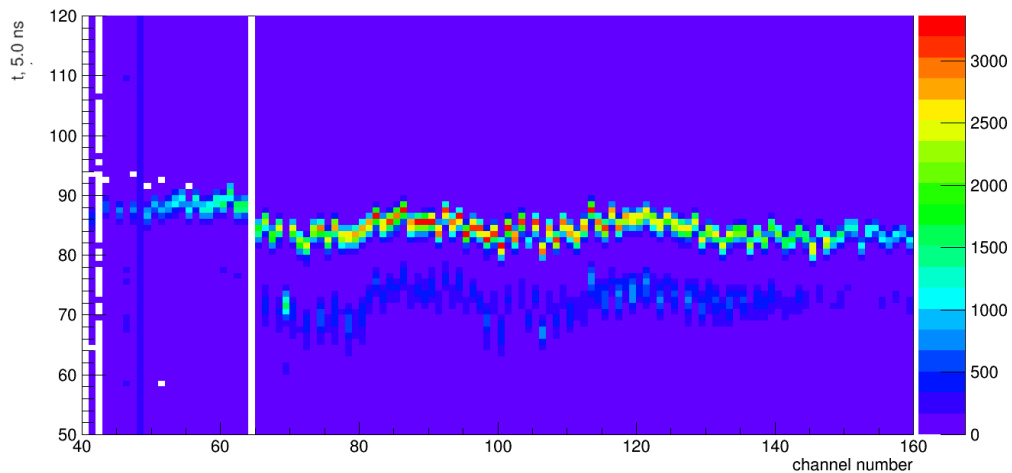


Иногда разрешить два пика может быть непросто.

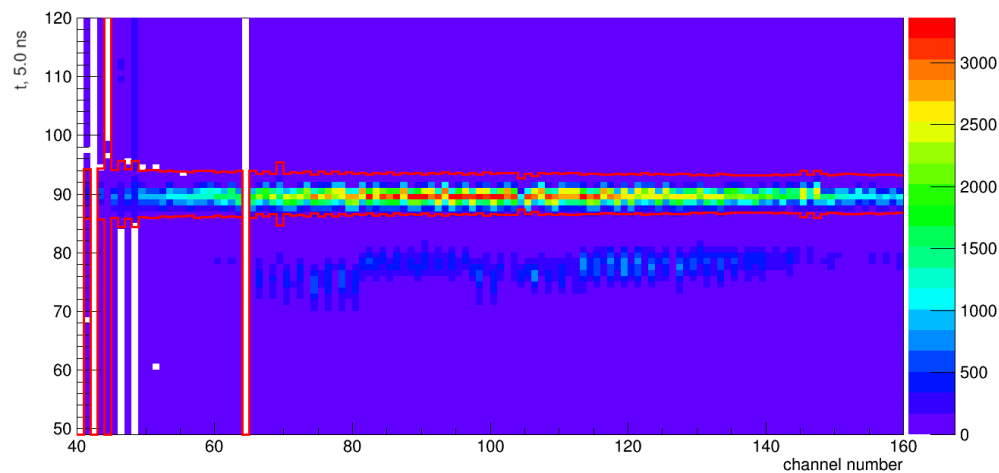
$$\frac{dN}{dt} = P_1 \cdot e^{-\frac{(x-P_2)^2}{P_3}} + P_4 \cdot e^{-\frac{(x-P_5)^2}{P_6}} + P_7$$

# Калибровка пропорциональных камер

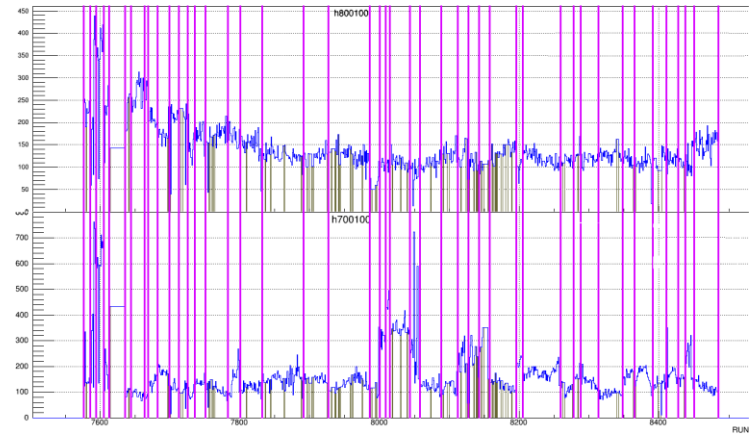
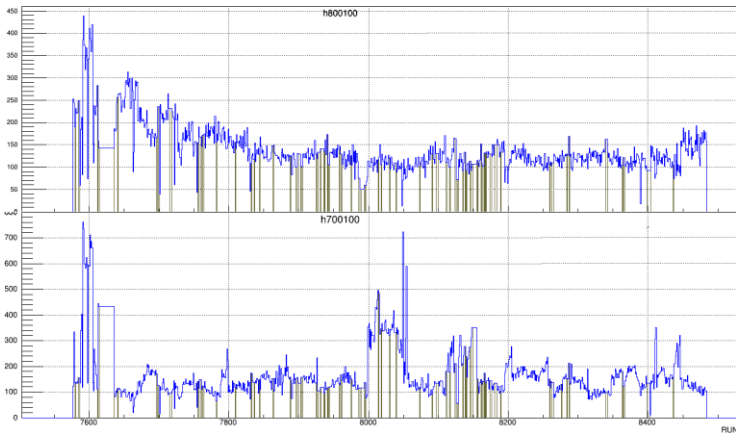
Events vs wires



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

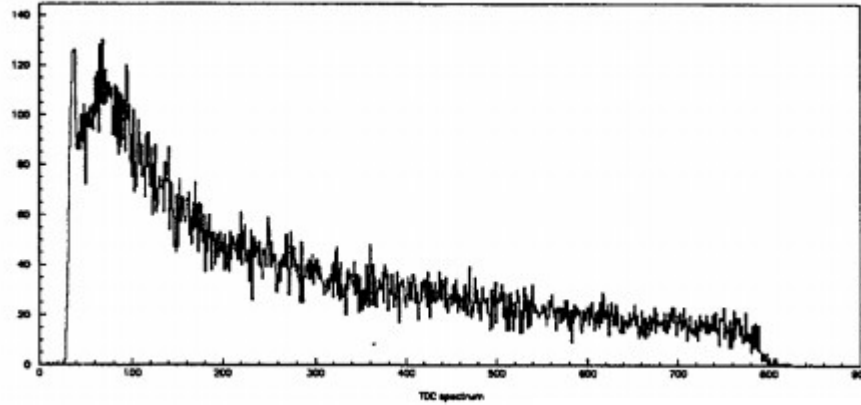
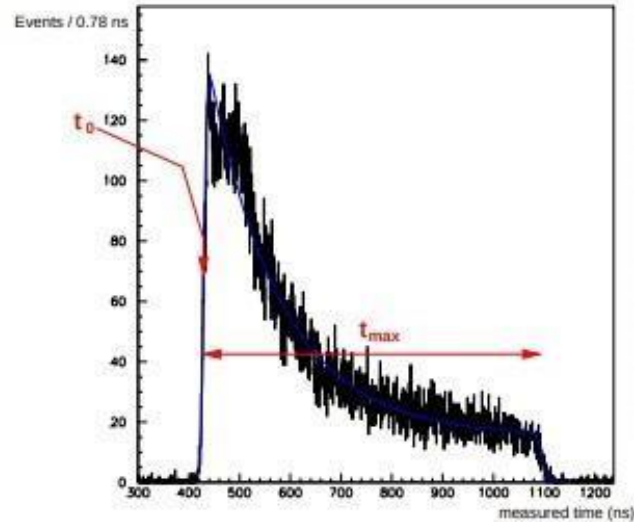
# Калибровка дрейфовых трубок



Трековый детектор на основе дрейфовых трубок. В центре закреплен сцинтилляционный счетчик в области прохождения пучка.

# Калибровка дрейфовых трубок

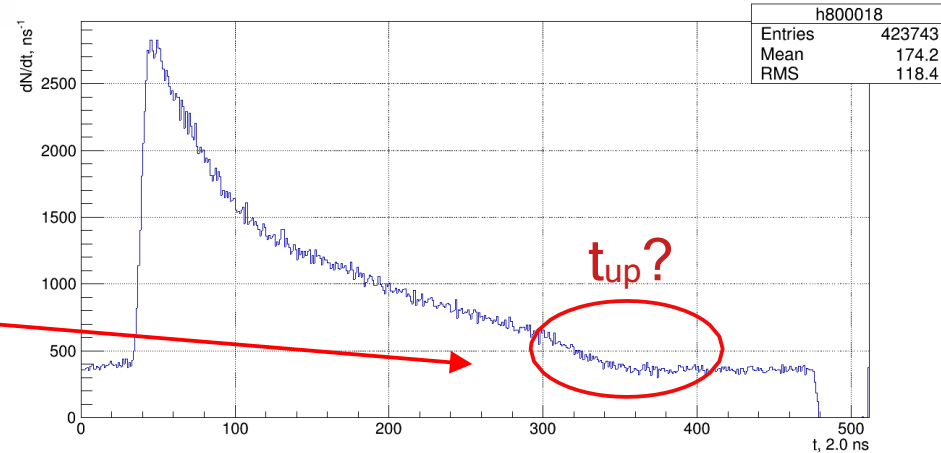
Характерные распределения  $dN/dt$  сигналов, снимаемых с дрейфовых трубок.



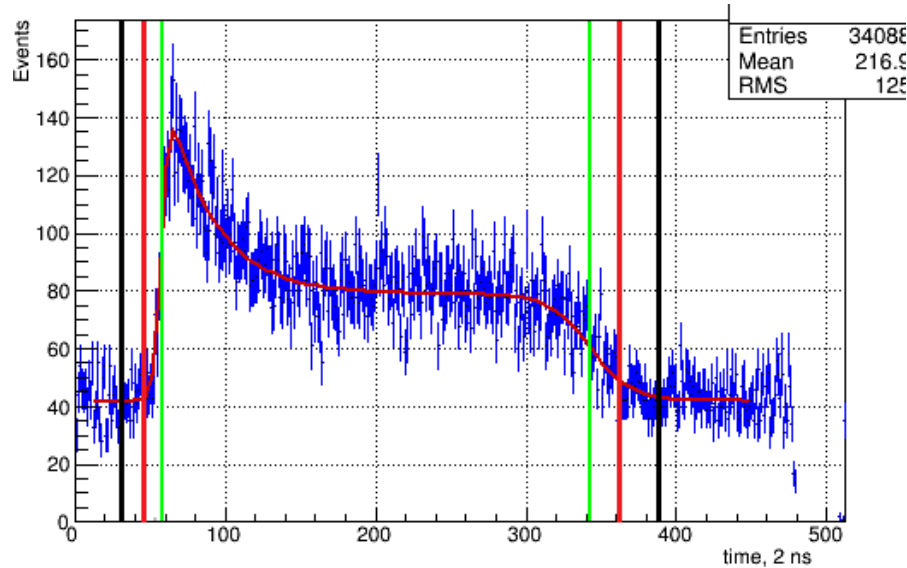
Первоочередная задача - определение рабочего диапазона времен прихода сигнала

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

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



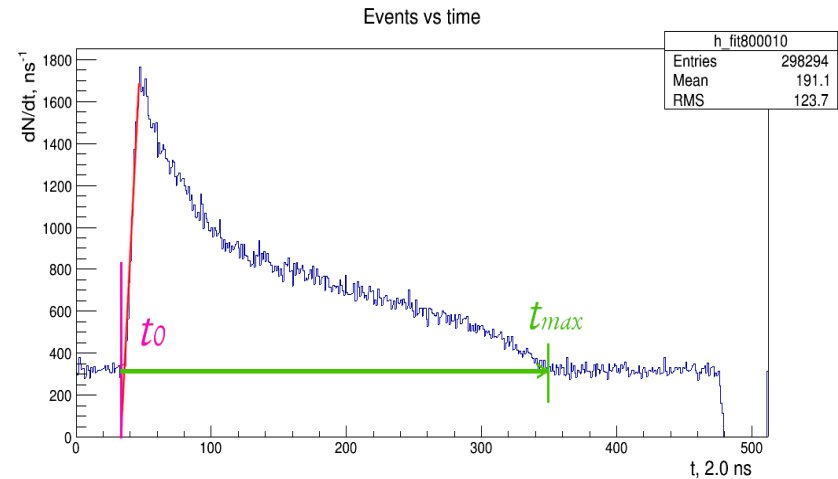
# Калибровка дрейфовых трубок



1. Грубая оценка  $t_0$ .
2. Грубая оценка уровня 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)

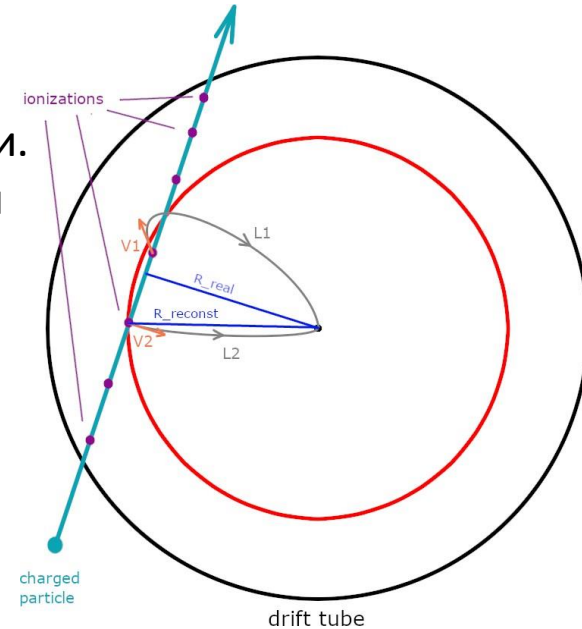
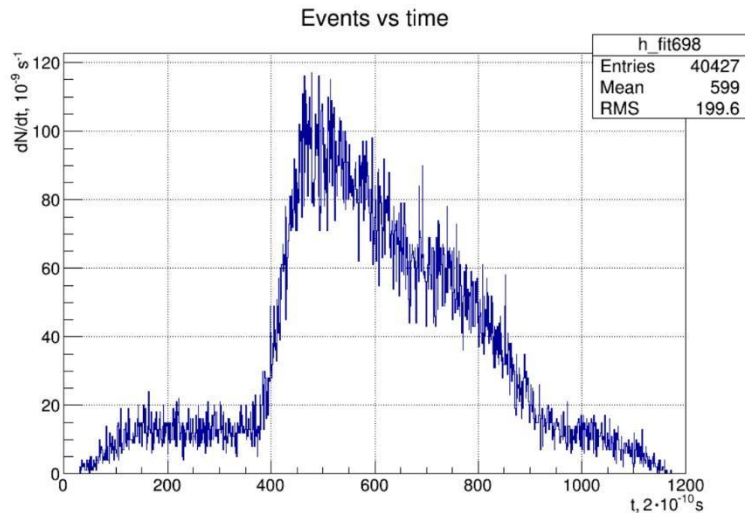
Преимущества метода:

- не требуется информация о треке;
- нет необходимости в геометрической привязке детекторов;
- достаточно общего допущения о локальной равномерности потока частиц.

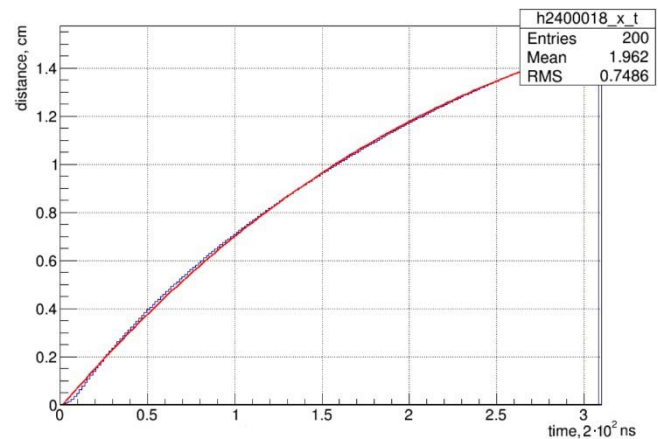
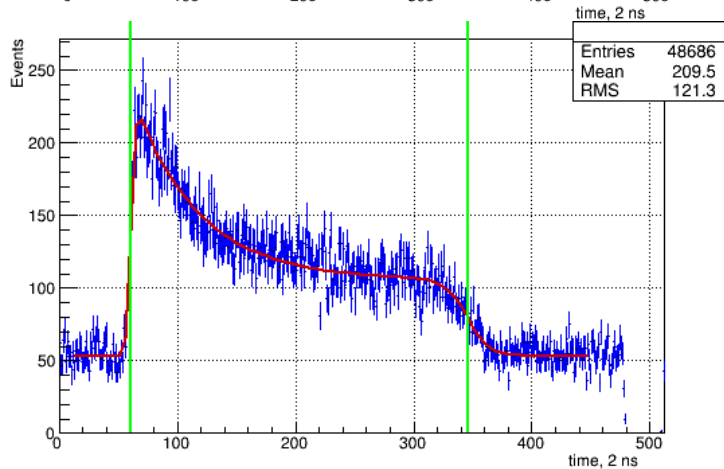
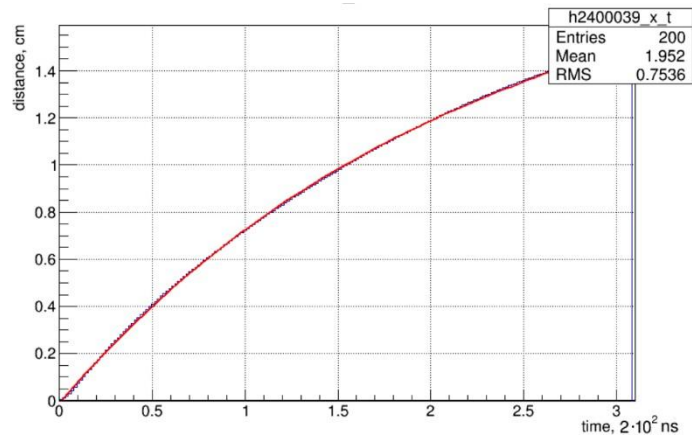
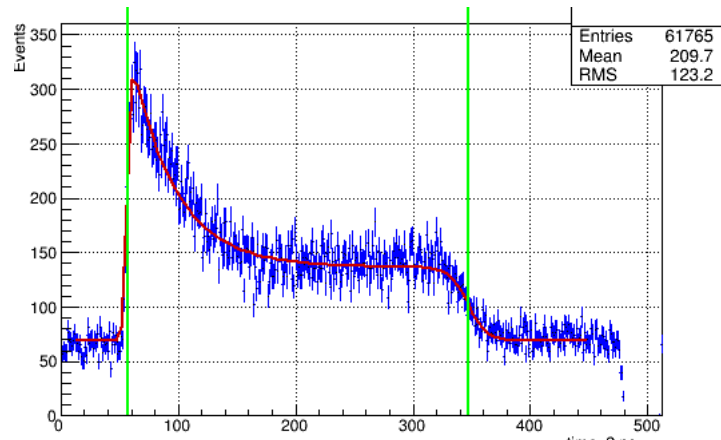
# Калибровка дрейфовых трубок

Факторы, создающие искажение сигнала:

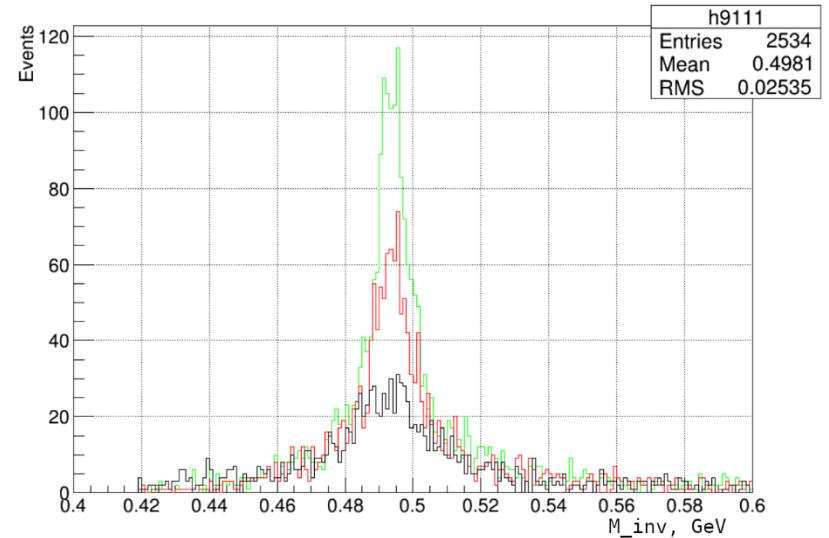
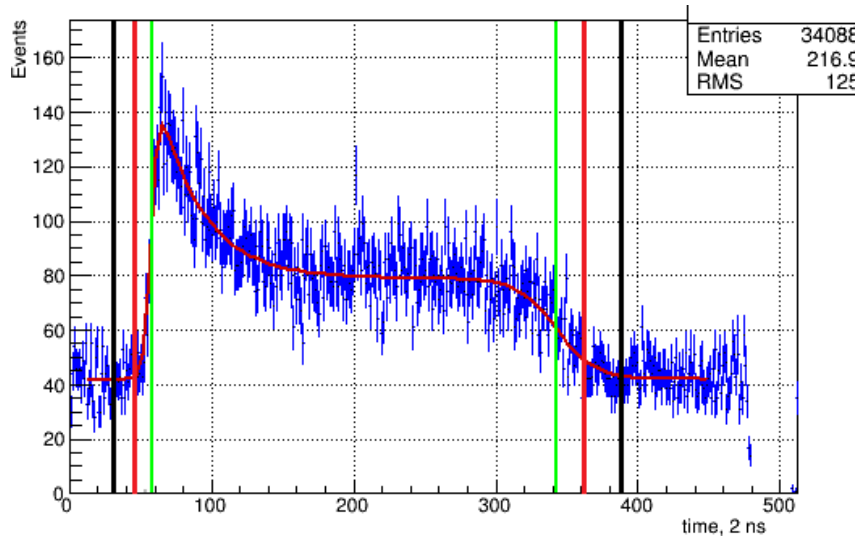
1. Начальная скорость электронов.
2. Разброс сигналов вдоль проволоки.
3. Соударения электронов с атомами газовой смеси.



# Калибровка дрейфовых трубок



# Калибровка дрейфовых трубок



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

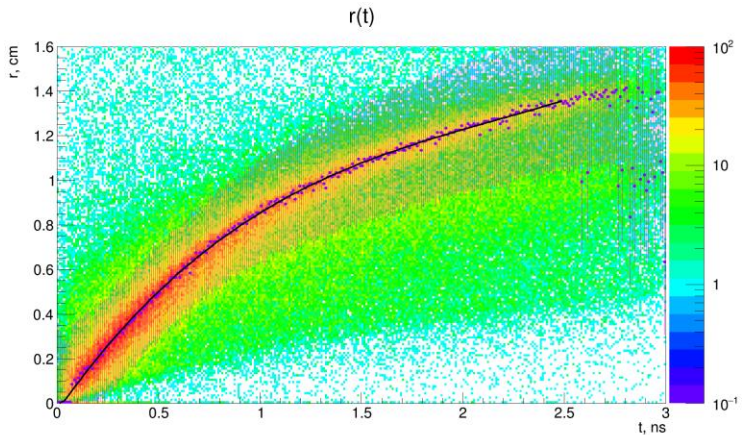
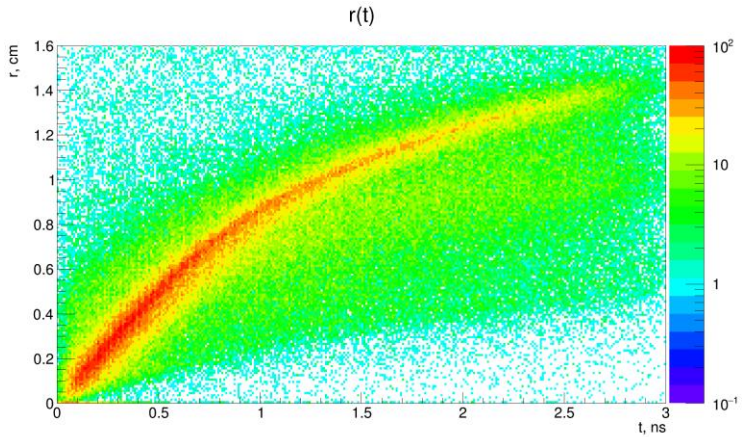
Распределение инвариантной массы 3-х пионов в процессе  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$   
Использовалось для проверки качества калибровки.

# Реконструкция трека в трехслойной камере

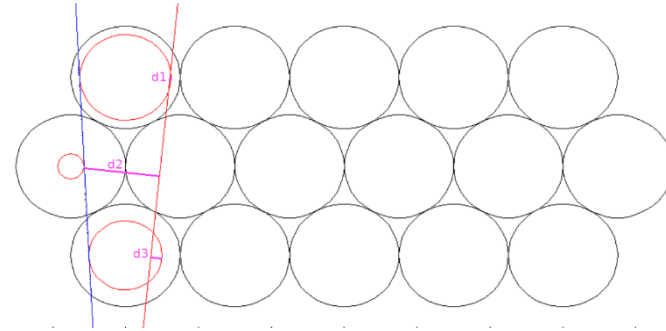
# Реконструкция трека в трехслойной камере



# Реконструкция трека в трехслойной камере



$\chi^2$  – ключевой параметр для  
оценки проекции трека  $ax+by+c=0$

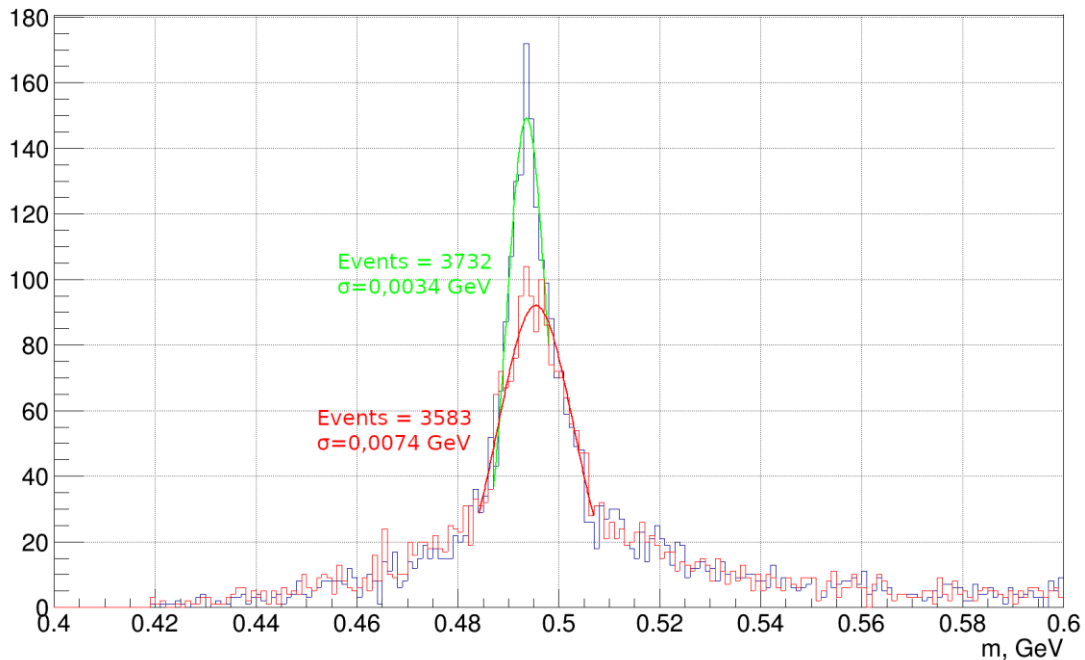


$$\chi^2 = \sum_i \left[ \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} - r_i \right]^2 = \sum_i d_i^2$$

$d_i$  - расстояния до окружностей.

(CERN-EP-2019-091)

# Реконструкция трека в трехслойной камере

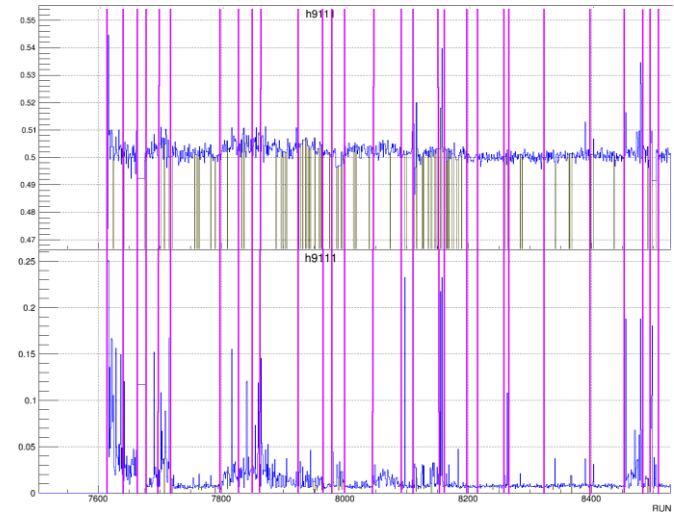
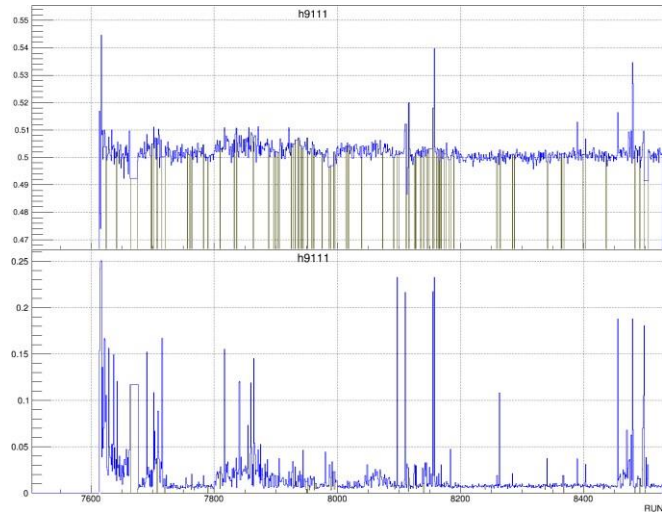


**Зеленая** линия – калибровка через интегрирование  $dN/dt$ .

**Красная** линия – калибровка через сигналы от трех слоев.



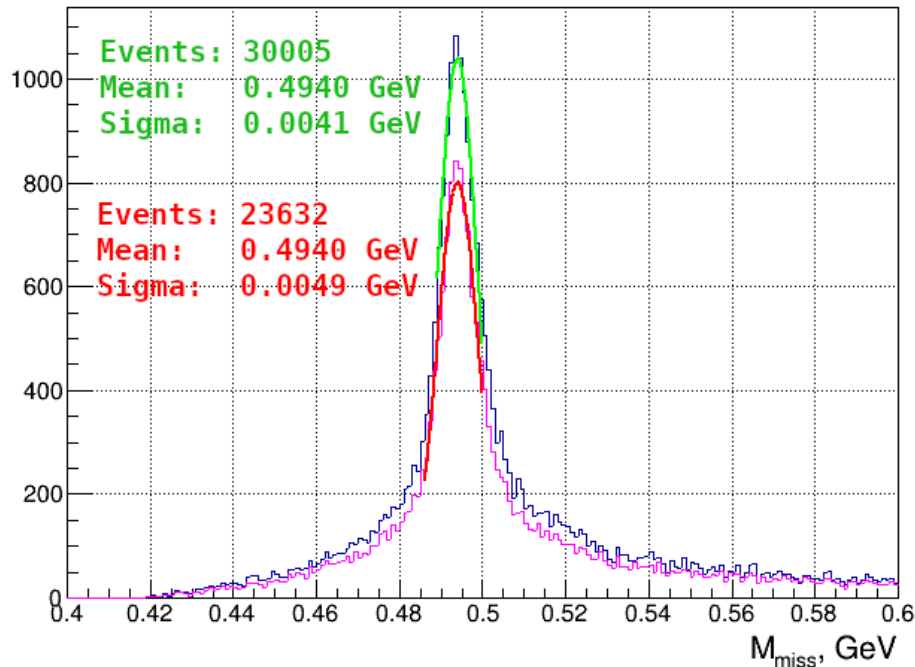
# Калибровка сеанса



В качестве характеризующих параметров использованы ширина и положение пика инвариантной массы 3-х пионов в процессе  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ .

# 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  $\sim 25\%$  больше событий, ширина пика меньше на  $\sim 15\%$ .

# 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.

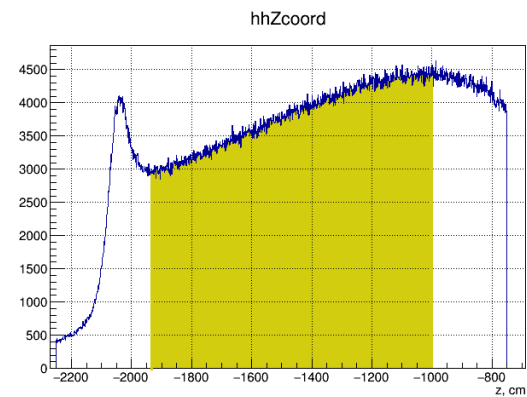
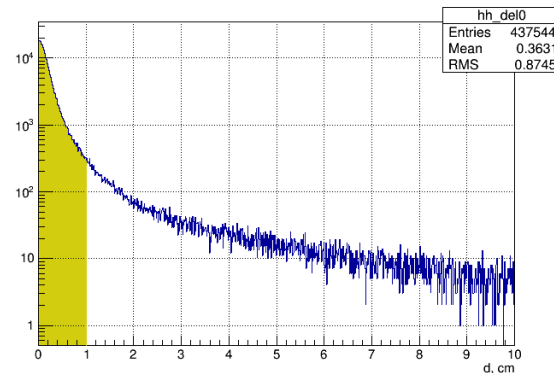
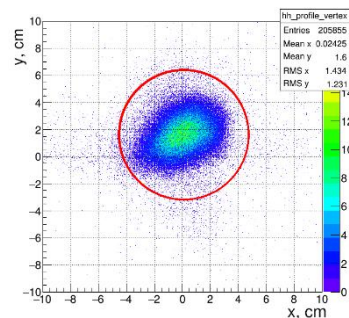
Цели изучения:

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

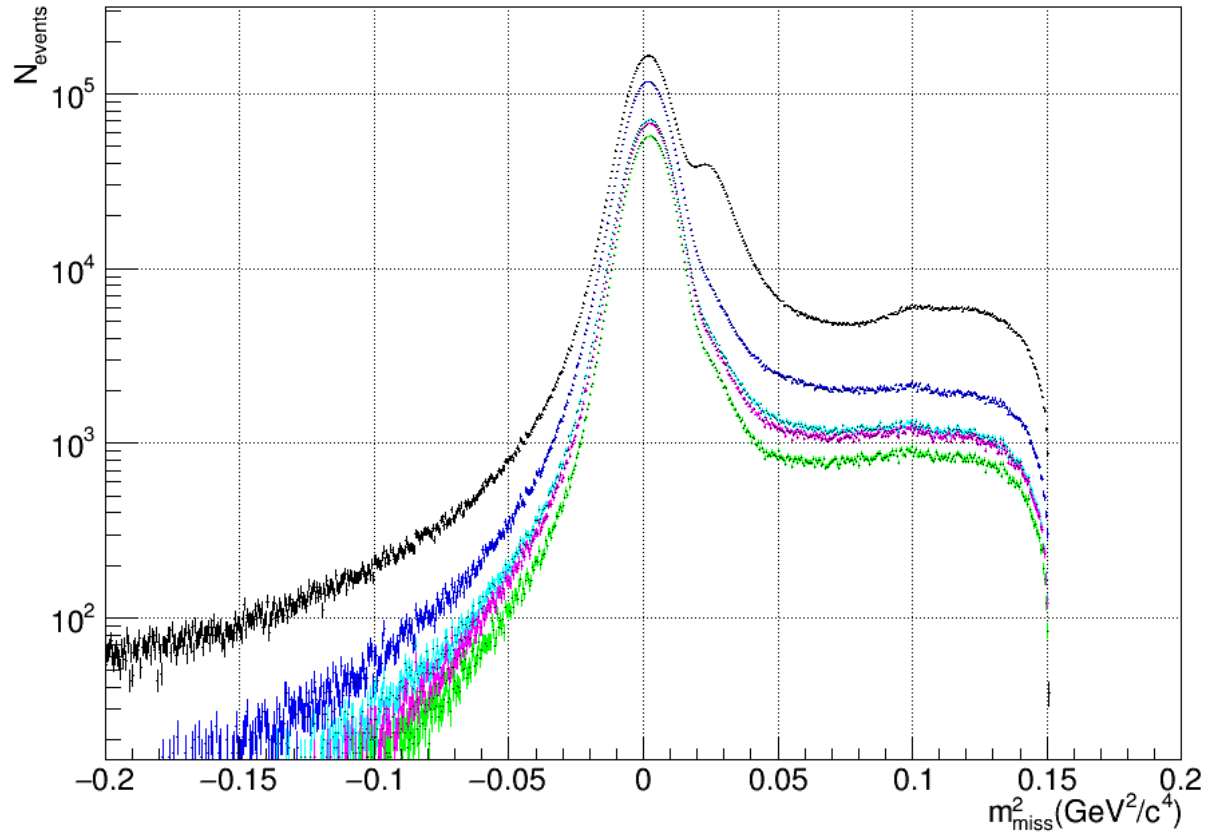
# Отбор событий

1. Событие имеет два трека (пучковый + вторичная частица), расстояние между треками не более 1 см.
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: срабатывание одного из мюонных счетчиков  $\mu\text{C}$ , отсутствие сигнала в BGD и наличие сигнала (ливня, отвечающего мюонному треку) в GAMS или GDA.

Импульс пучка                    17,7 ГэВ/с;  
Начальное число событий     $\sim 9,1 * 10^6$ ;  
Событий после отбора         $\sim 1,9 * 10^6$ .

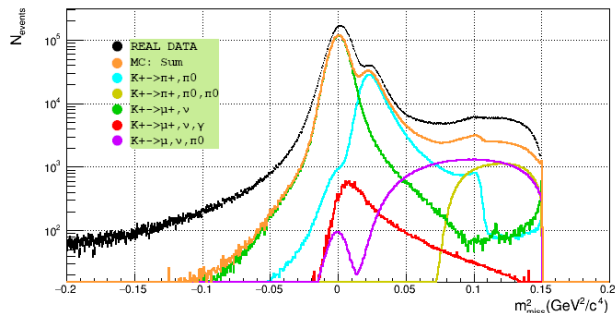


# Отбор событий

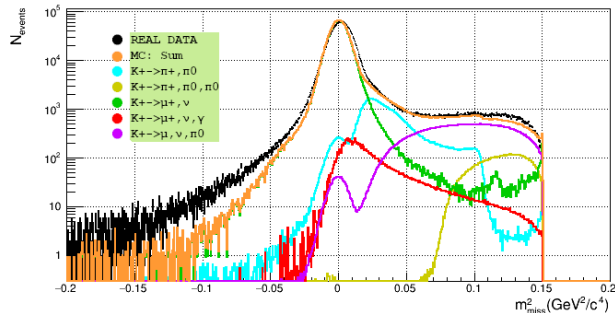


Распределение  $M_{\text{miss}}^2$  при последовательном применении критериев отбора.

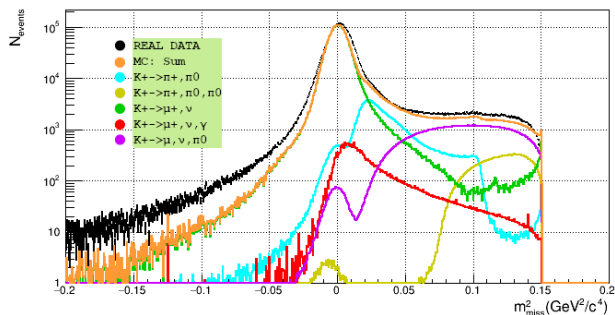
# Отбор событий



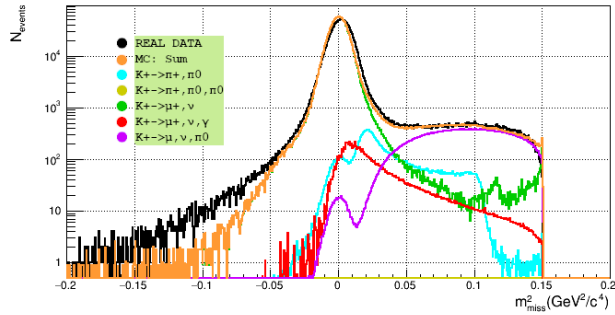
1,2



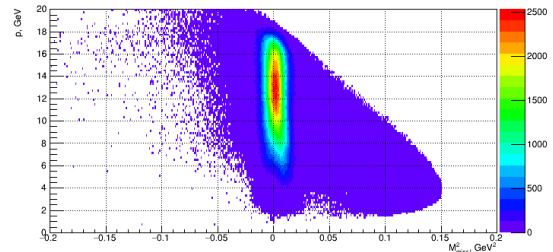
3,4



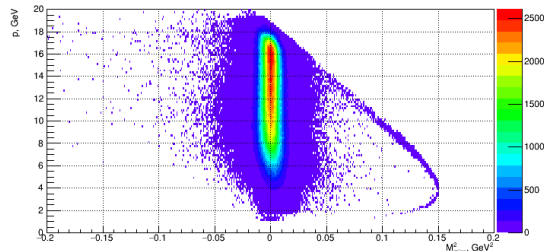
5



REAL:



MC:



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

# Заключение

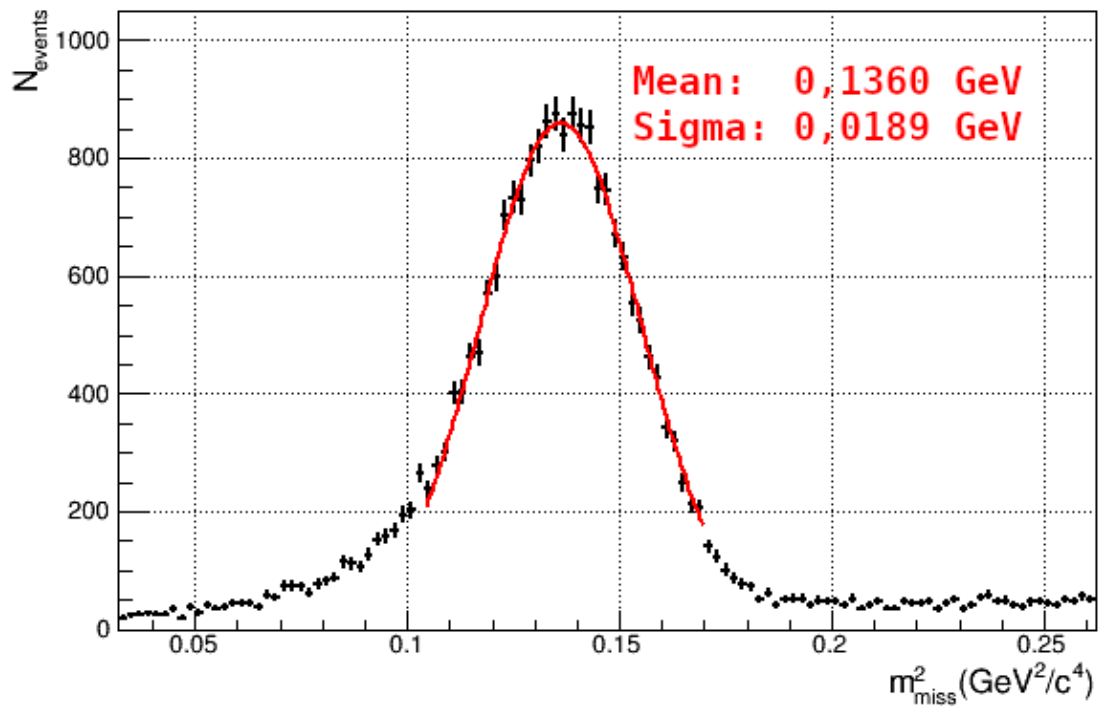
1. Проведены измерения положения трековых детекторов установки ОКА.
2. Разработан и применен алгоритм на языке С++ с использованием пакета ROOT для калибровки пропорциональных и дрейфовых детекторов установки ОКА.
3. С целью перспектив возможного уточнения калибровки создан и опробован альтернативный 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 с помощью реконструкции  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$  и анализа распада  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ .

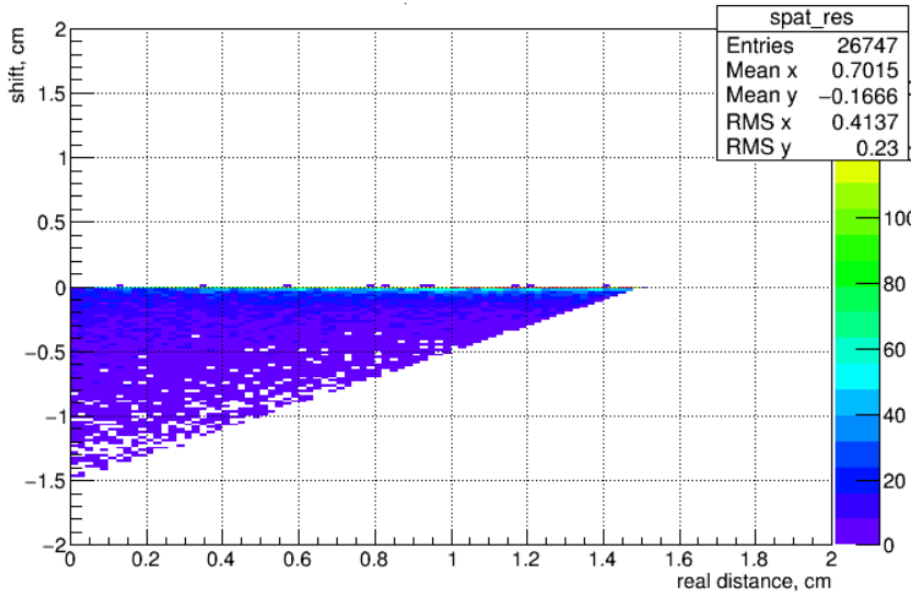
Таким образом, **поставленная задача выполнена в полном объеме**: созданная система калибровки позволяет проводить измерения с высокой точностью и будет востребована коллаборацией ОКА при анализе ближайшего и последующих сеансов работы установки.



**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.





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

=> выше вероятность искажения местоположения трека

