



Исследование влияния параметров считывающей электроники на точность измерений Straw Tracker SPD с применением программного обеспечения Garfield и LTSpice.

Студент: А. И. Гурова, группа Б22-ФЧ

Руководители: Е. В. Кузнецова, Т. Л. Еник,

С. А. Буланова



Цель и задачи:

Цель:

Провести моделирование отклика STRAW-трубок с использованием Garfield++ и LTSpice для получения данных, необходимых для построения реалистичной параметризованной модели сигнала (в дальнейшем внедряемой в SPDroot)

Задачи:

1. Сравнить формы сигнала для различных импульсов частиц при фиксированных dE .
2. Оценить вероятность насыщения считывающей электроники в зависимости от угла, расстояния до проволоки и времени формирования.
3. Определить, какие параметры критичны для параметризации

STRAW ТРУБКИ

- газовый детектор, используемый для трекинга (определения траектории) и измерения энергетических потерь (dE) для идентификации частиц.

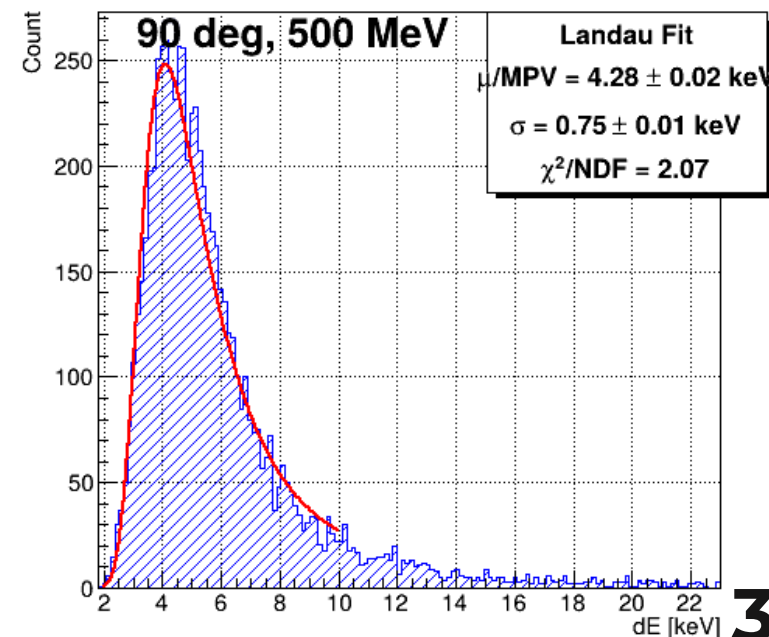
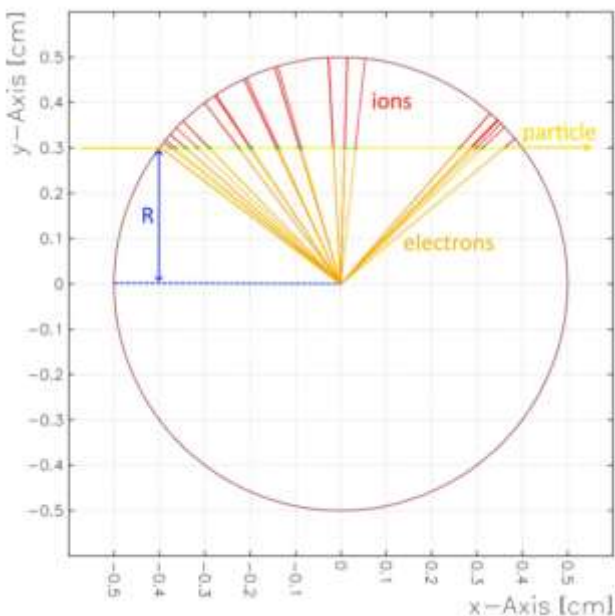
Принцип работы:

Проходит заряженная частица → ионизирует газ → лавинное усиление вблизи проволоки → на электродах индуцируется сигнал



Помимо измерения трека, может использоваться для идентификации частиц при малых импульсах (PID).

Энергетические потери заряженной частицы в STRAW трубке распределены по Ландау:



Параметризация в SPDroot.

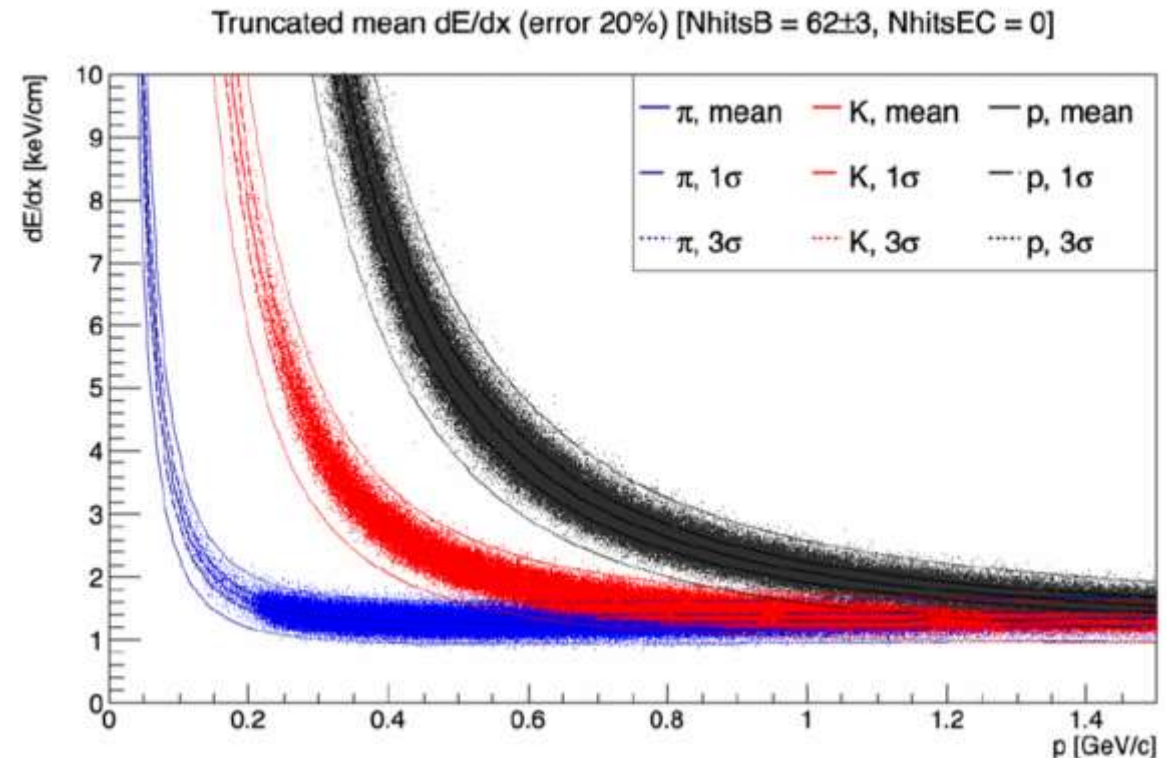
SPDroot - программа для моделирования физических процессов эксперимента SPD. Результатами моделирования являются базовые характеристики взаимодействия частиц с элементами детектора (напр. ионизационные потери частицы при прохождении одной STRAW трубки) $D = 10 \text{ mm}$, Ar/CO₂ 70/30

Почему возникла необходимость новой параметризации:

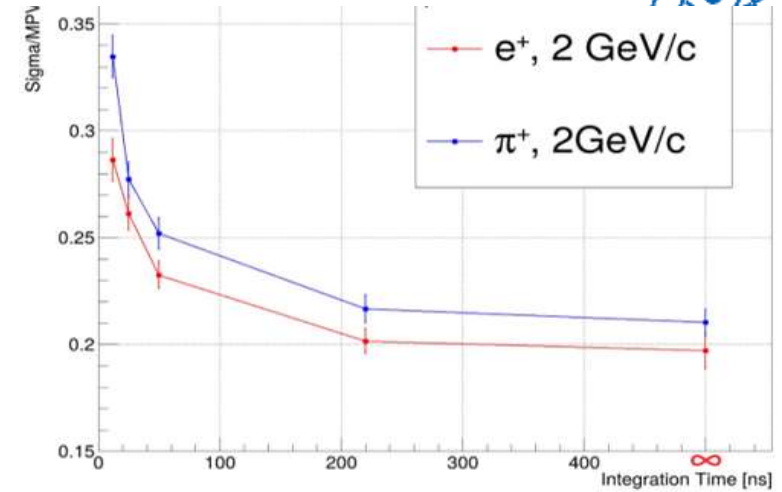
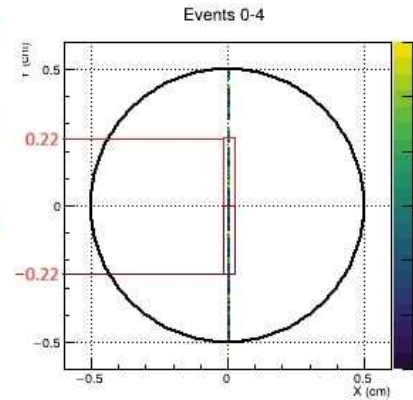
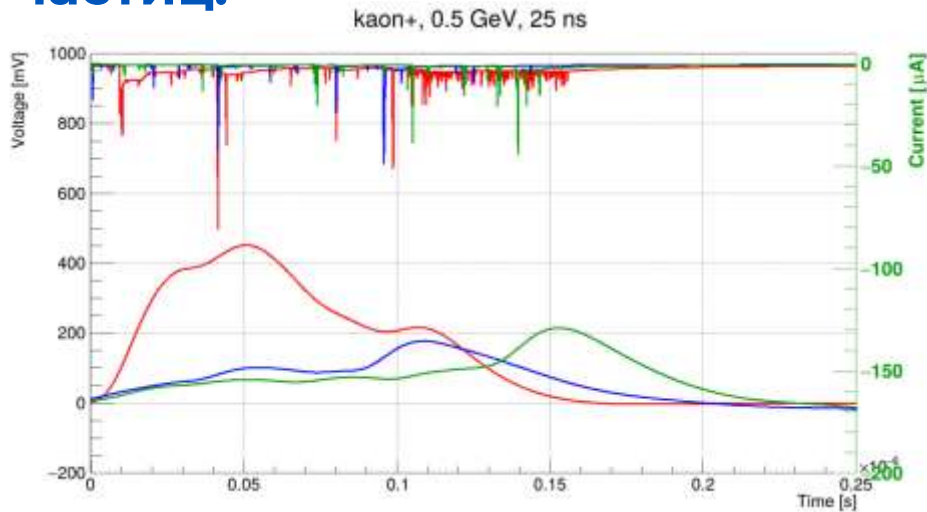
Подход по умолчанию в SPDroot:

Потери энергии e_{loss} преобразовывались в отклик R_{esp} простым размытием по Гауссу с шириной 20%. Отклик — в ГэВ.

Этот подход использовался в TDR (Technical Design Report) для оценки PID с dE/dx при 35% усечённом среднем. **Но он не учитывает изменение формы сигнала и вероятность насыщения предусилителя при использовании реальной считывающей электроники.**

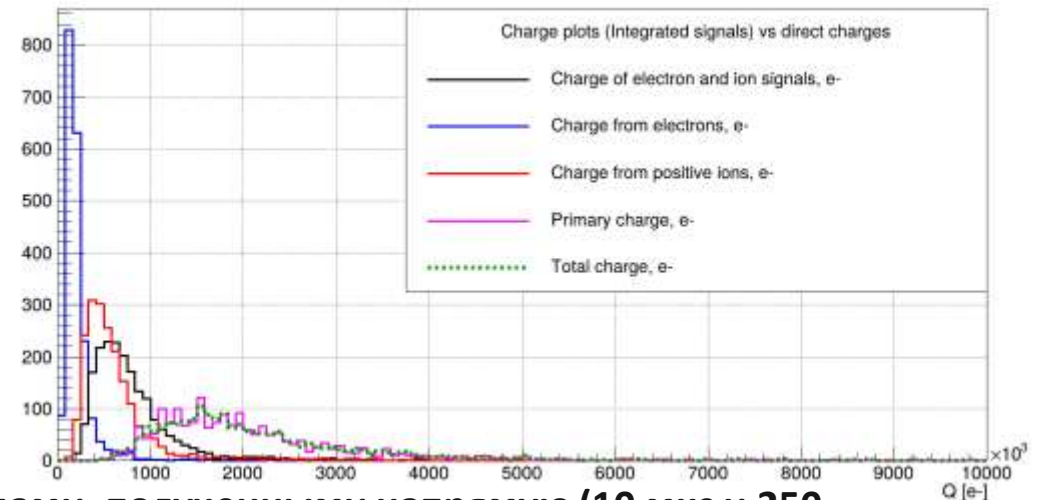
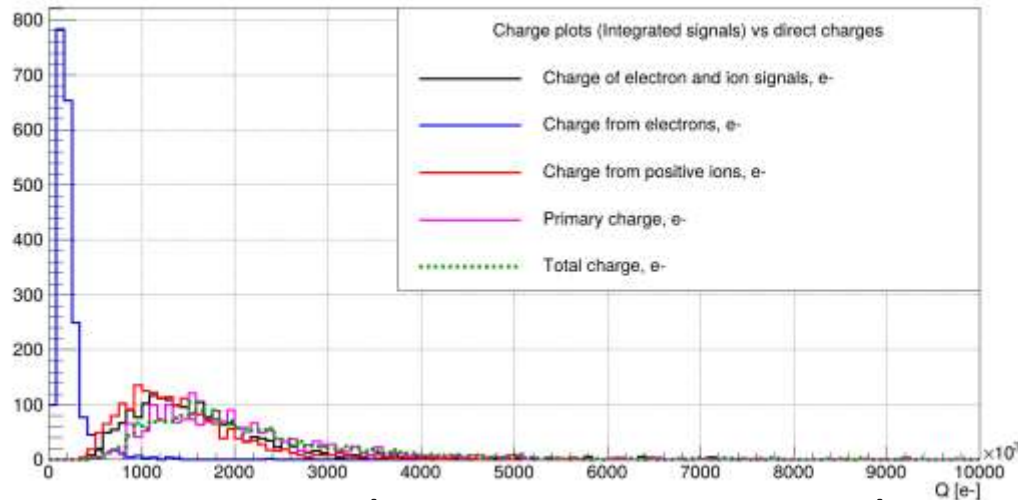


Влияние параметров считывающей электроники на идентификацию частиц.



Зависимость относительной ширины распределения собранного заряда от времени интегрирования.

Garfield++(верх) и LTSpice(низ)

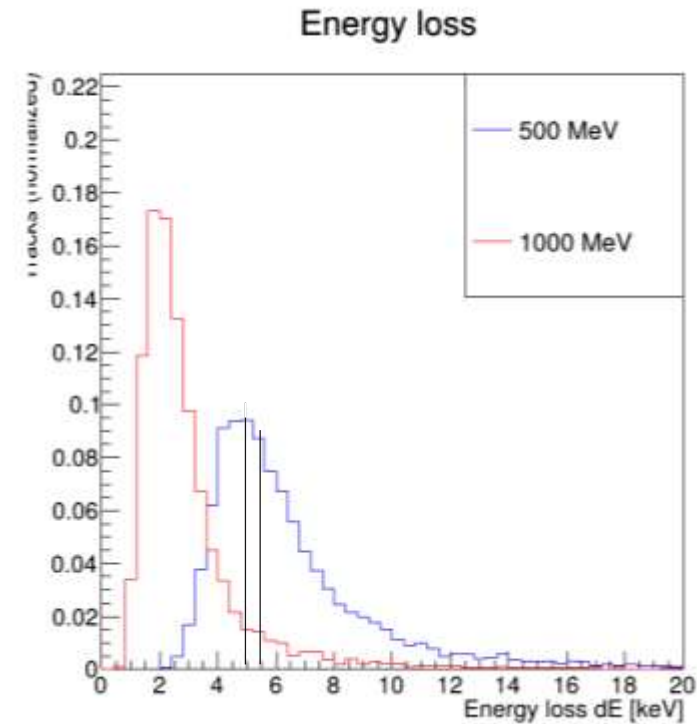
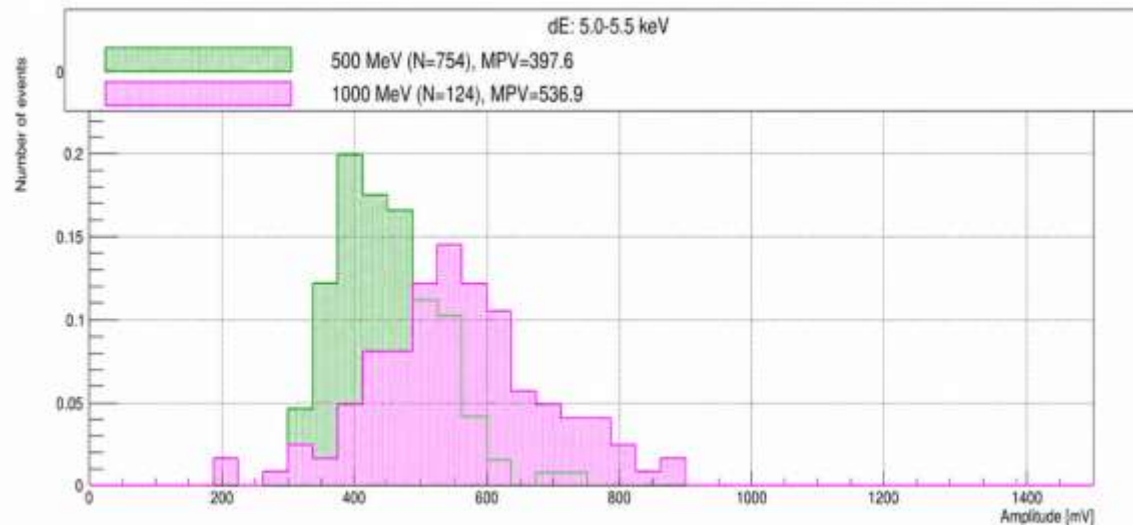


Графики зарядов (интегрированные сигналы) в сравнении с зарядами, полученными напрямую (10 мкс и 250 нс). Сигнал состоит из электронов и ионов. Электроны быстрые, ионы медленные. Не успеваем собрать всю ионную компоненту при малом времени. Если время формирования брать меньше времени прихода электронов, то флуктуации увеличатся.

Сравнение формы сигнала для различных импульсов протонов при фиксированных dE .

Были смоделированы протоны с импульсами 500 и 1000 МэВ. На данном слайде изображены ионизационные потери на всем диапазоне.

Возьмем диапазон 5.0 - 5.5 keV.



При одинаковых энергетических потерях отклик сигнала получается разный. Почему?

Сравнительный анализ кластерной структуры при одинаковом dE.

Идея: меняется ли структура кластеров при одинаковом dE?

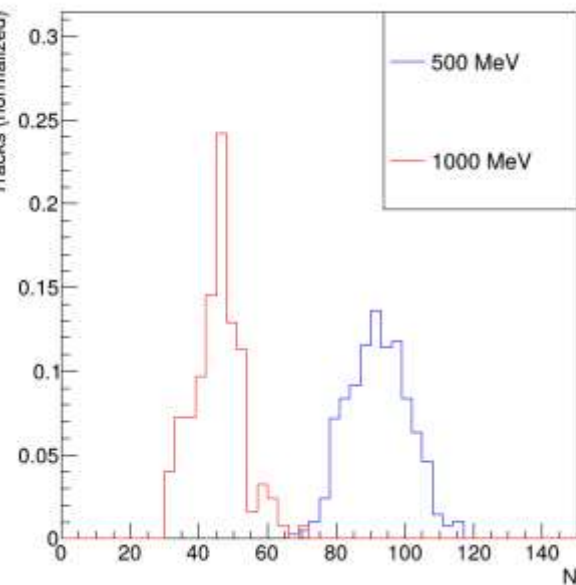
Были построены графики: **среднее число кластеров на трек, размер кластеров, начальный заряд.**

Первый график: показывает, сколько кластеров обычно образуется на треке.

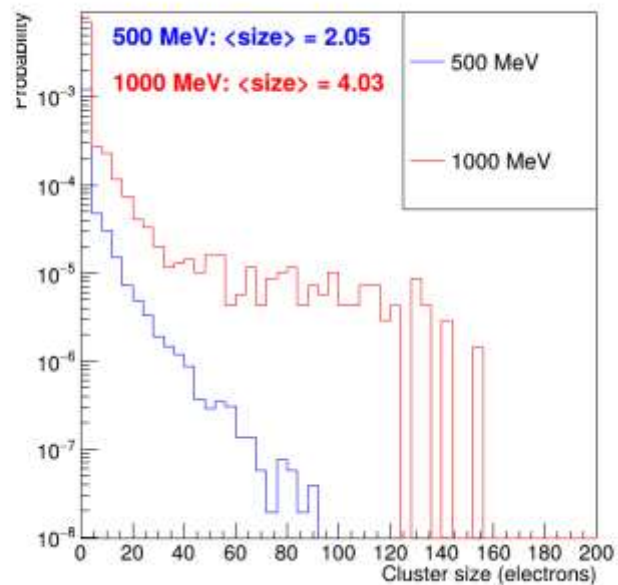
Второй график: показывает, как распределяется число электронов в кластере.

Третий график: показывает суммарное количество первичных электронов, образованных в треке

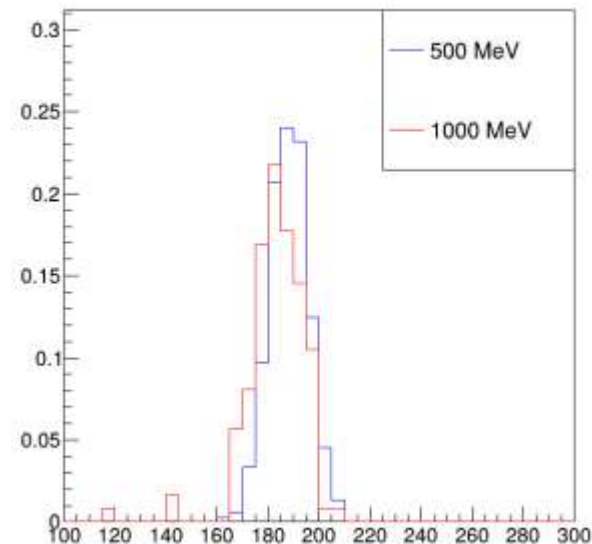
Clusters per track



Cluster size



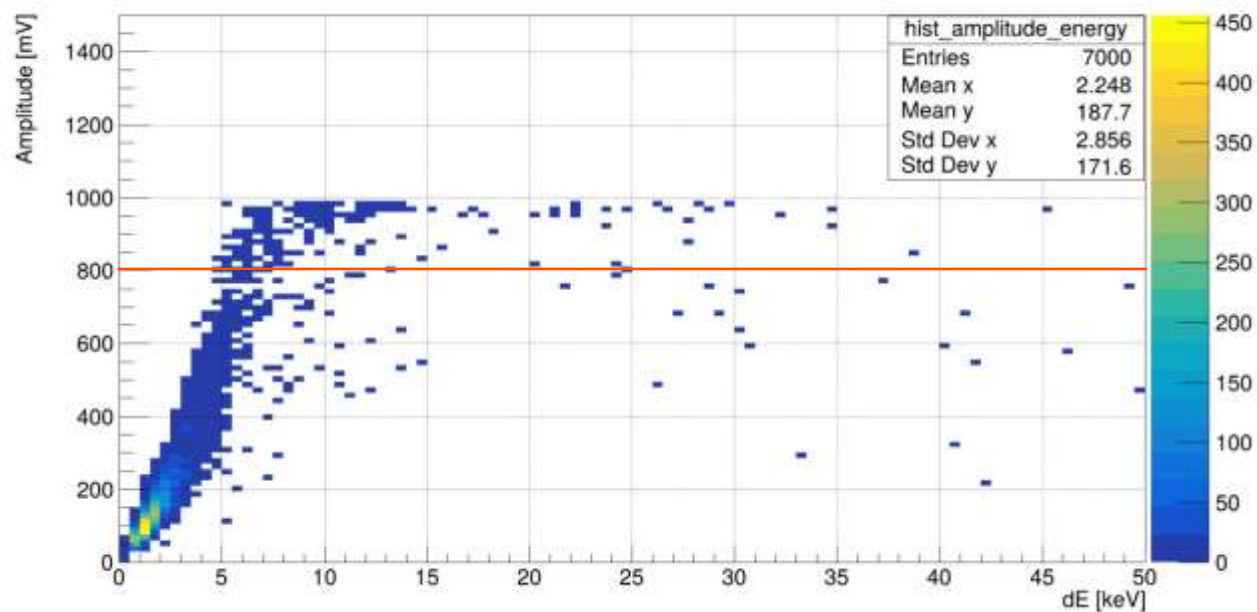
Primary charge



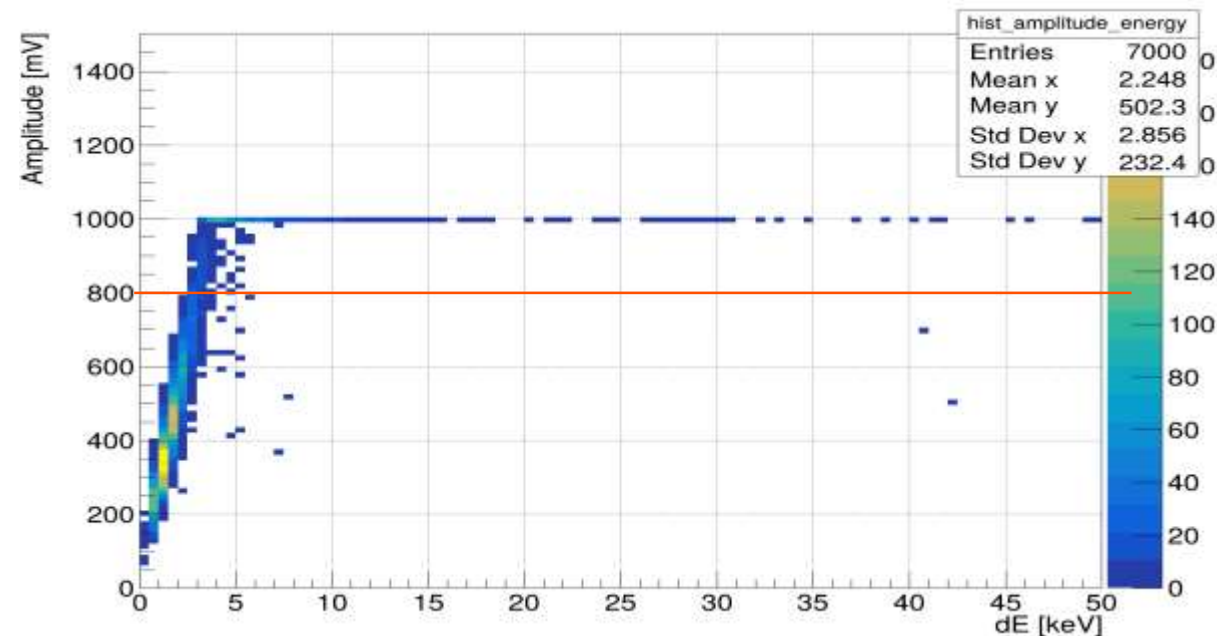
500 MeV N=754
clusters 91.7
size 2.05
e/track 187.6
1000 MeV N=124
clusters 45.1
size 4.03
e/track 181.6

Двумерное распределение амплитуд и dE.

Каон 1 GeV, 90 degrees,
25 ns peaking time



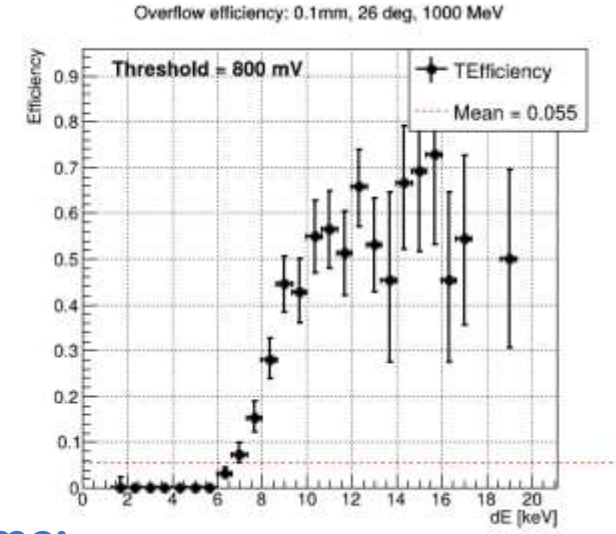
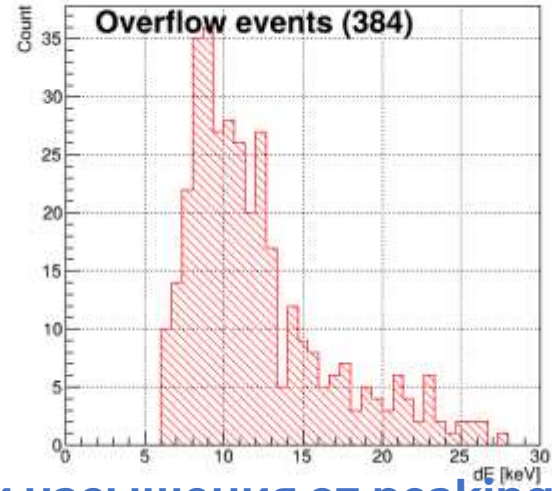
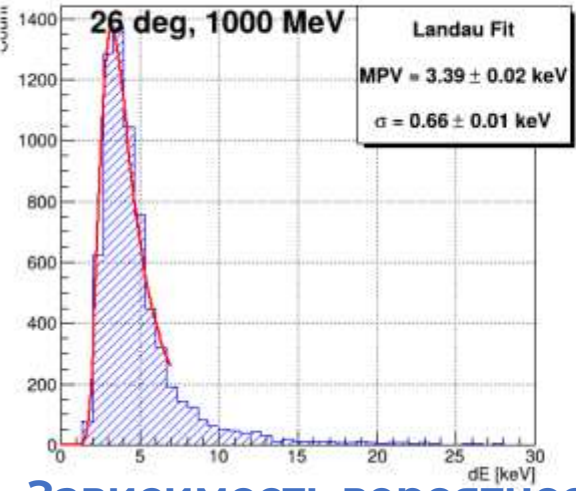
Каон 1 GeV, 90 degrees,
200 ns peaking time



Анализ вероятности насыщения усилителя для каонов.

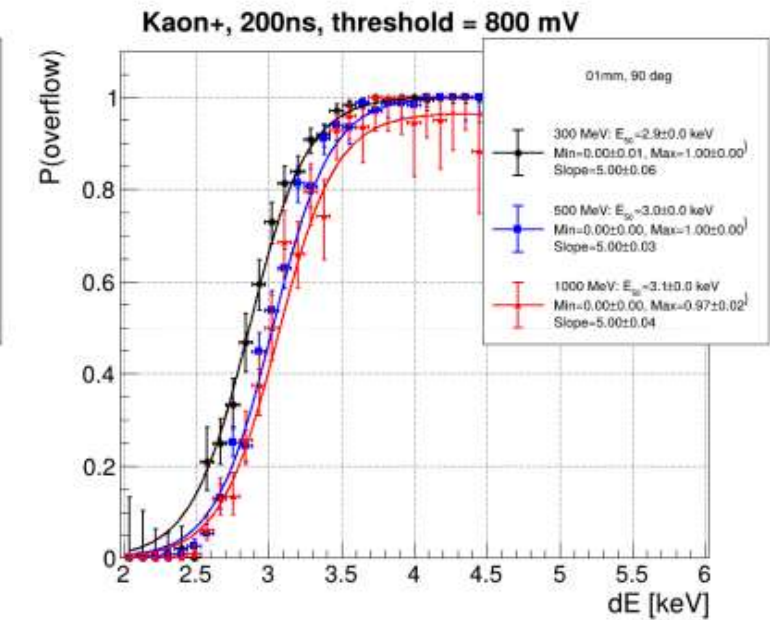
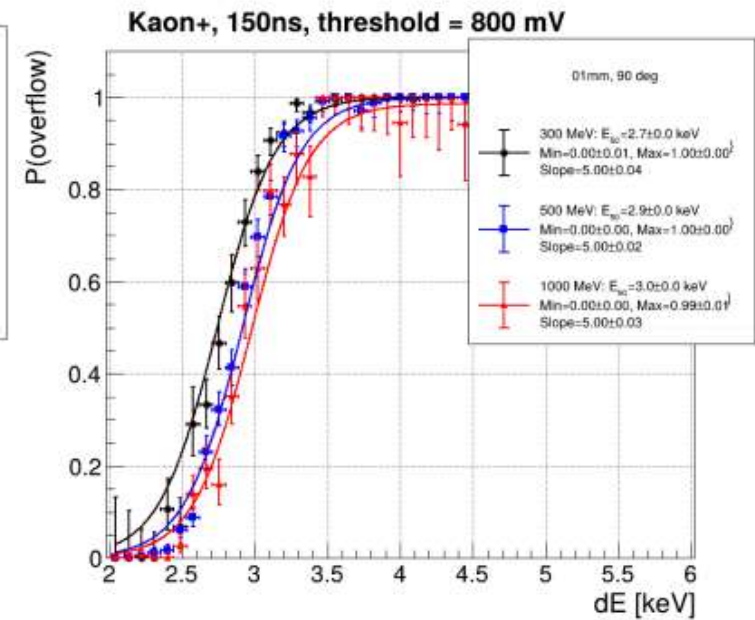
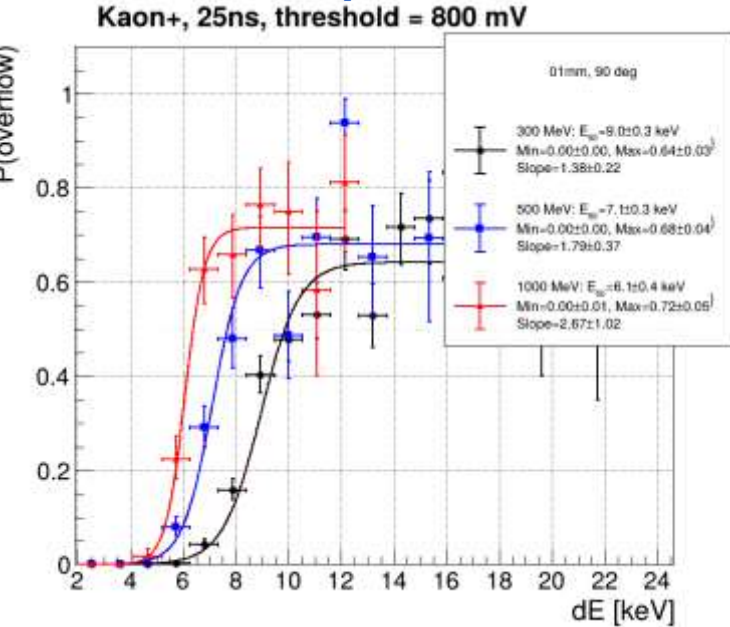


Вычисление вероятности насыщения:

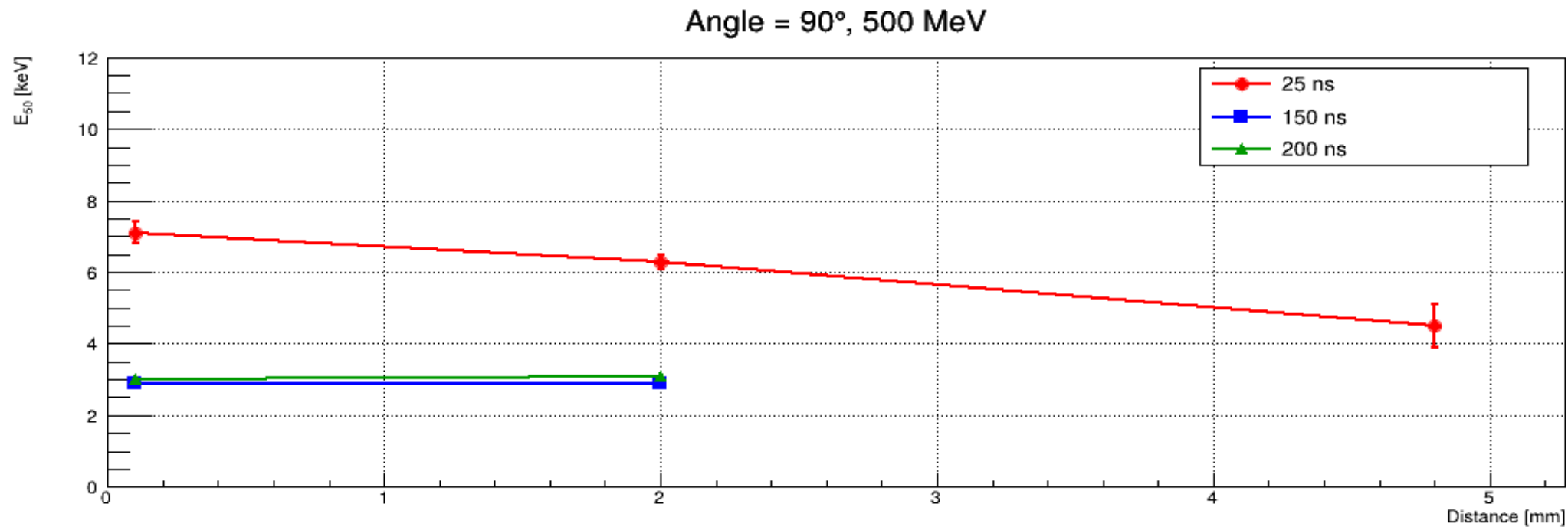


$$P(\text{overflow}) = p_0 + \frac{p_1 - p_0}{1 + e^{-p_2 \cdot (dE - p_3)}}$$

Зависимость вероятности насыщения от reaking time: насыщение происходит позже



Зависимость выхода в насыщение на 50% от расстояния.

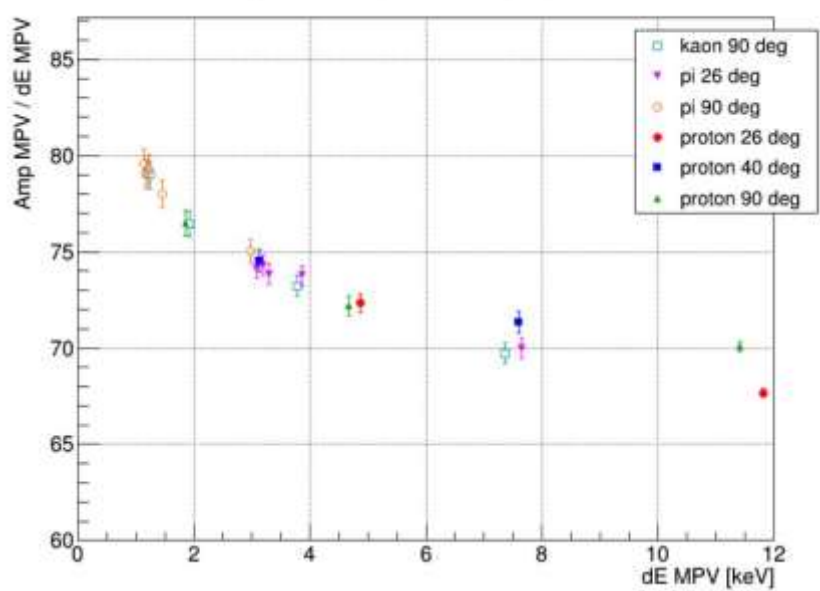


Применение в SPDroot. Peaking time 25 ns.

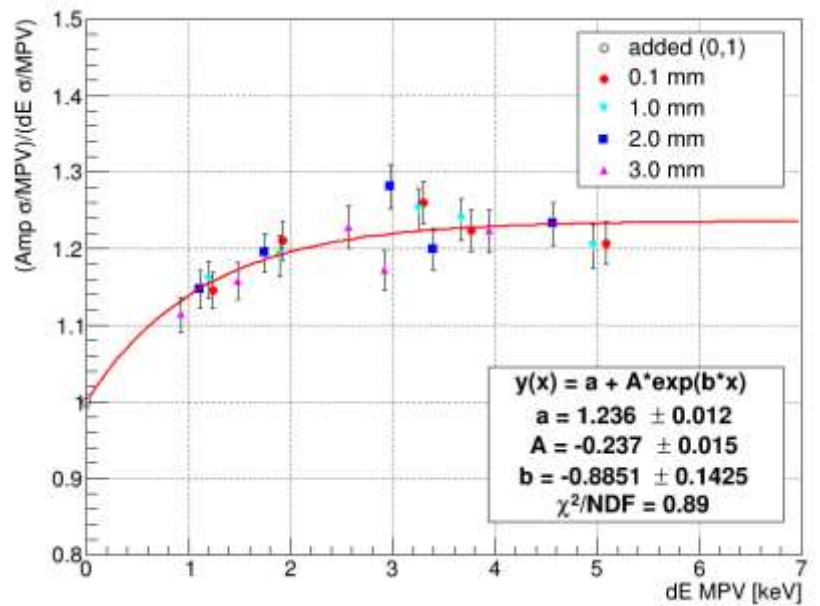
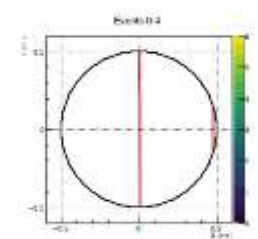
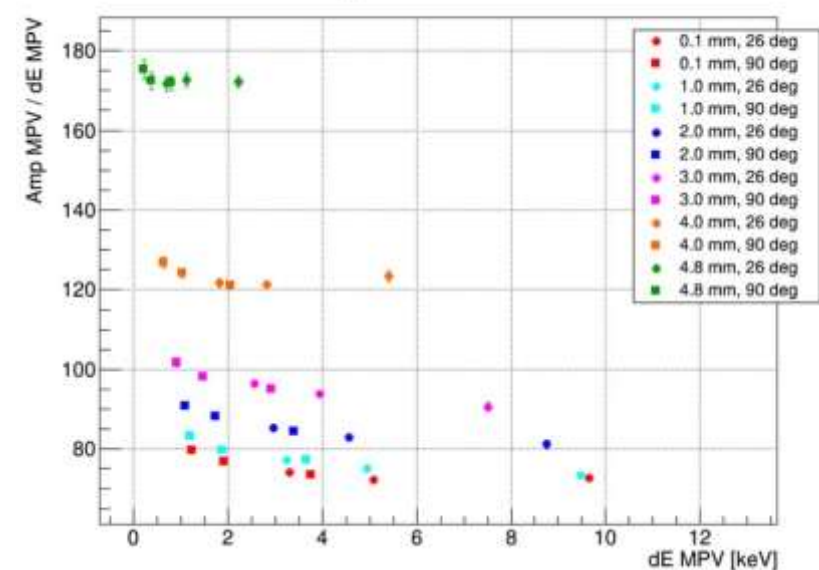


1. Отношение для трех типов частиц с разными углами для 0.1мм
2. Каоны для различных расстояний и углов.

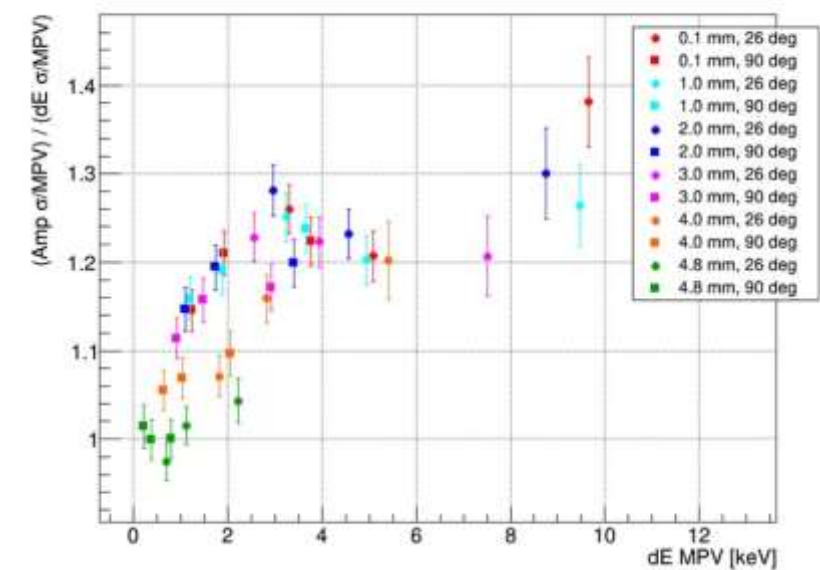
Amp MPV / dE MPV vs dE MPV



Amp MPV / dE MPV



(Amp σ /MPV) / (dE σ /MPV)



Коэффициент перехода из Eloss в амплитуду нелинейный. Не зависит от типа частицы и угла. Зависит от расстояния.

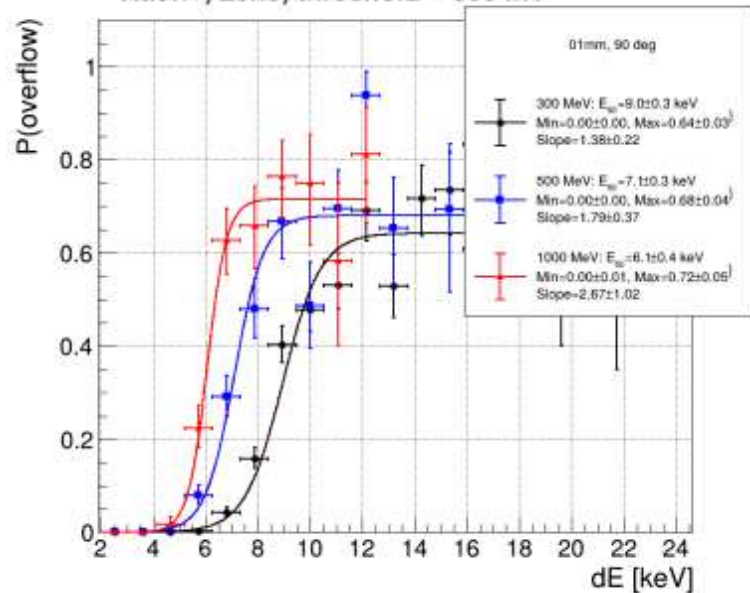
С ростом dE увеличивается размытие сигнала. Размытие на 25%. Несущественно зависит от расстояния, типа частицы и угла.

Заключение:

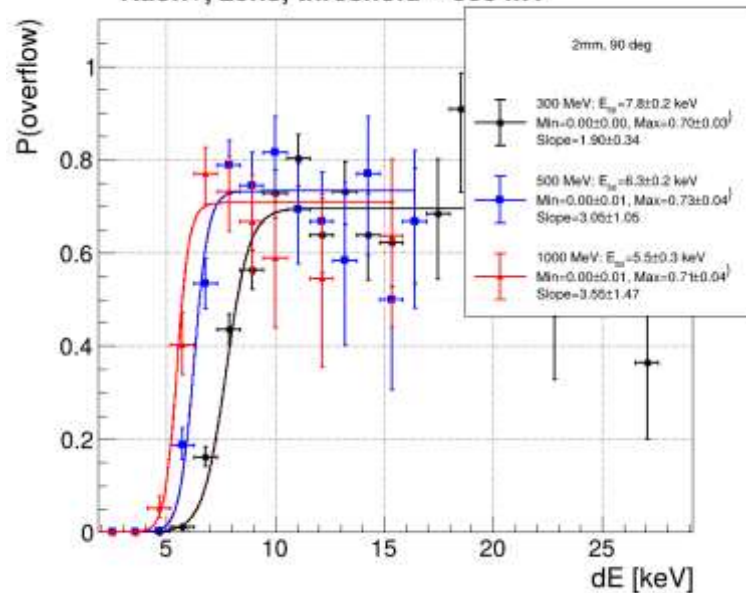
Полученные количественные данные о зависимостях амплитуды и вероятности насыщения предусилителя от dE , R и peaking time предоставляют основу для построения параметризованной модели отклика трубки. Эта модель, после внедрения в SPDroot, позволит корректно моделировать PID в STRAW трекере при реальных параметрах считывающей электроники.

<https://indico.jinr.ru/event/6148/>. Более детальная параметризация и моделирование в SPDroot можно найти в презентации А. Нартова и А. Гуровой.

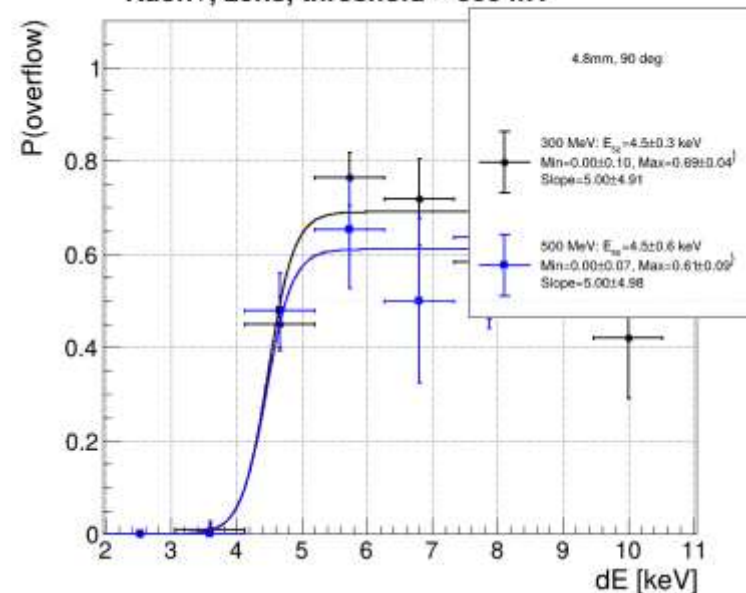
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



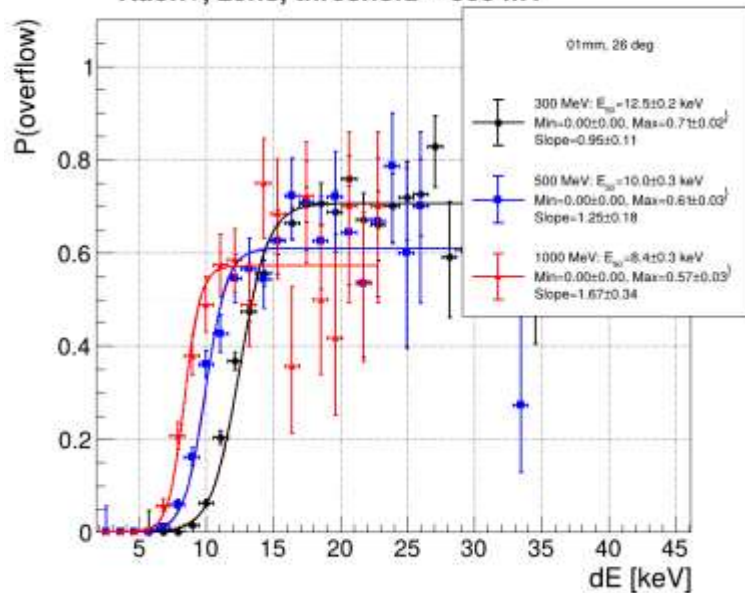
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



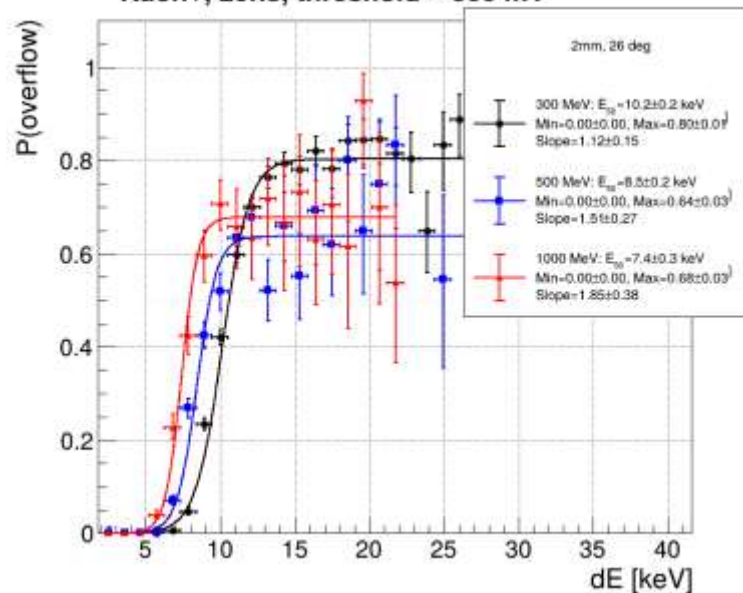
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



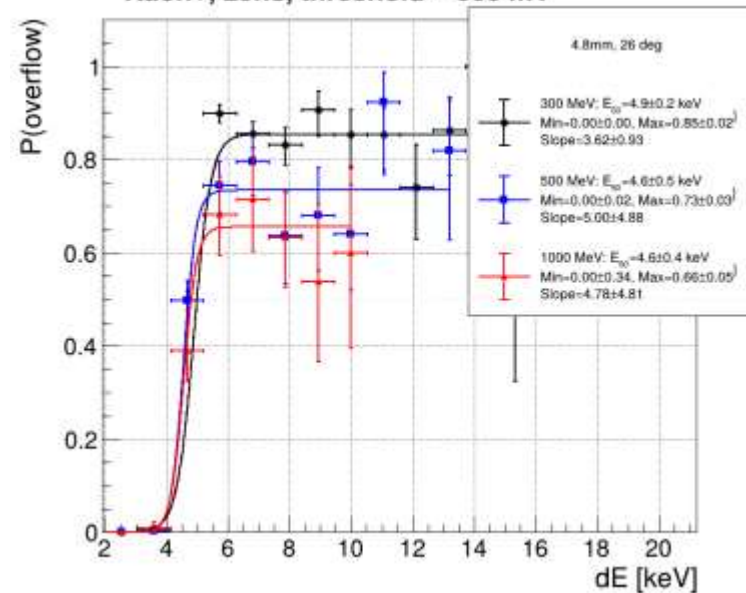
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



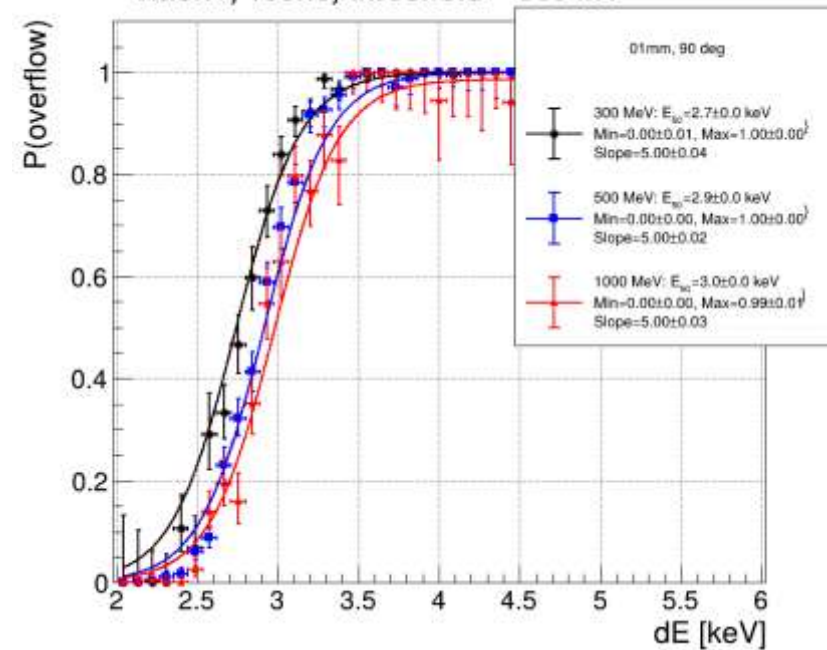
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



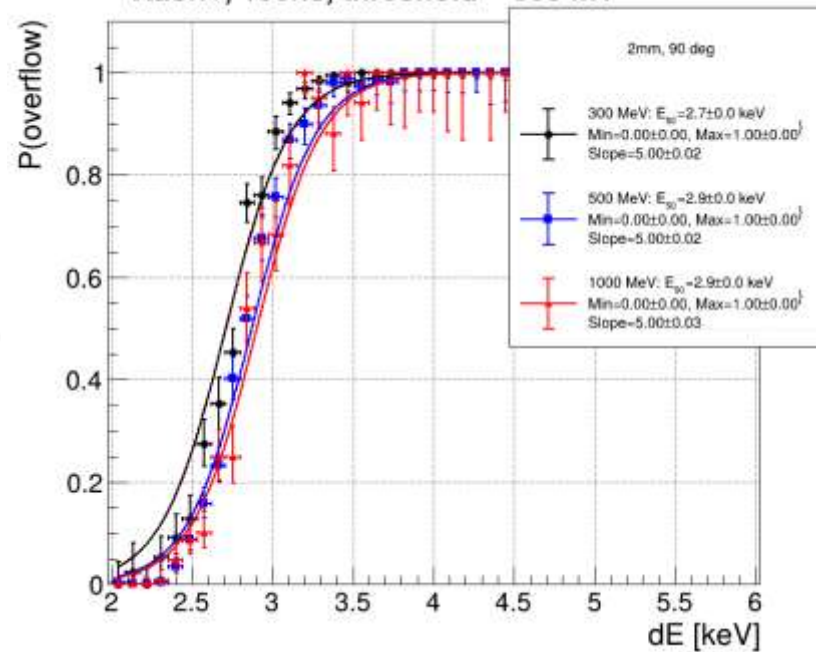
Kaon+, 25ns, threshold = 800 mV



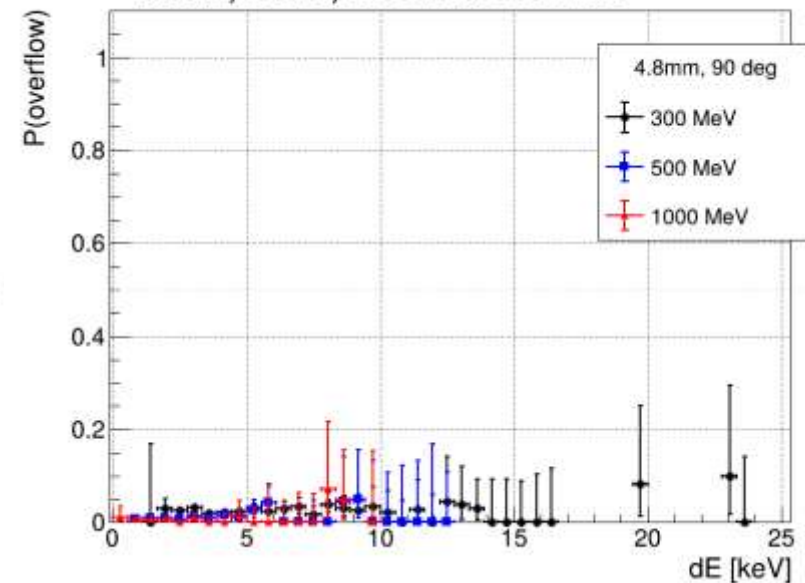
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



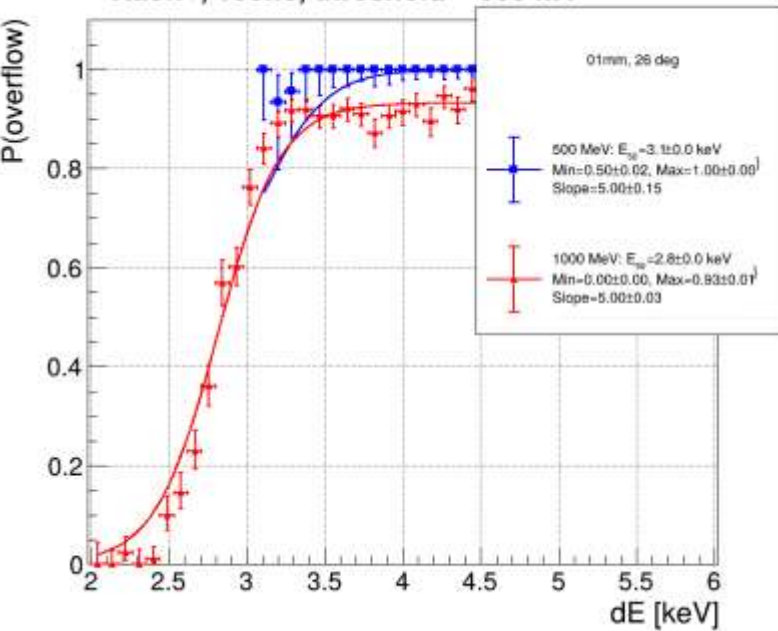
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



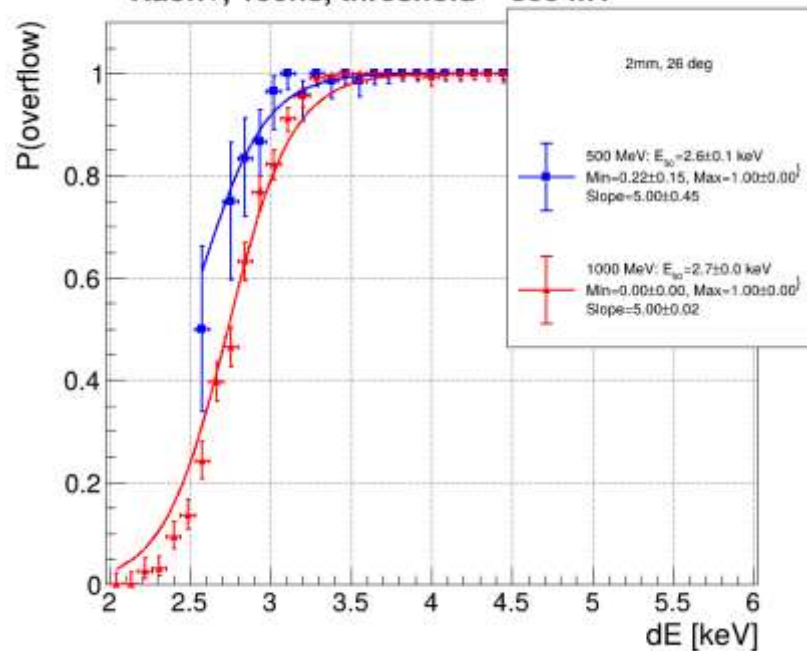
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



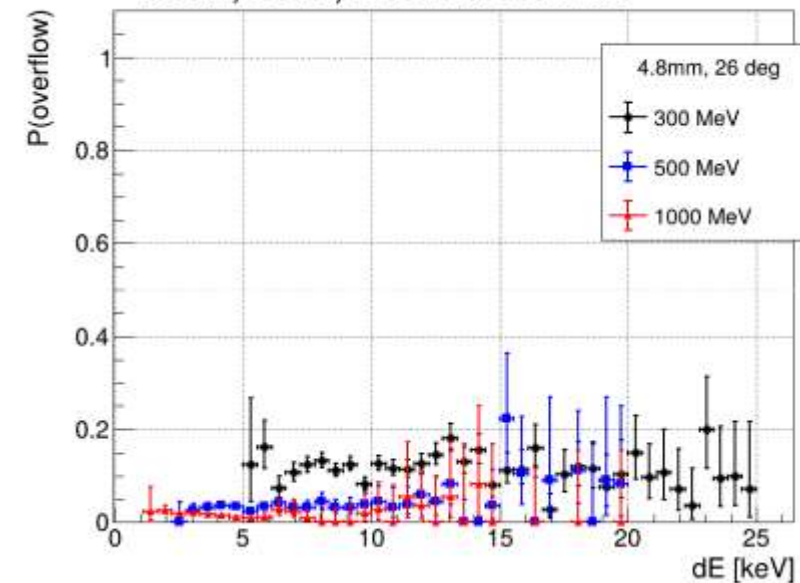
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



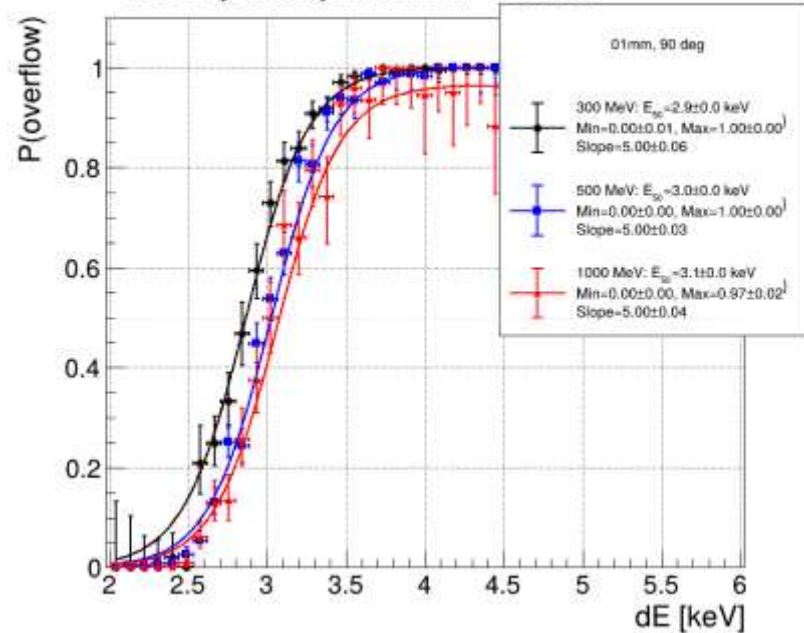
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



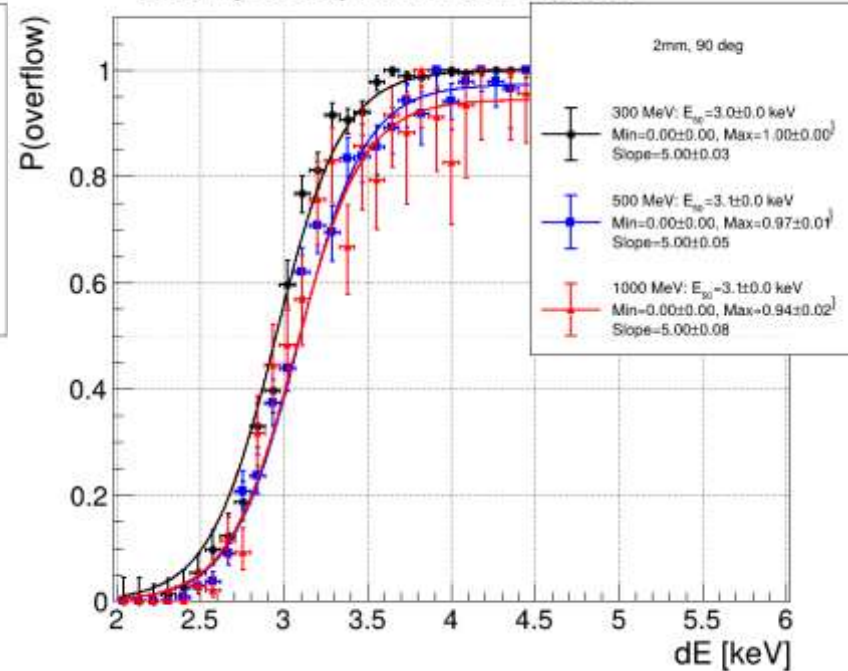
Kaon+, 150ns, threshold = 800 mV



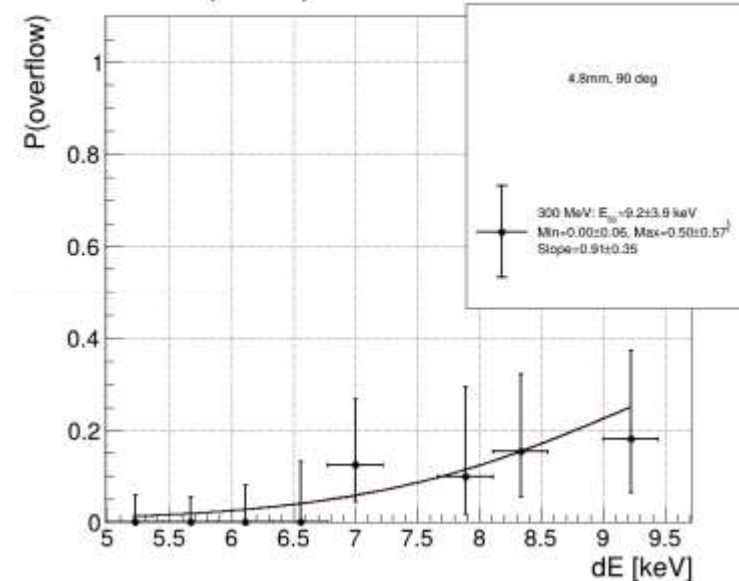
Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



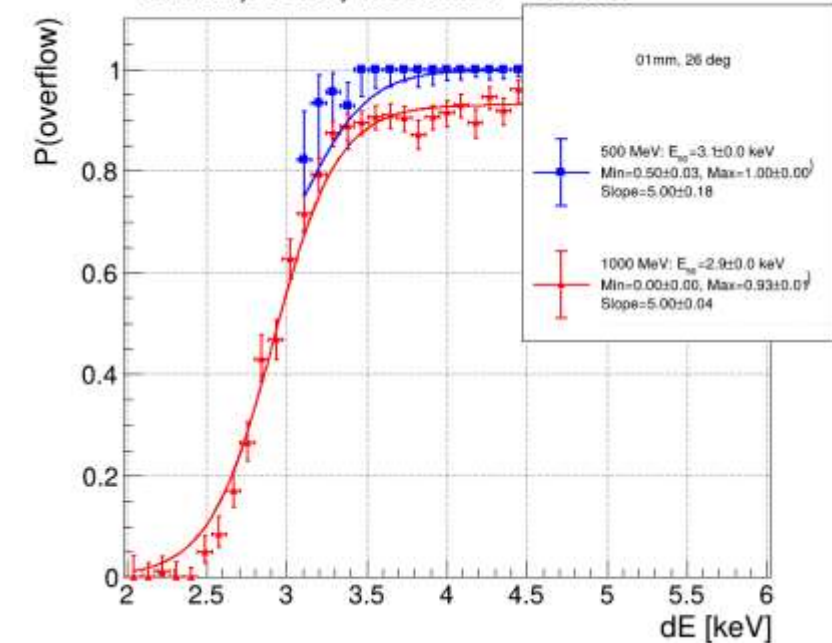
Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



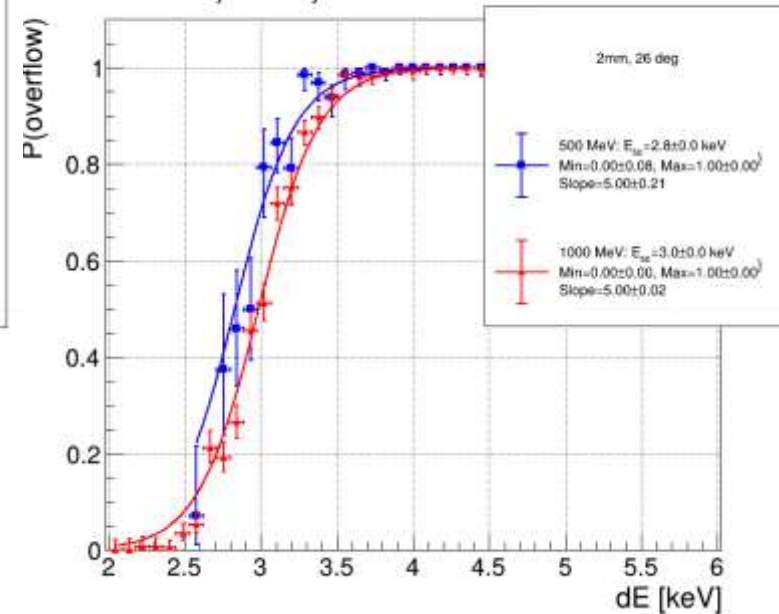
Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



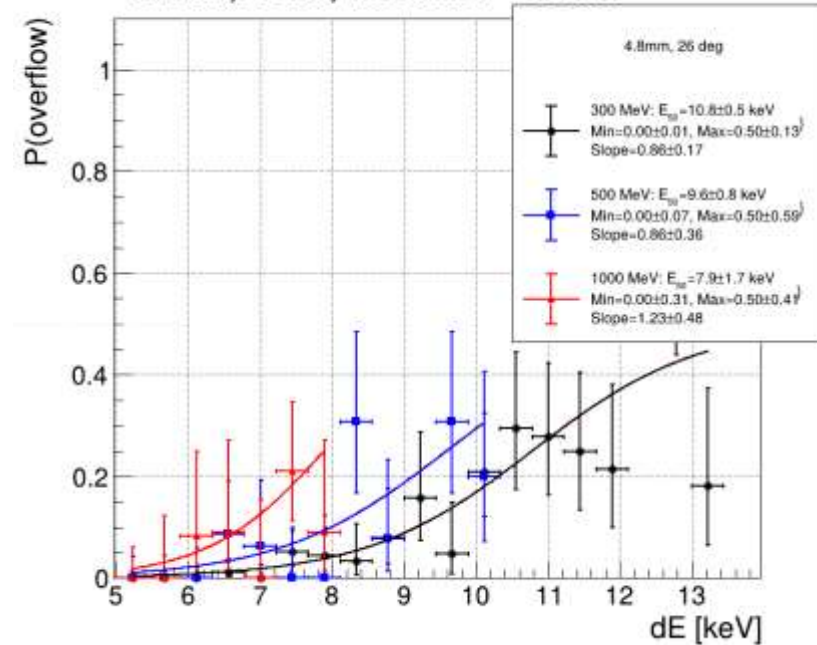
Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



Kaon+, 200ns, threshold = 800 mV



1. Диаметр straw трубки: 10 мм
2. Диаметр анода: 30 мкм
3. Напряжение (HV): 1750 В
4. Смесь газов: Ar+CO₂ / 70:30[%]
5. Температура: 20 °С
6. Давление: 1 атмосфера