



Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»



Кафедра физики элементарных частиц №40

Научная исследовательская работа студента на тему:

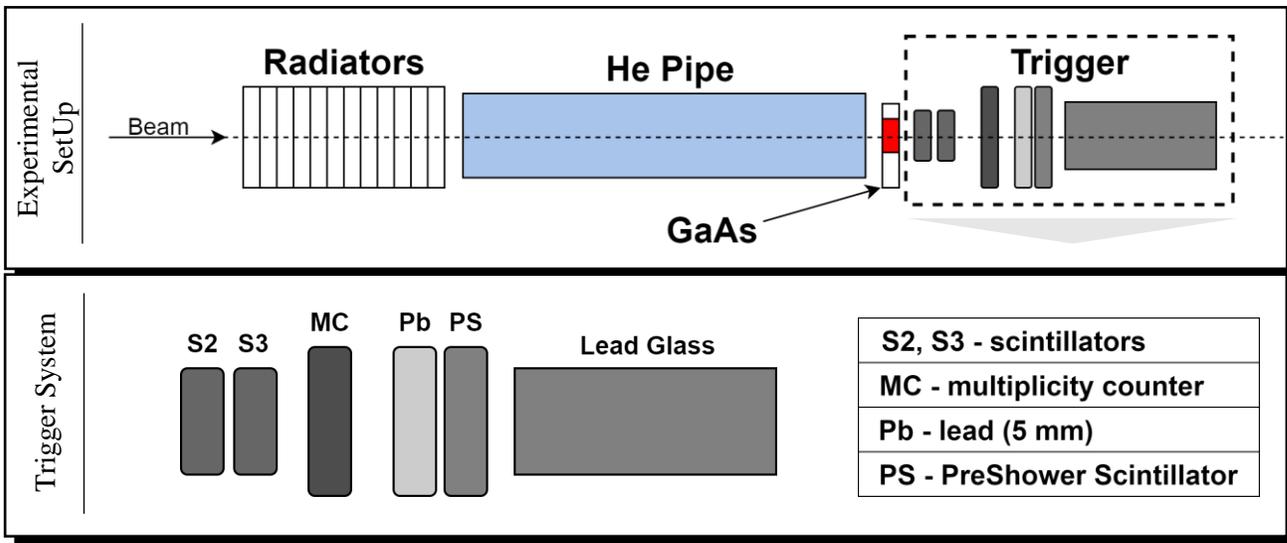
- Моделирование детектора переходного излучения на основе GaAs с помощью программного пакета Geant4
- TRD Straw Prototype – детектор переходного излучения на основе straw. Устройство детектора. Газовое усиление. Схема измерений

Работа студента 4-ого курса
Морозихина Александра Николаевича

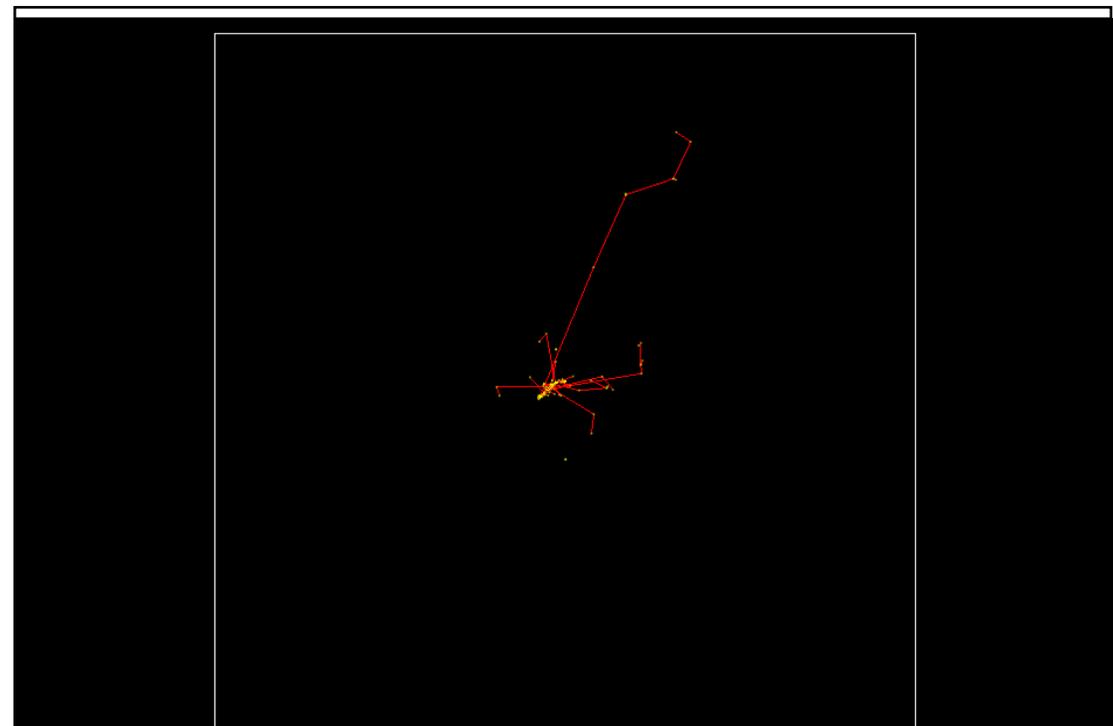
Научный руководитель
Тихомиров Владимир Олегович, к.ф.-м.н.

Физическое моделирование эксперимента способствует формированию предположений о возможных его результатах, а также о работе иных конфигураций эксперимента с исследуемым детектором.

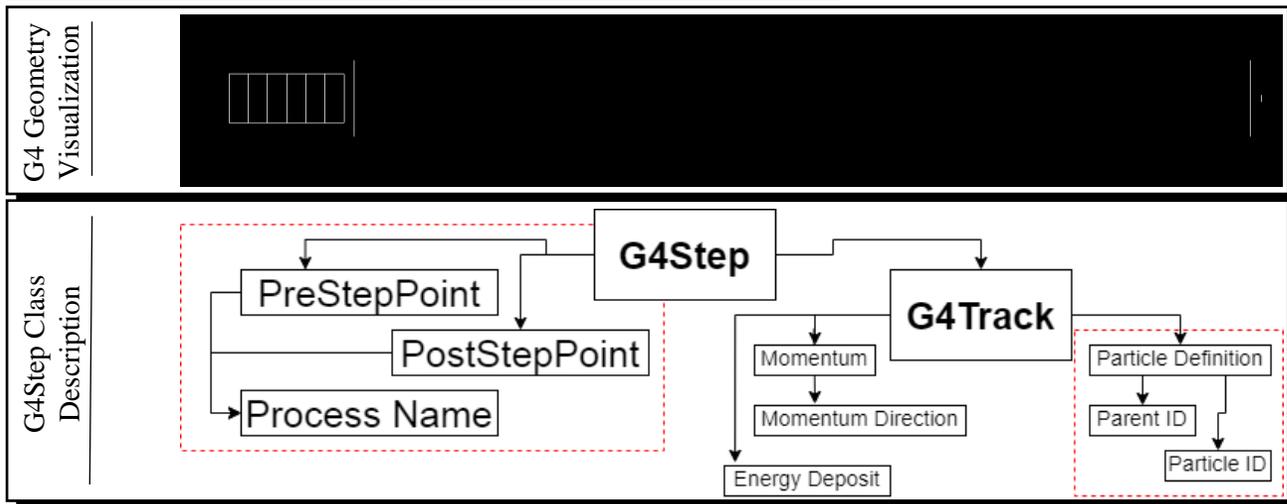
TestBeam2021 SetUp Configuration



Ход работы



G4 TestBeam2021 Interpretation

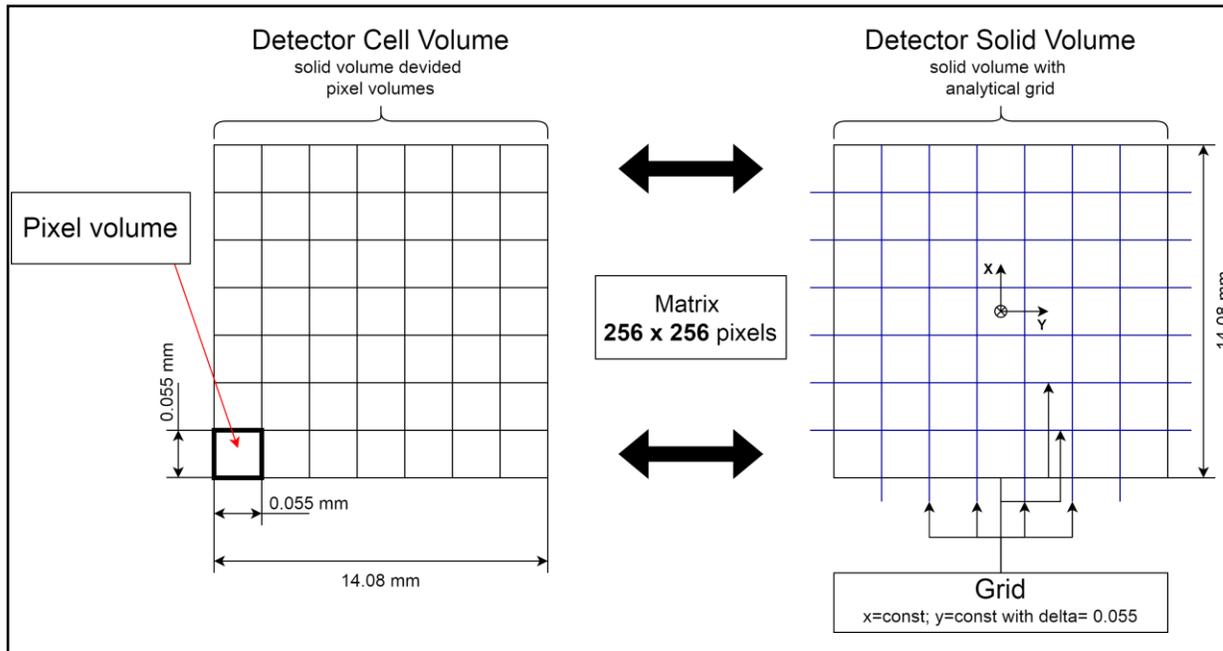


- описание геометрии эксперимента;
- формирование G4 физического пакета для моделирования эксперимента;
- введение классификатора регистрируемых частиц с помощью G4Step;
- доработка предыдущих пунктов;
- введение диффузии заряда в детекторе;
- объединение G4 моделирования с алгоритмом кластеризации;

I

II

*на картинке одно из 100k событий моделирования 20GeV e^- , только треки e^-



Пикселизация объема детектора

Был осуществлен переход детектора состоящего из 65536 отдельных объемов (пикселей) к сплошному объему, чему сопутствовал ввод алгоритма пикселизации - сработавшие пиксели определяются аналитической координатной сеткой

Доопределение физического пакета моделирования

Gamma

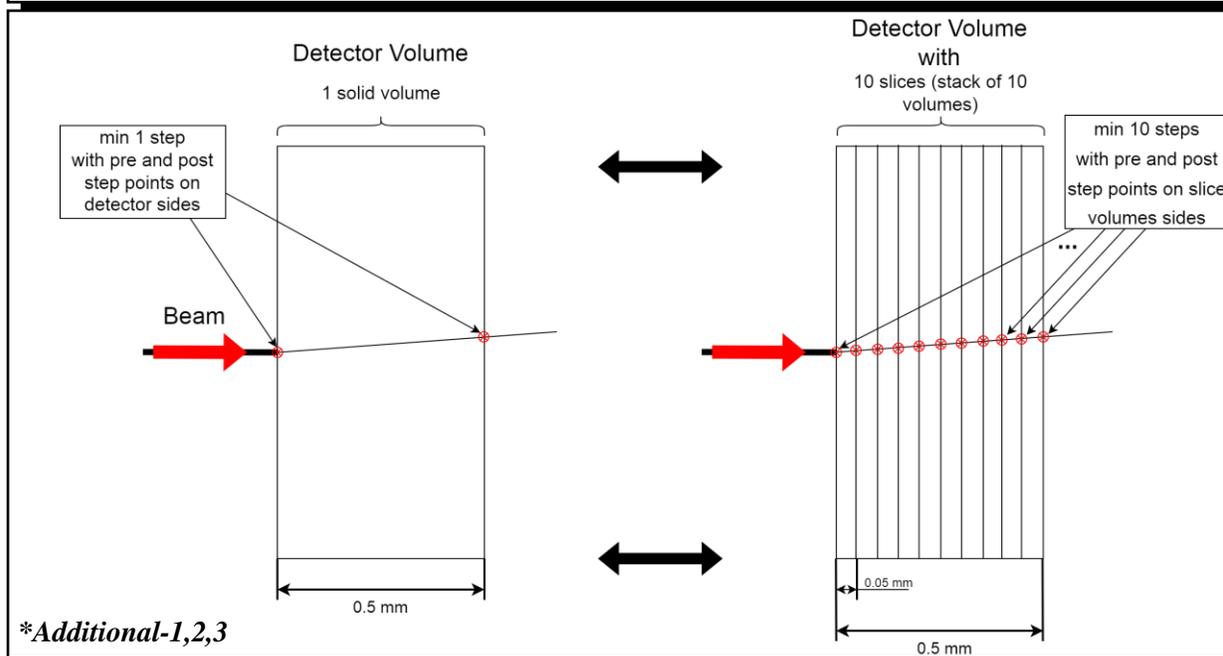
- Transportation
- Photo-electric
- Conversion
- Rayleigh scattering
- Compton scattering
- RegularXTRad

Electron

- Transportation
- Ionisation
- Multiple Scattering
- Bremsstrahlung

Additional processes

- Annihilation
- Pair Production
- Auger Cascade
- Fluorescence
- Decays

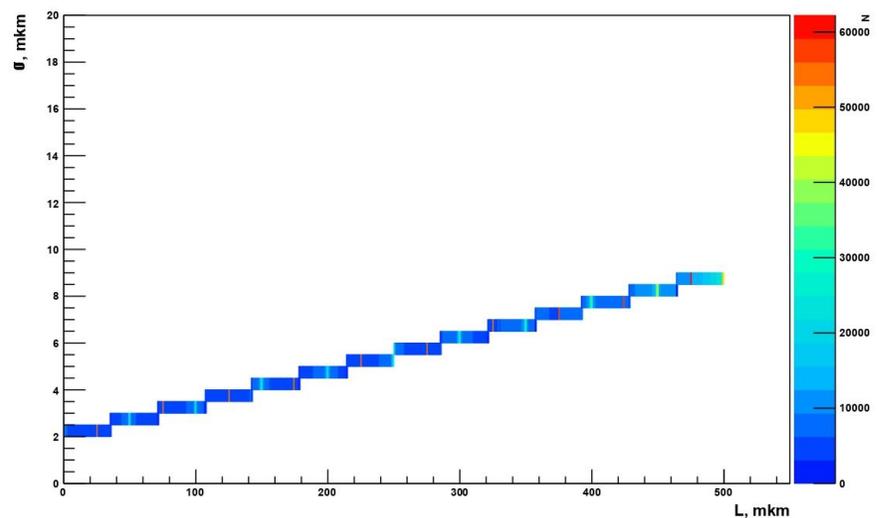


Разбиение на слои

Появилось разбиение на слои, что было мотивированно предстоящим описанием диффузии заряда. Это изменение приводит к увеличению минимального числа шагов трассировки частиц в G4, тем самым способствует более точному моделированию диффузии.

Измеренная функция

Sigma distribution linear function



$$\sigma [\mu m] = 0.014 \times l + 2 \mu m$$

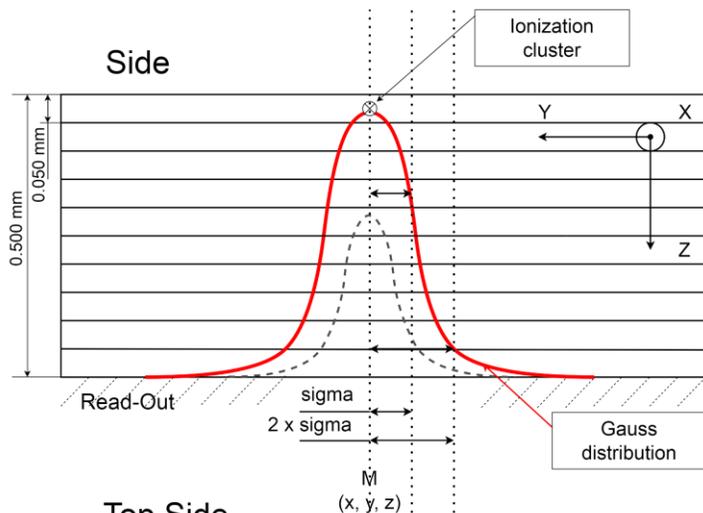
- l – расстояние от точки ионизации до считывающей платы

Добавка в постоянные 2 мкм определялась экспериментально – размытие точки регистрации частицы при $l = 0$ также присутствует (2 мкм).

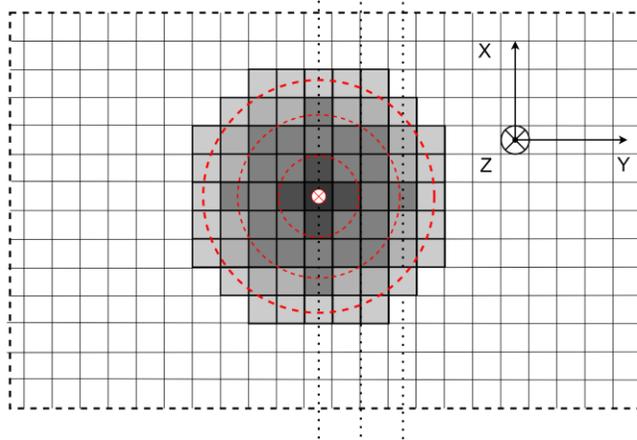
*по y – величина сигма [мкм], по x – расстояние от точки ионизации до считывающей платы [мкм].

Диффузия заряда

Диффузия заряда в детекторе обусловлена тем, что свободные носители заряда двигаясь к считывающей плате – одноименные, следовательно расталкиваются из-за кулоновского взаимодействия

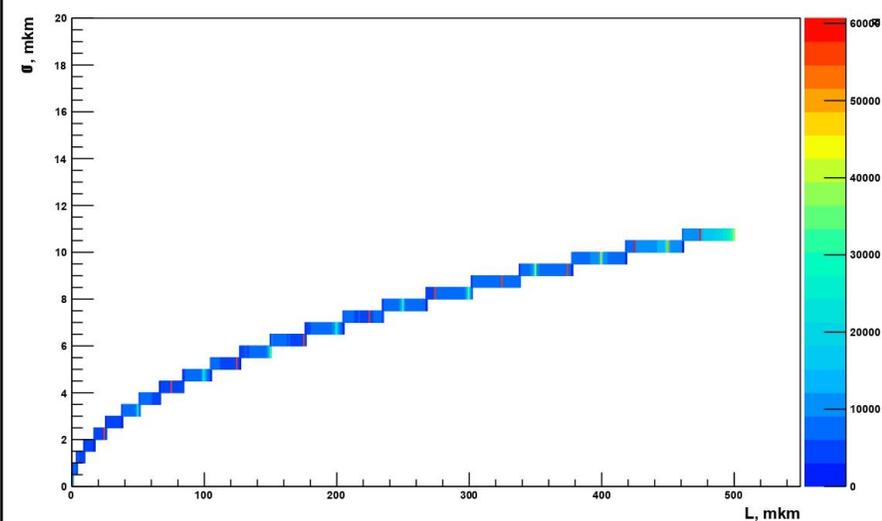


Top Side



Теоретическая функция

Sigma distribution



$$\sigma [\mu m] = \sqrt{\frac{2nk_B d l T}{eU_{bias}}}$$

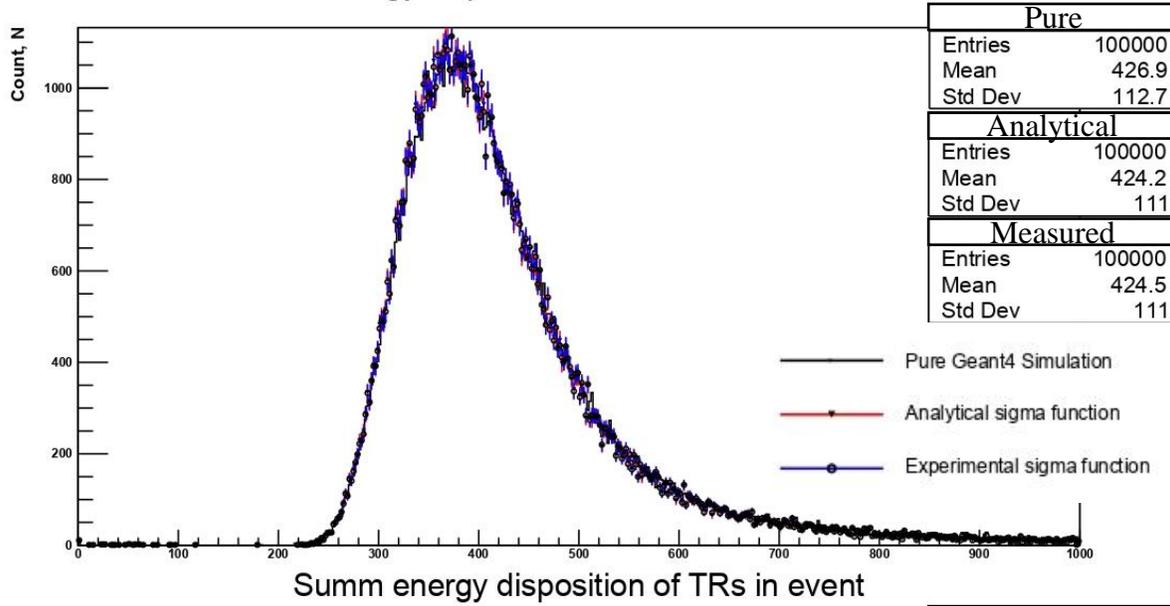
- T – температура детектора
- U_{bias} – напряжение смещения (350V)
- d – толщина детектора
- l – расстояние от точки ионизации до считывающей платы
- k_B – постоянная Больцмана
- $n = 3$ – число пространственных измерений

*Additional-4,5,6,7

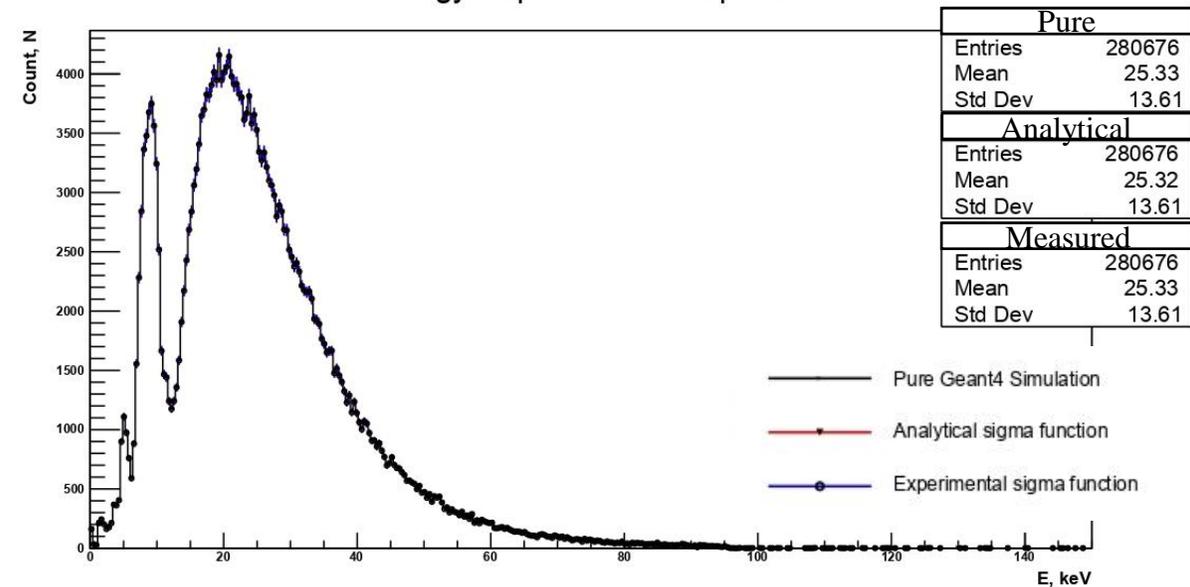
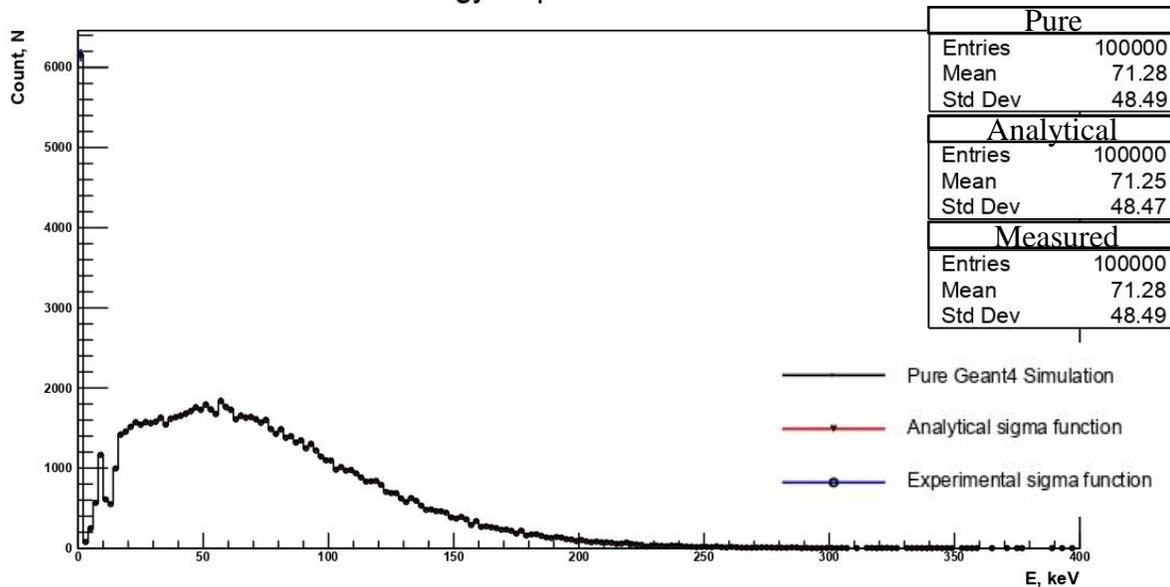
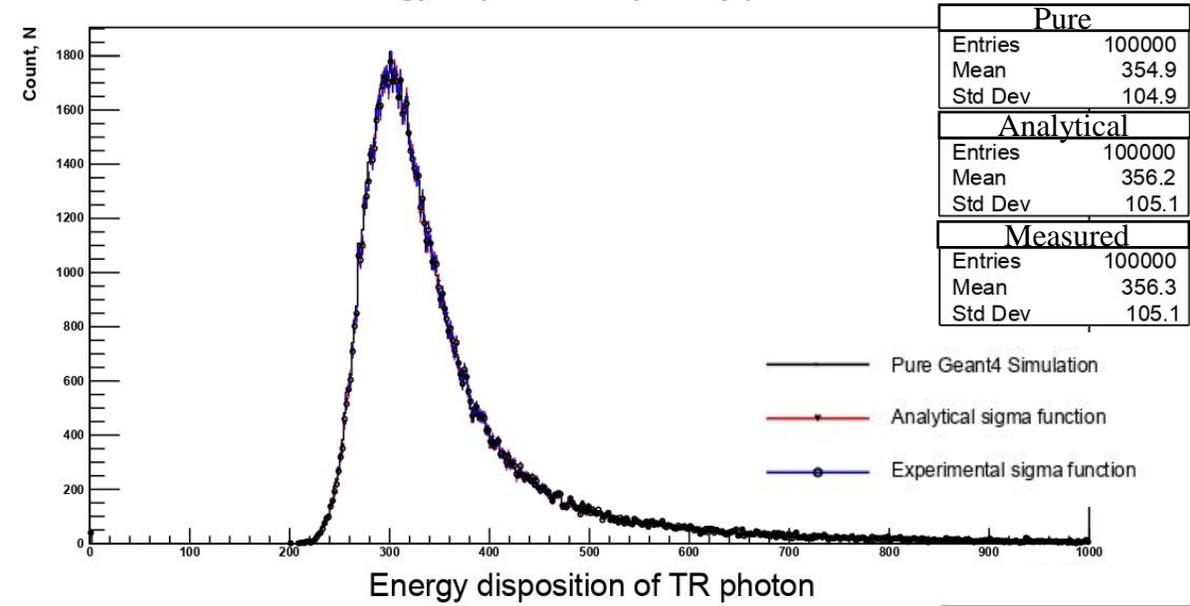
Далее будет представлено сравнение результатов моделирования без учета диффузии и различными функциями сигма.

[e^- 20GeV: Mylar 90 layers: 2m He pipe]

Energy disposition in detector volume

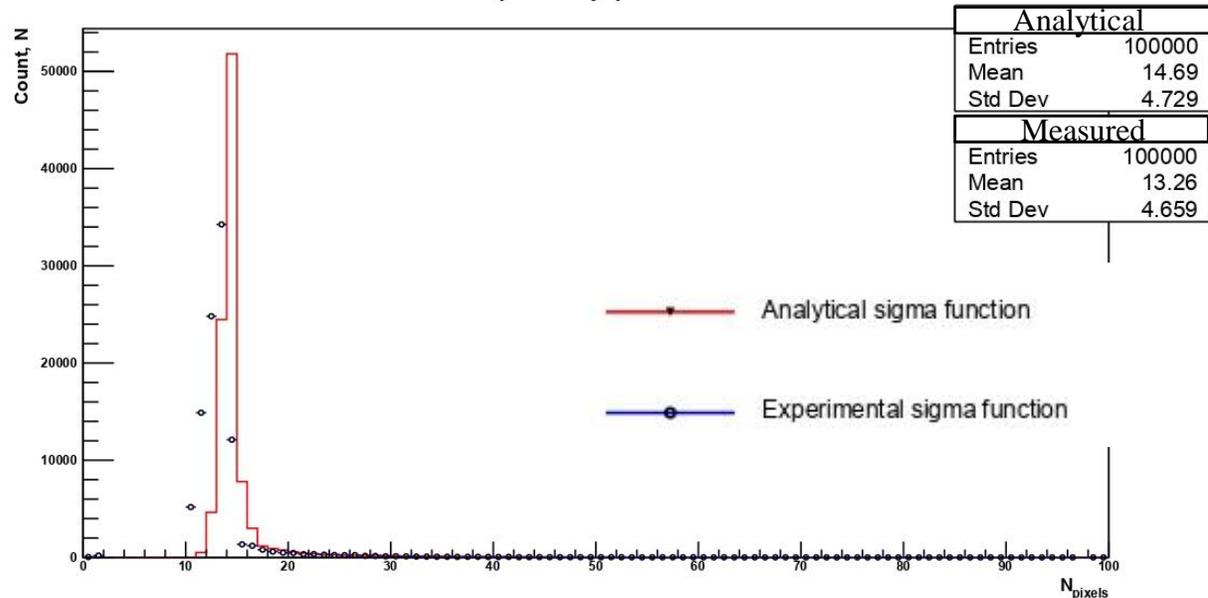


Energy disposition of primary particle

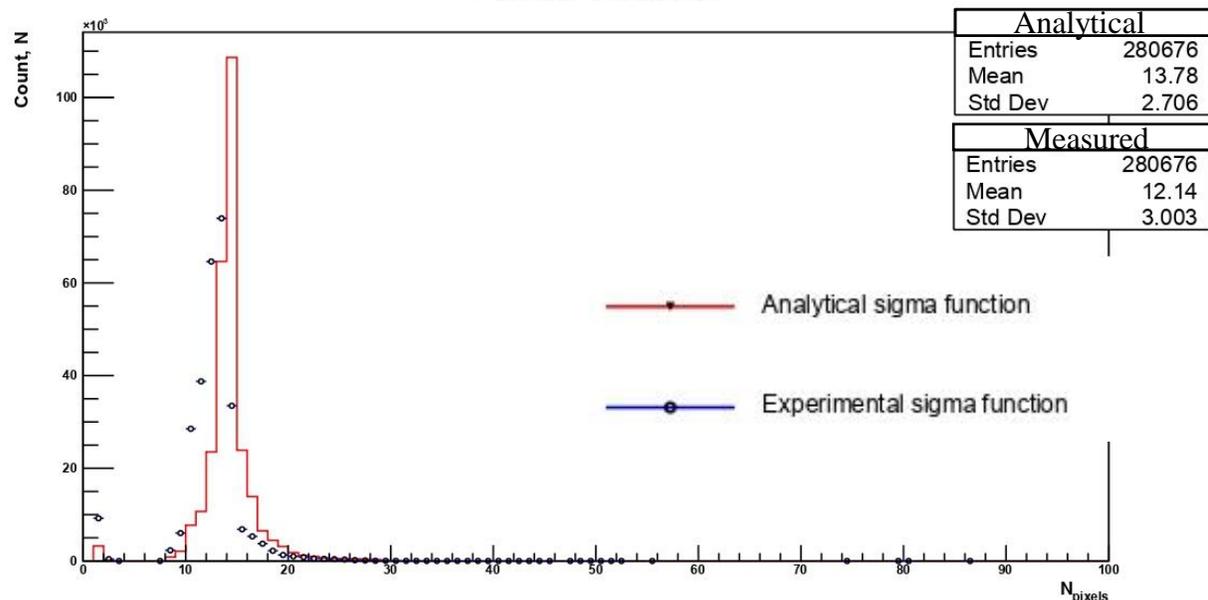


[e^- 20GeV: Mylar 90 layers: 2m He pipe]

Pixels in primary particle cluster



Pixels in TR cluster



Количество пикселей в кластерах регистрации первичной частицы, а также кластерах регистрации гамма-квантов переходного излучения

- В данной конфигурации моделирования, пик соответствующих распределений – наиболее вероятное число пикселей в кластере – определяется особенностями реализации симуляции диффузии заряда.
- Различие в данных распределениях для двух функций описывающих сигму диффузии – распределение с теоретически заданной сигмой лежит правее измеренной – обусловлено областями определения соответствующих сигм в данной конфигурации детектора:

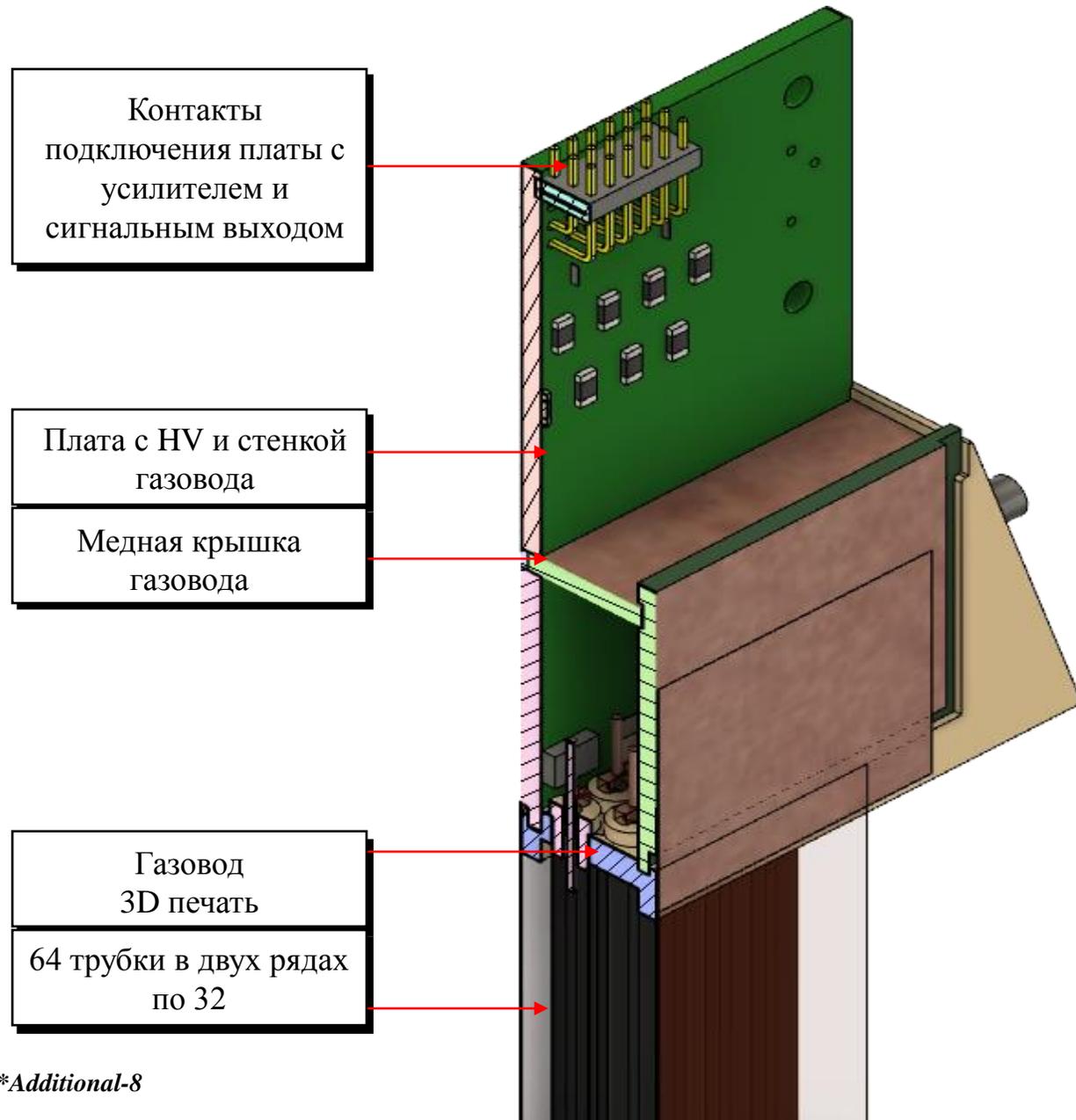
$$\sigma_{theor} \in [0; 11] \mu m$$

$$\sigma_{exper} \in [2; 9] \mu m$$

Превышение теоретической функции над экспериментальной происходит при

$$l \in [100; 500] \mu m$$

Straw Prototype Detector Configuration



*Additional-8

Мотивация & Ход работы

Существует прототип газового Straw детектора, для предполагаемого детектора TRD. Характеристики этого прототипа не изучались, что формирует задачу о проверке его работоспособности, а также проведении некоторых измерений.

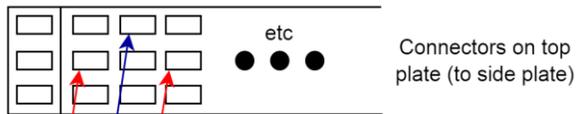


- решение задачи подключения компонент прототипа;
- организация газового “хозяйства” для Ar:CO₂ смеси;
- подготовка схемы для набора интегрального/дифференциального спектров;
- реализация установки по измерению газового усиления;
- результаты измерений;
- изучение эффекта пространственного заряда для Straw детектора

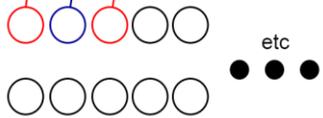
I

*на картинке полученный с детектора сигнал при напряжении 1300 В и газовой смеси Ar:CO₂ (70:30). Регистрируется космическое излучение.

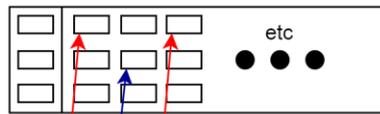
Подключение компонент



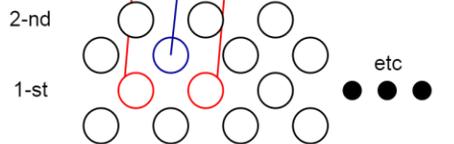
Connectors on top plate (to side plate)



Jumpers for signal from side plate to top plate and amplifier



Connectors on side plate (to top plate)



Connectors between straw tubes and side plate

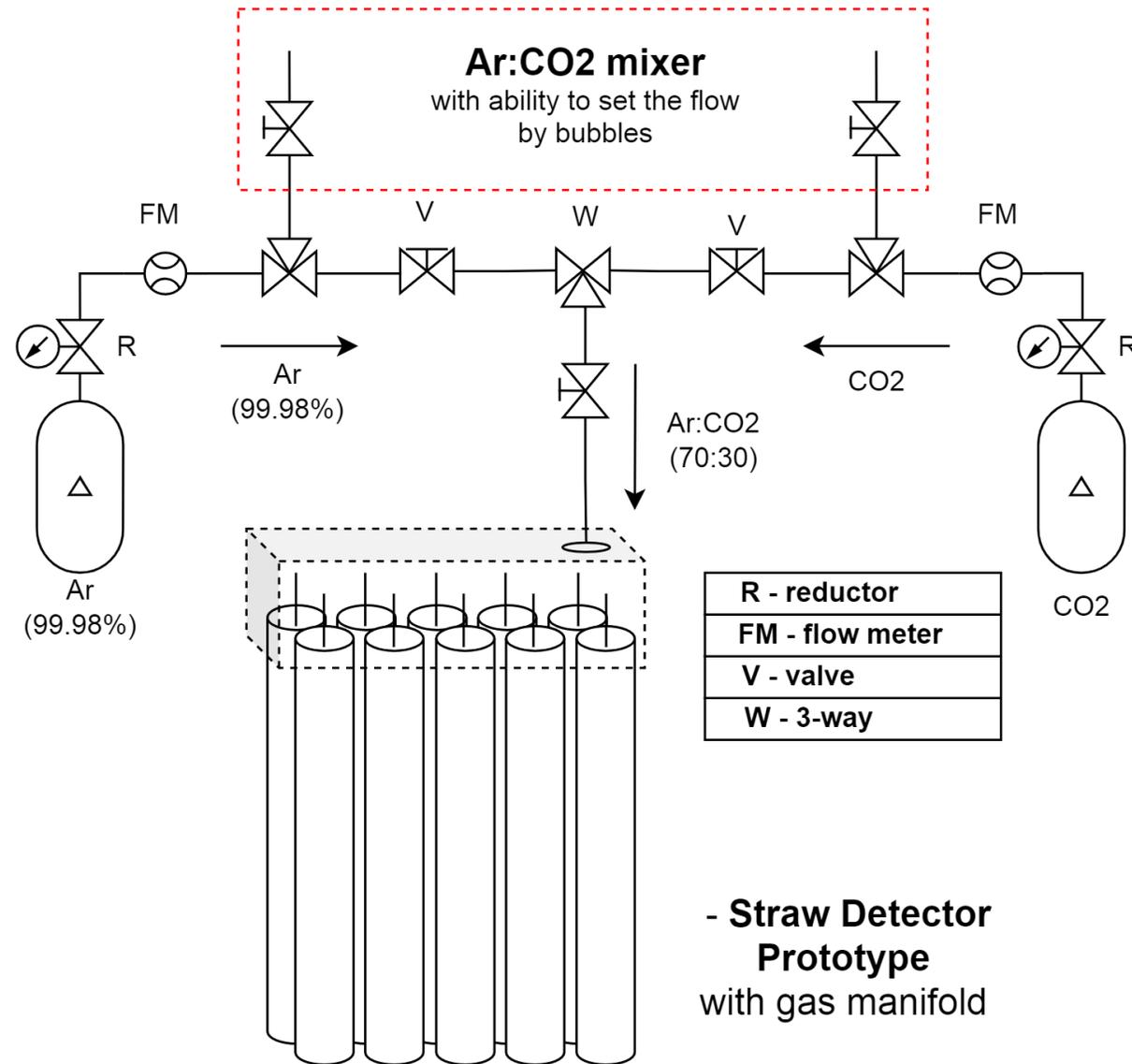
Прототип состоит из двух боковых плат с питанием от высокого для straw, и верхней платы с усилителем и сигнальным выходом. Боковые платы подключаются к верхней через коннекторы – так сигнал с трубок попадает в усилитель и сигнальный выход.

Для рабочего варианта подключения составных частей прототипа необходимо осуществить сдвиг на 1 пин.

Получение сигнала (Космика). Резюме

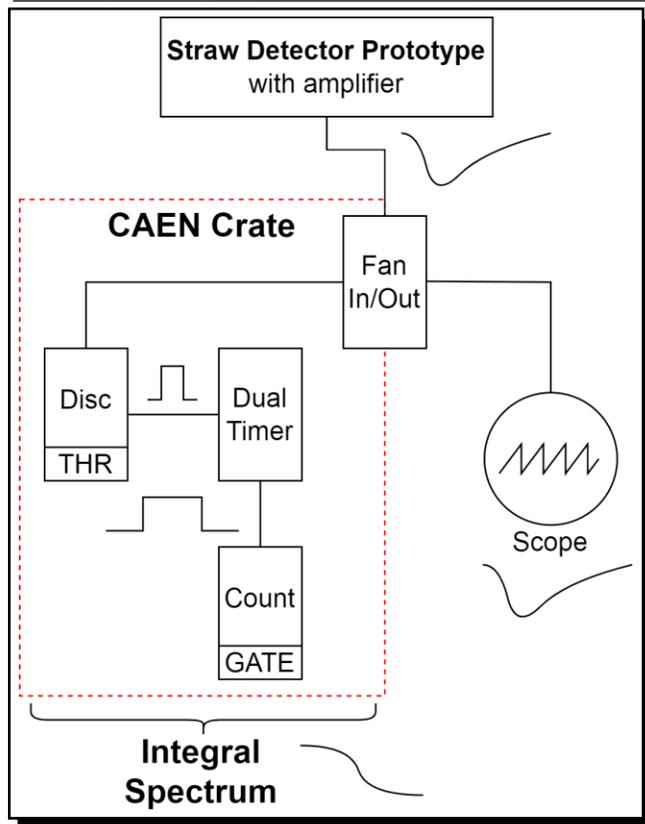
Исходя из особенностей газовых смесей с использованием данного прототипа невозможно получить сигнал с использованием чистого CO₂ или же воздуха, необходим проводящий газ – Ar. А также необходимо минимизировать содержание кислорода в смеси. Что формирует требования к газовой системе.

Газовая система для получения смеси Ar:CO₂ (70:30)



Схемы набора спектра

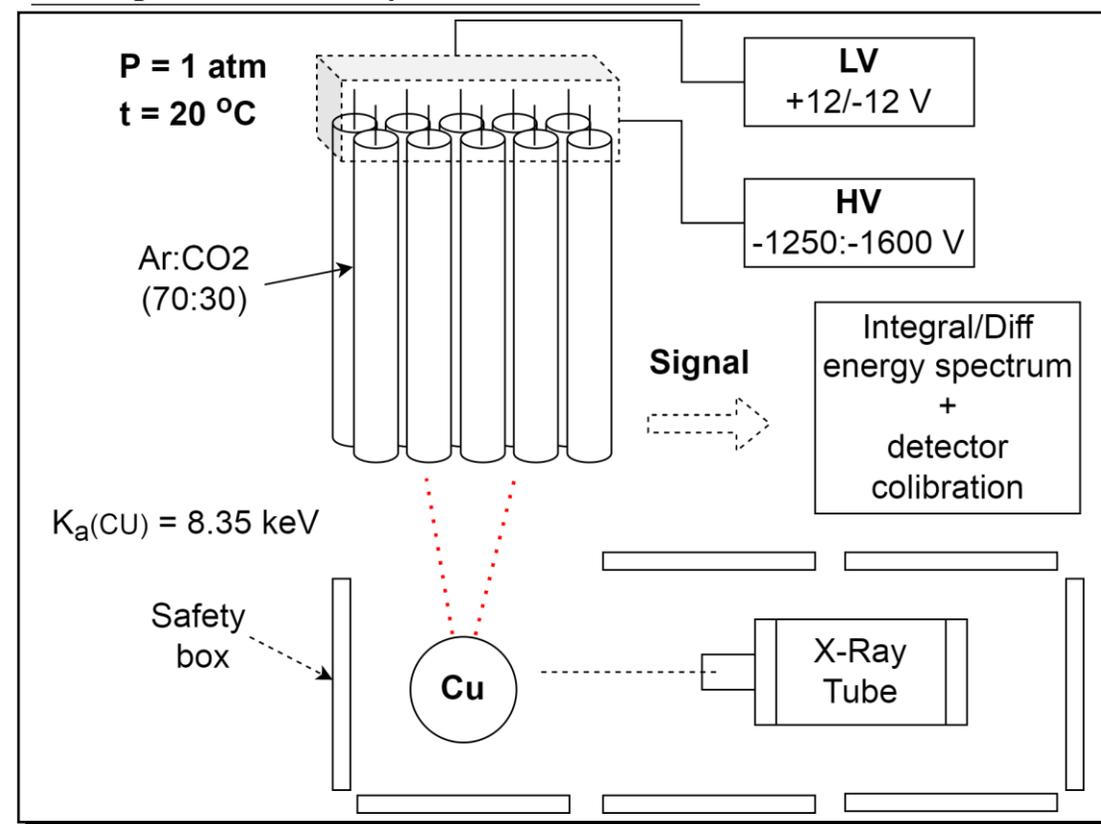
Интегральный



Дифференциальный

Набор дифференциального спектра осуществляется с помощью CAEN Educational Gamma Kit предназначенного для проведения измерений с SPM. Сигнал с SPM и с данного прототипа схожи по длительности и предельным амплитудам, а значит, вероятно данный инструмент подходит для этой задачи, но связанной со straw прототипом.

Экспериментальная установка



Методика измерения газового усиления детектора

С использованием представленной схемы установки и схем набора спектров, возможно для различных величин высокого напряжения получить значения пиков дифференциальных спектров (набранных за одинаковые промежутки времени одной и той же методикой) и поставив их в соответствие получить график зависимости газового усиления от напряжения приложенного между катодом и анодом в трубке. Данный график поможет выбрать напряжение для оптимальной работы газового детектора (обычно выбирается такое напряжение, чтобы $GG = 10^3 - 10^4$).

*экспериментальная установка работает по принципу перерасеяния гамма-квантов на мишени, что дает ХРИ мишени. Для Cu $K_{\alpha} = 8.35 \text{ keV}$.

Заключение по G4 TestBeam2021 Simulation

Реализовано:

- описание геометрии эксперимента;
- формирование G4 физического пакета для моделирования эксперимента;
- введение классификатора регистрируемых частиц с помощью G4Step;
- доработка реализованных механик;
- введение диффузии заряда в детекторе

Предстоит (~2 недели):

- объединение G4 моделирования с алгоритмом кластеризации;
- отладка работы объединенного алгоритма

Результатом работы будет являться заверенная модель детектора переходного излучения на основе GaAs с учетом диффузии. Данная модель будет объединена с существующим алгоритмом кластеризации, который, в свою очередь, определяет соответствие кластеров регистрации частицам и энергиям. Это объединение даст возможность оценить верность алгоритма кластеризации в сравнении с истинными данными моделирования Geant4, а также достаточно полно описать эксперимент.

Заключение по Straw Prototype

Реализовано:

- решение задачи подключения компонент прототипа;
- организация газового “хозяйства” для Ar:CO₂ смеси;
- подготовка системы для набора интегрального и дифференциального спектров;
- реализация установки по измерению газового усиления

Предстоит (~2 недели):

- результаты измерений;
- изучение эффекта пространственного заряда для Straw детектора

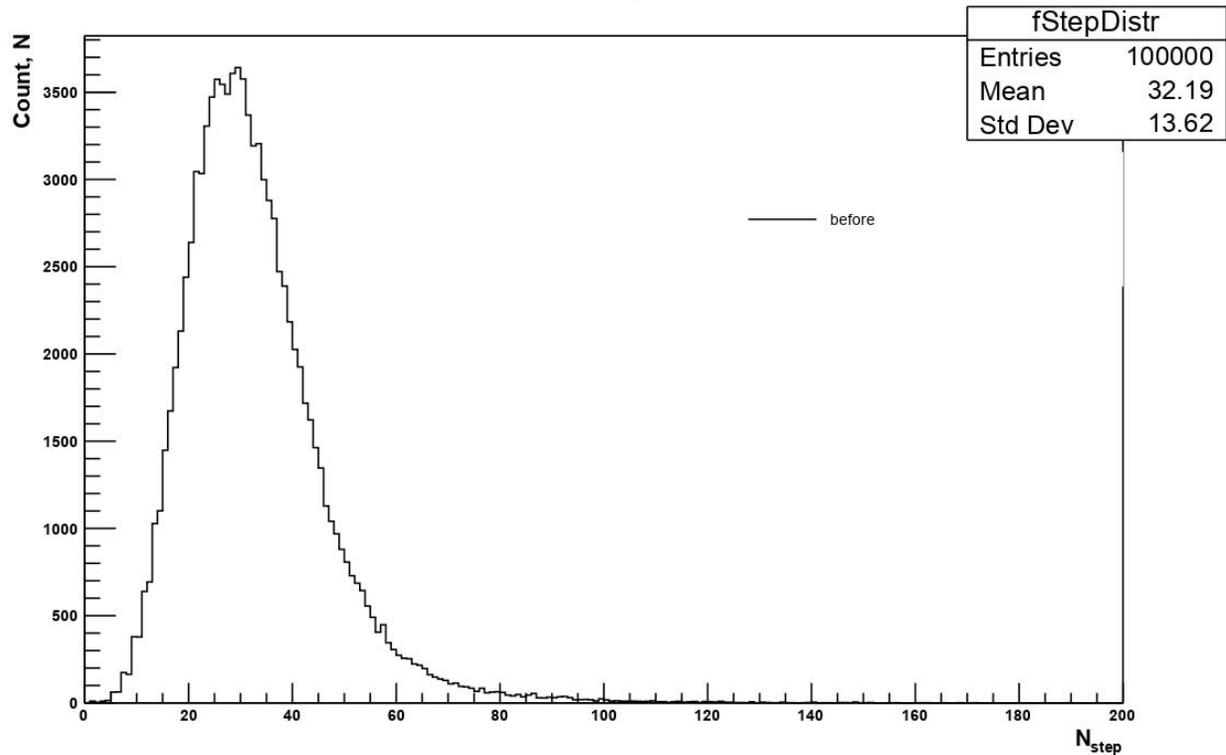
Результатом данной работы будет являться готовая установка по работе с прототипом детектора на основе straw. Описание оптимального режима работы данного прототипа – газовое усиление – необходимое напряжение на трубках. А далее проведено исследование эффекта пространственного заряда, что поможет сформировать полное понимание работы газового пропорционального детектора.



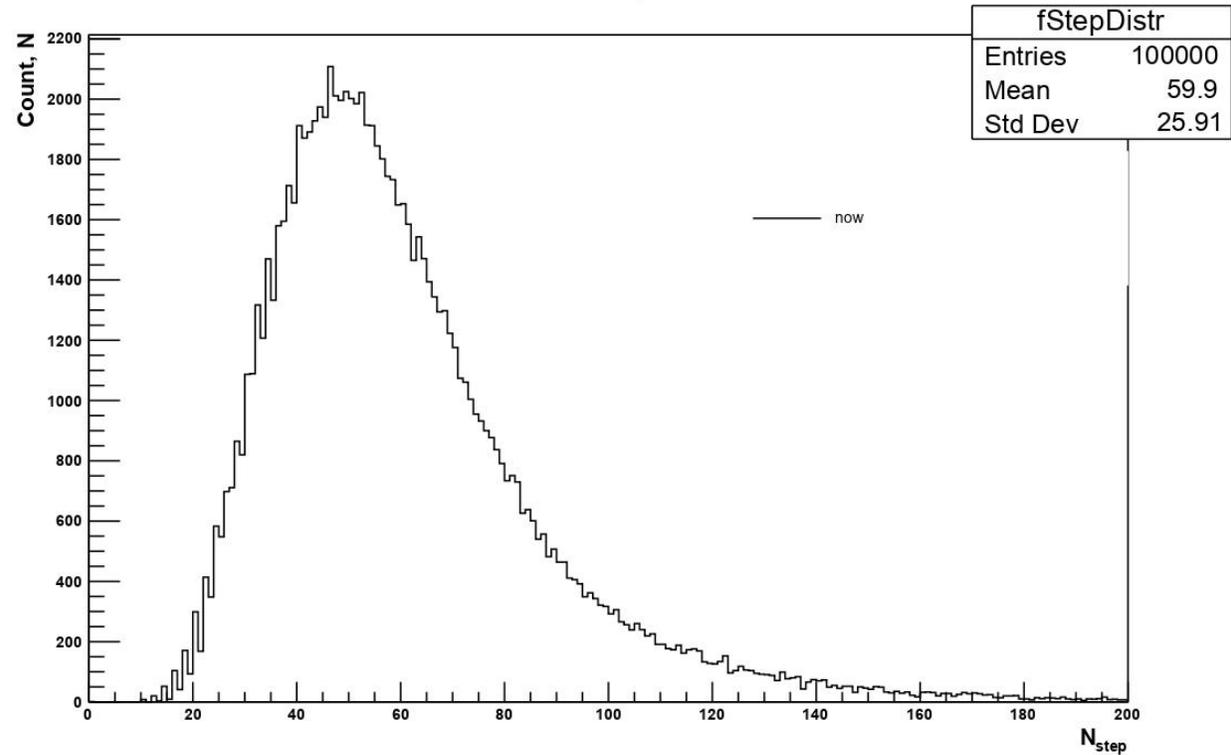
Дополнительный слайд по теме разбиения объема детектора на слои

 $[e^- 20\text{GeV}: \text{Mylar } 90 \text{ layers}: 2\text{m He pipe}]$

Number of steps in event



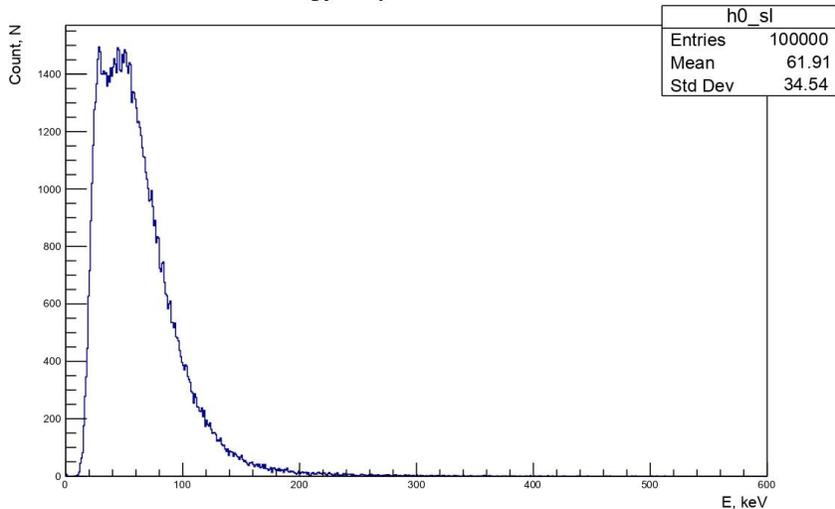
Number of steps in event



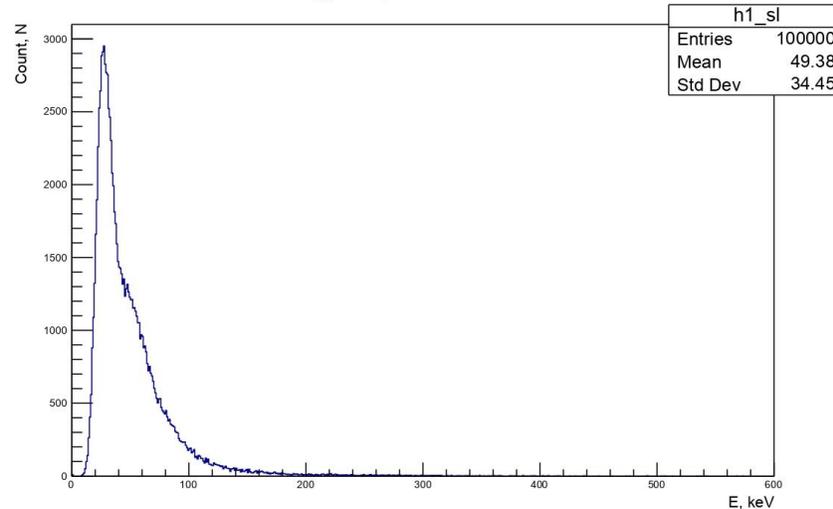
Дополнительный слайд по теме разбиения объема детектора на слои

[e^- 20GeV: Mylar 90 layers: 2m He pipe]

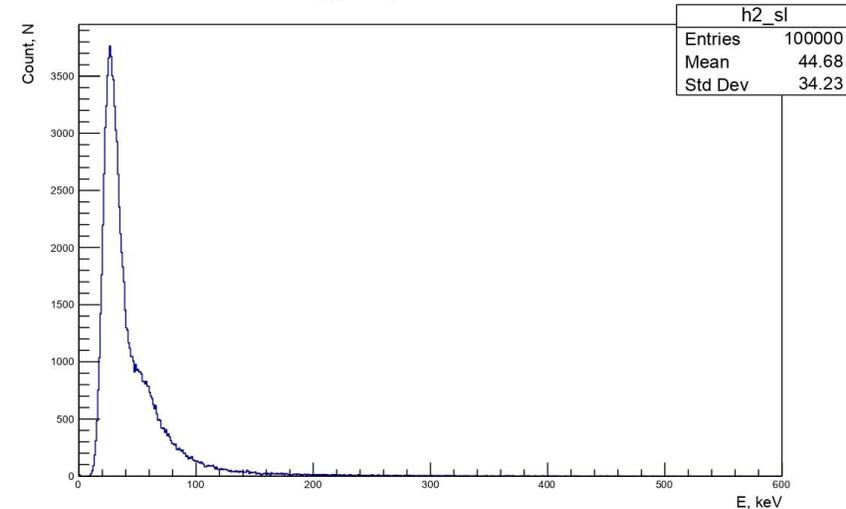
Energy disposition in Slice 1



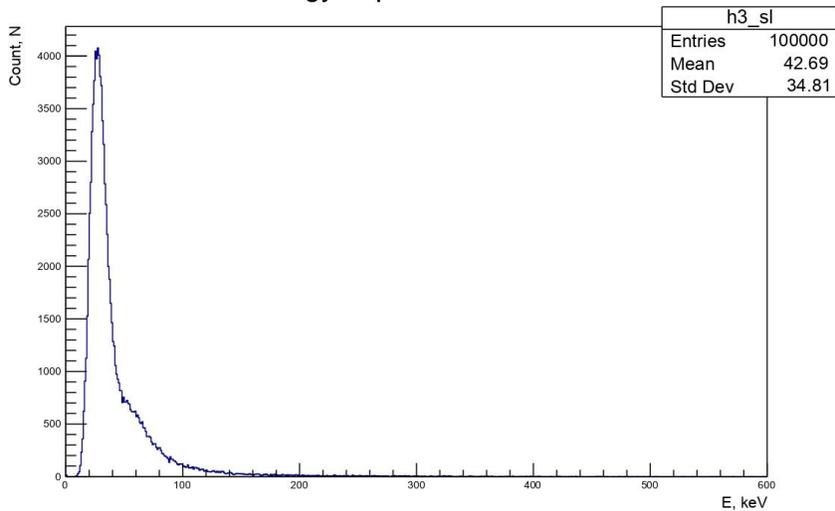
Energy disposition in Slice 2



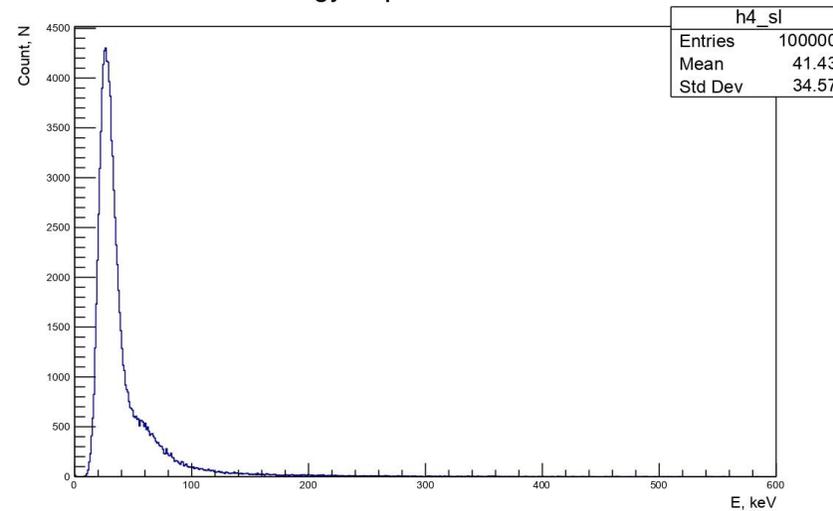
Energy disposition in Slice 3



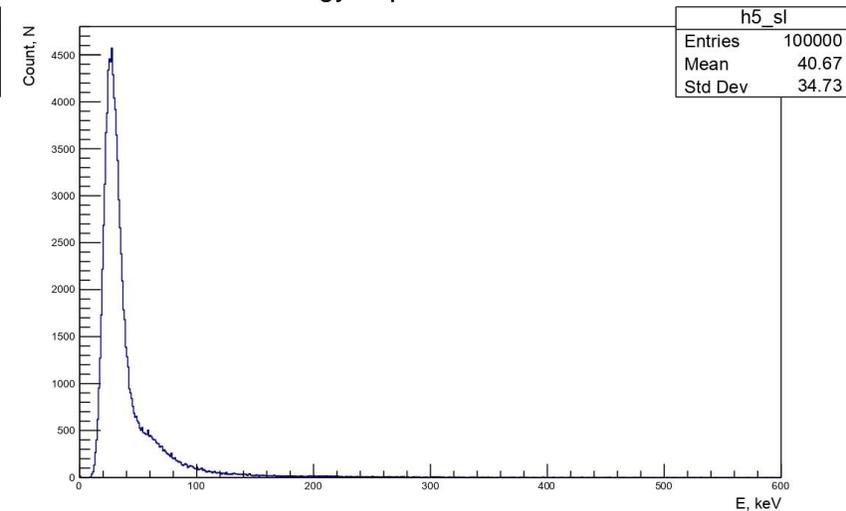
Energy disposition in Slice 4



Energy disposition in Slice 5



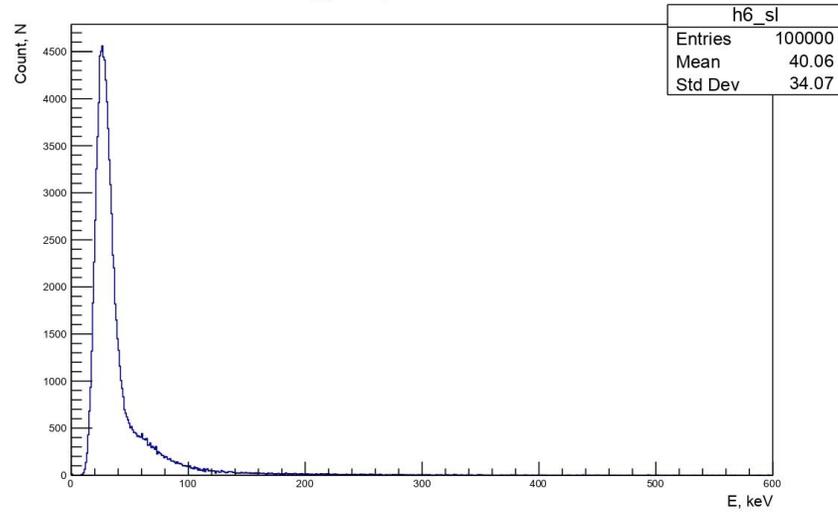
Energy disposition in Slice 6



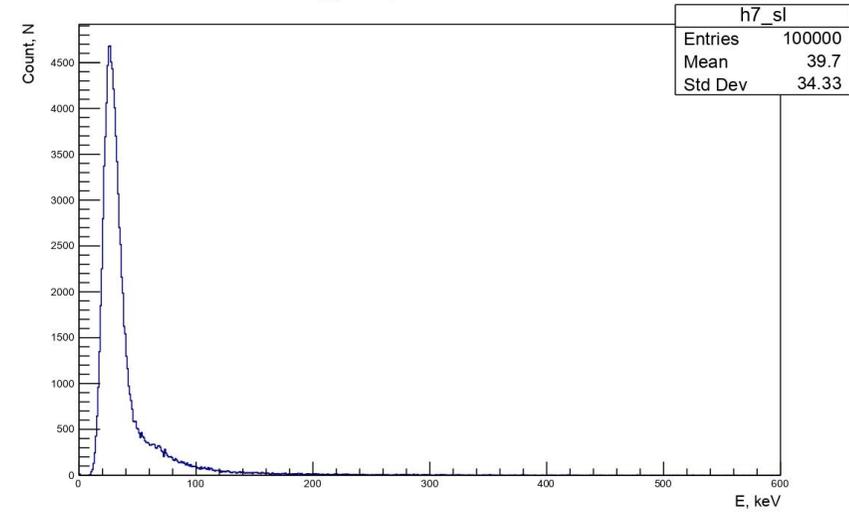
Дополнительный слайд по теме разбиения объема детектора на слои

[e^- 20GeV: Mylar 90 layers: 2m He pipe]

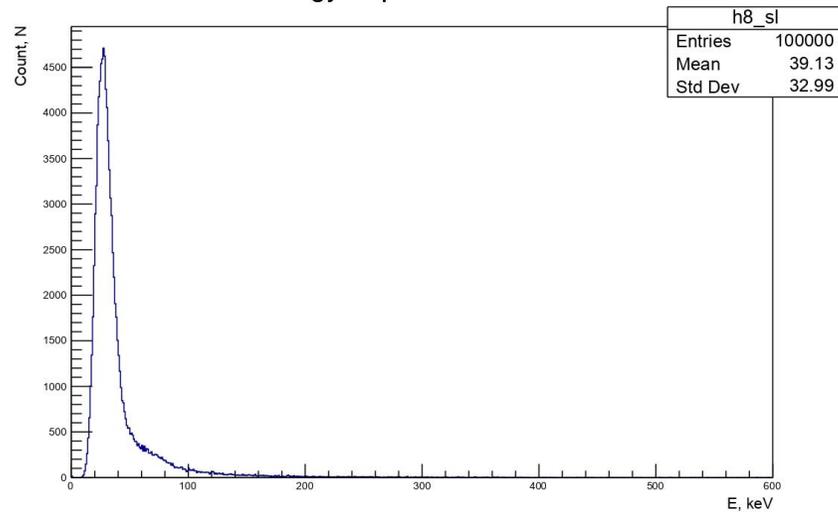
Energy disposition in Slice 7



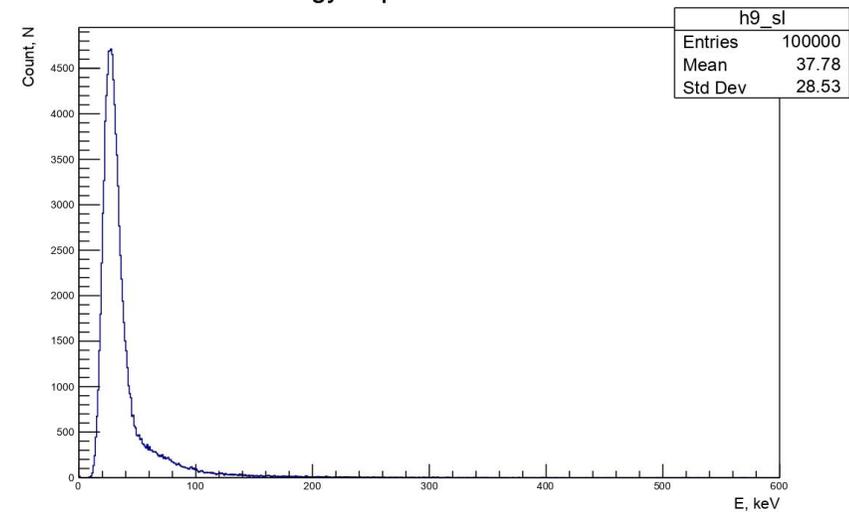
Energy disposition in Slice 8



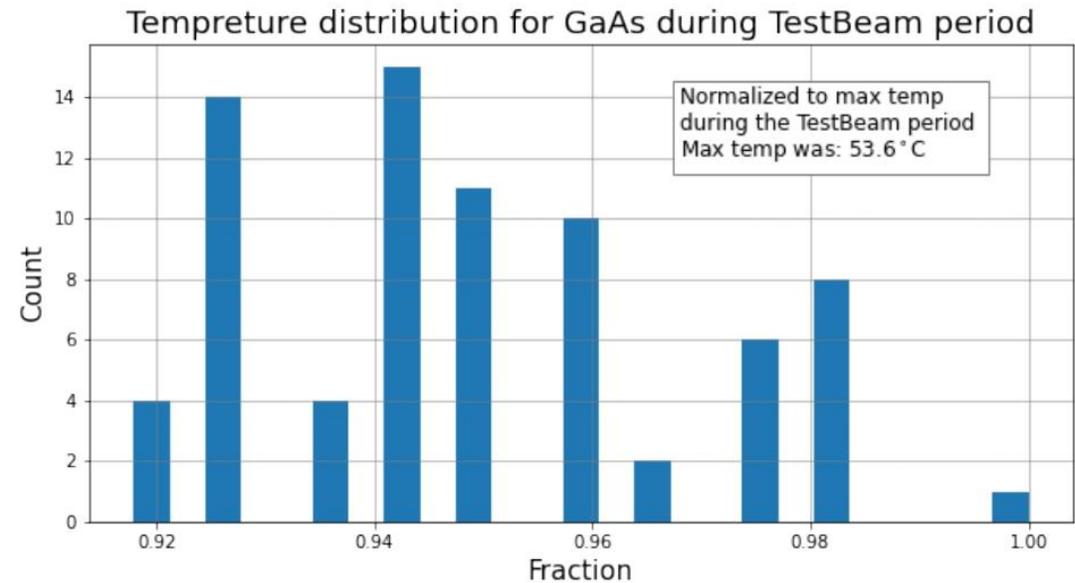
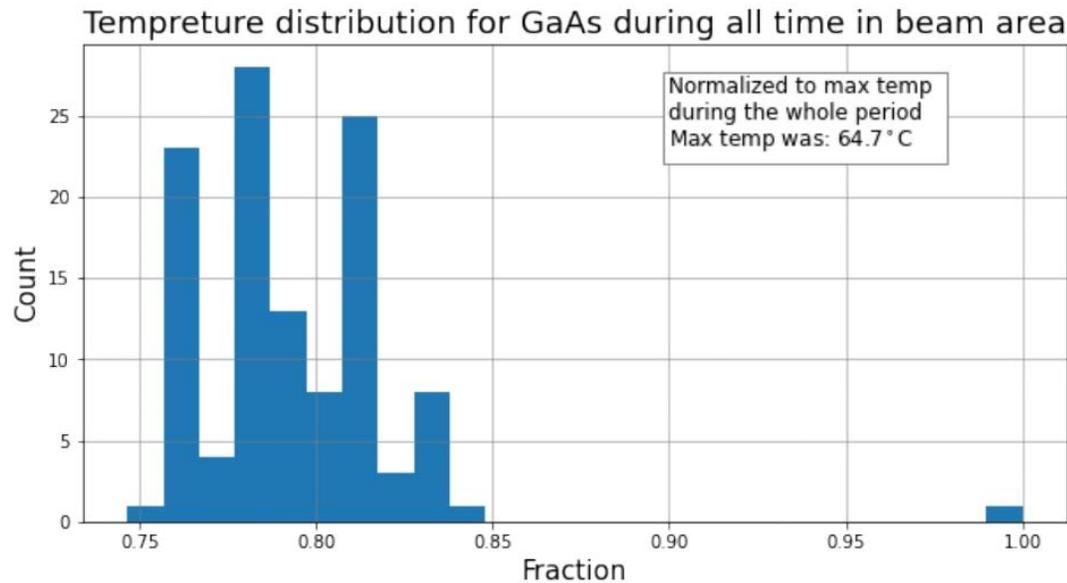
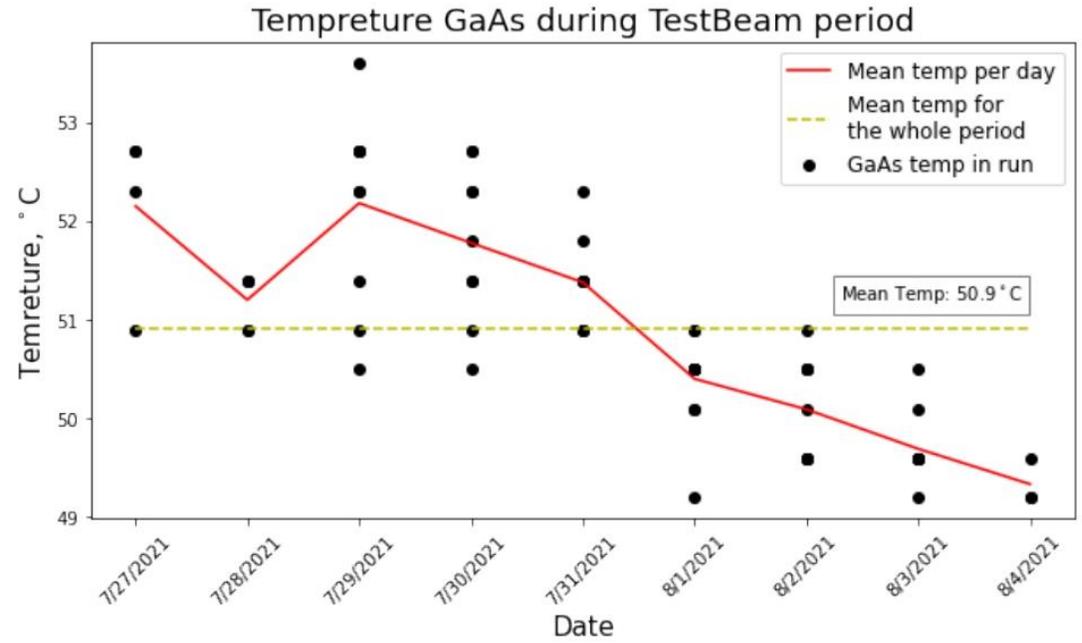
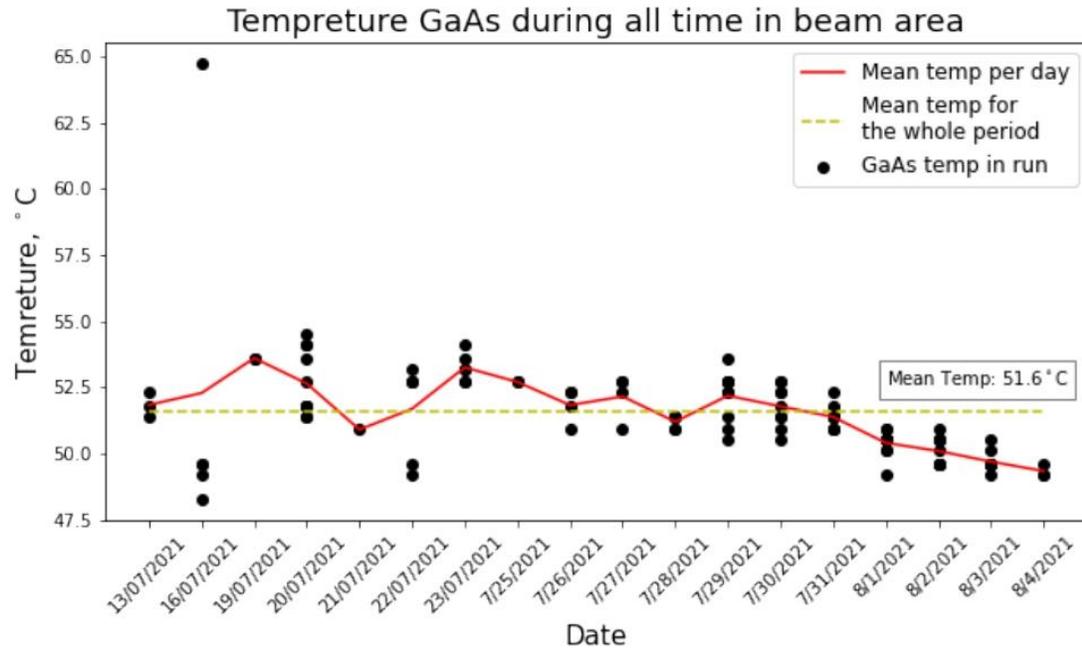
Energy disposition in Slice 9



Energy disposition in Slice 10

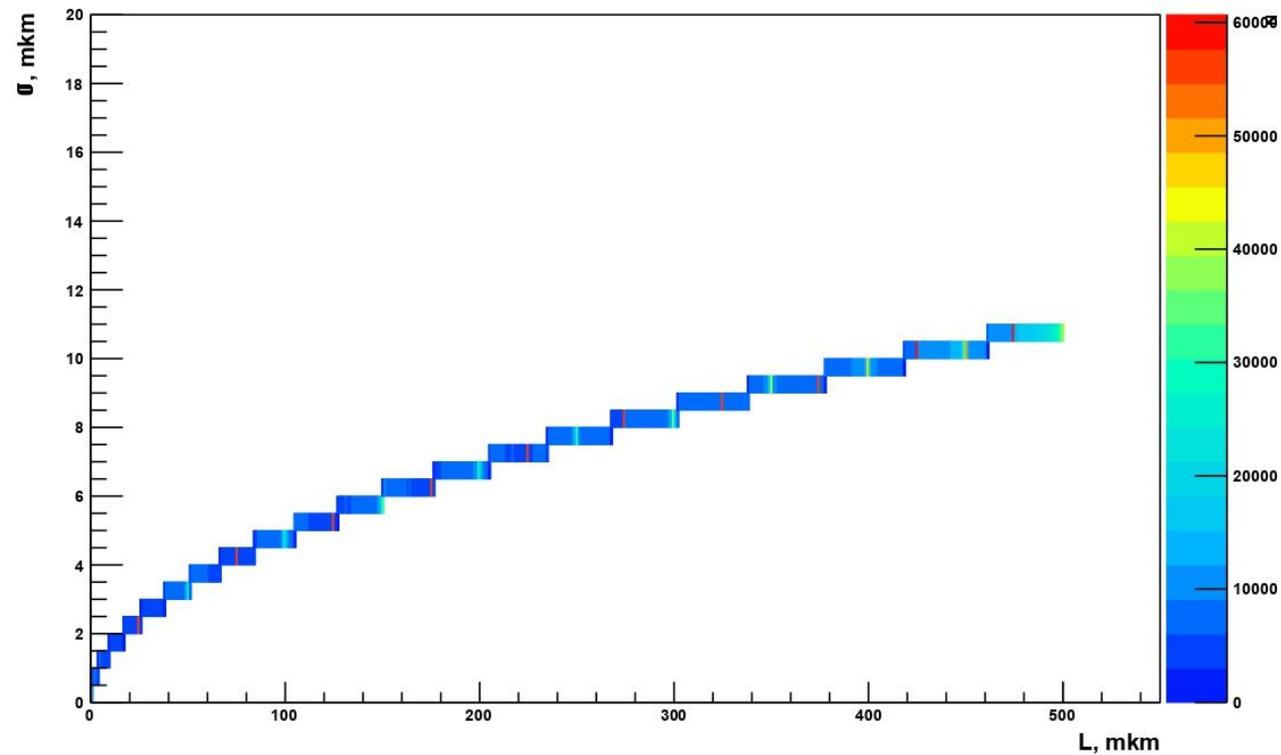


Дополнительный слайд по теме моделирование диффузии заряда в детекторе

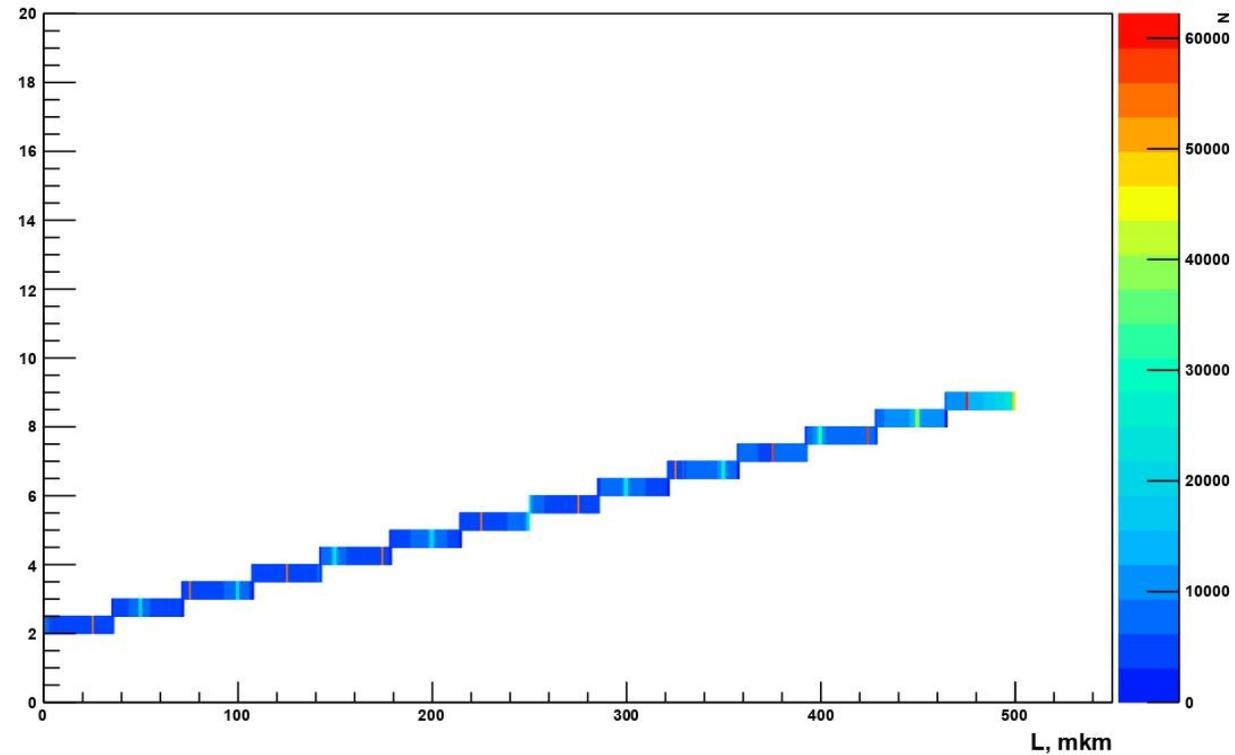


Дополнительный слайд по теме моделирование диффузии заряда в детекторе

Sigma distribution



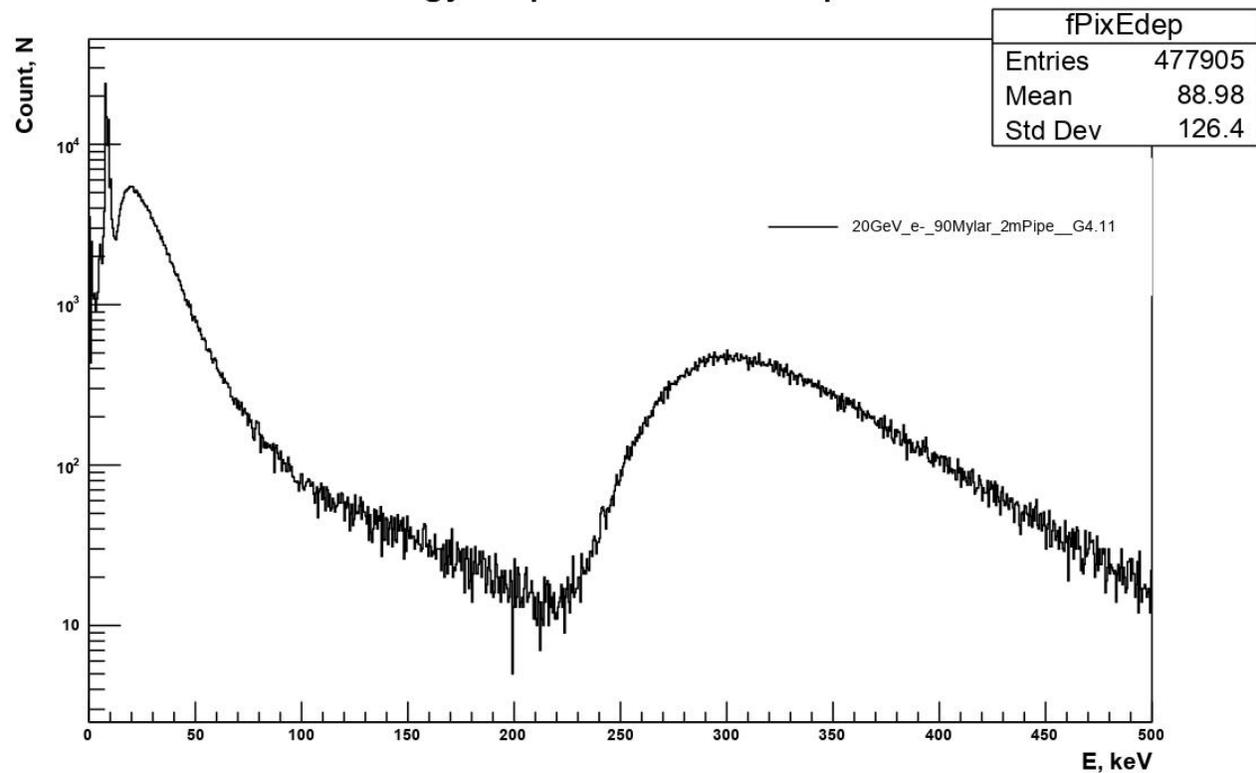
Sigma distribution linear function



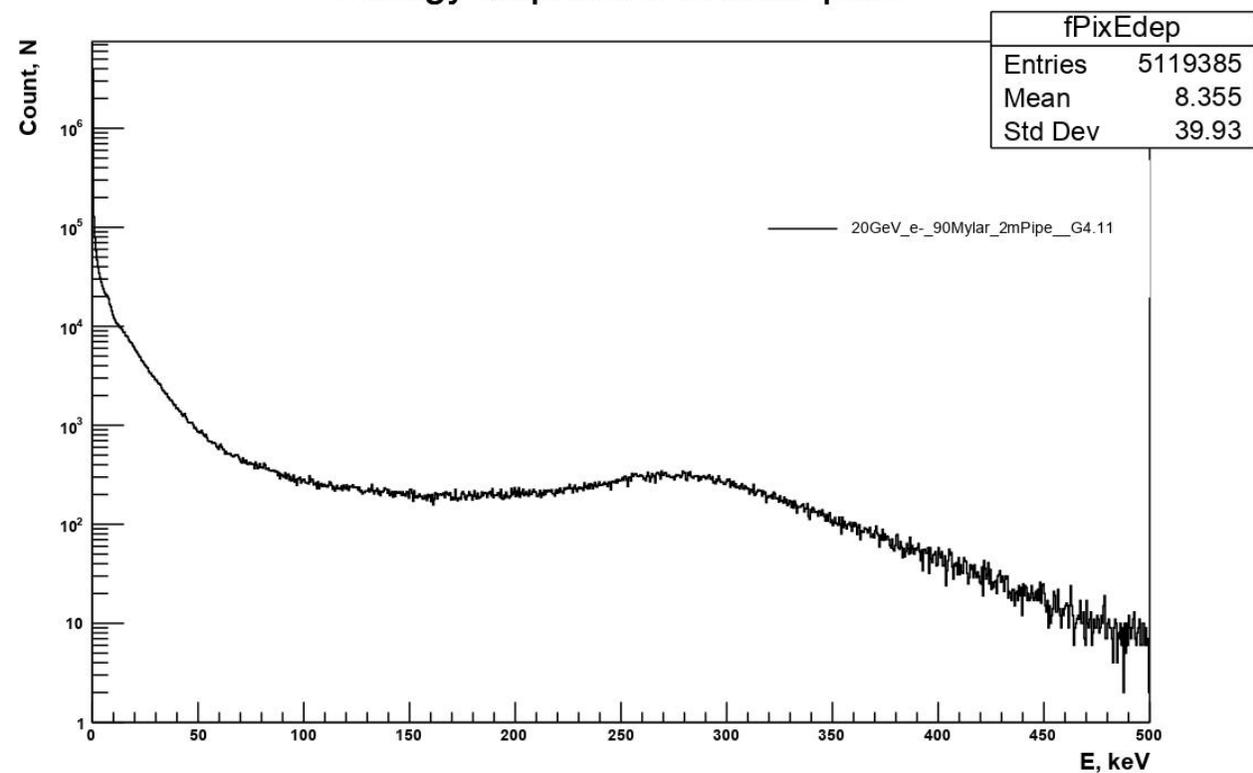
Дополнительный слайд по теме моделирование диффузии заряда в детекторе

[e^- 20GeV: Mylar 90 layers: 2m He pipe]

Energy disposition in each pixel



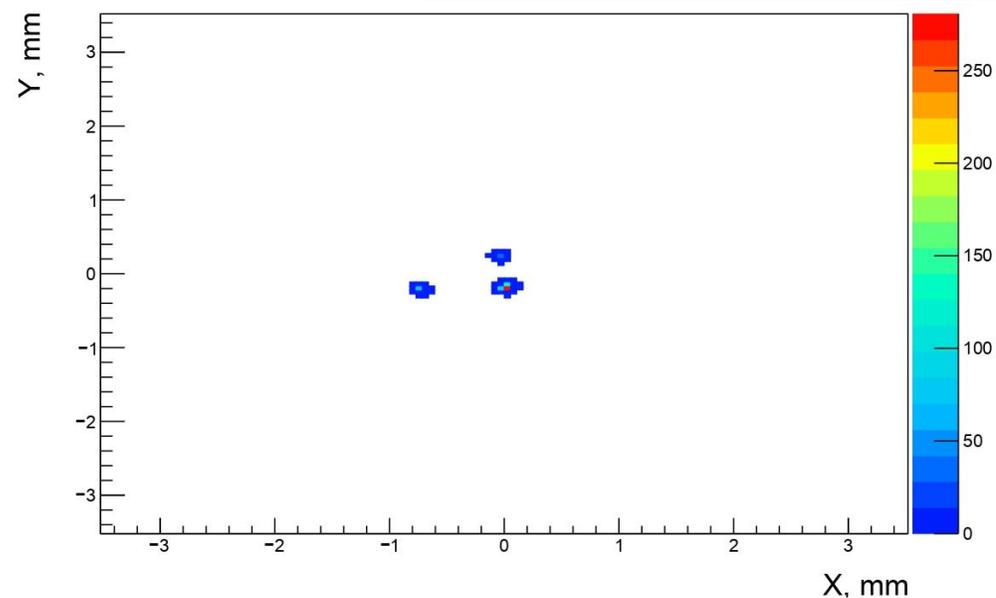
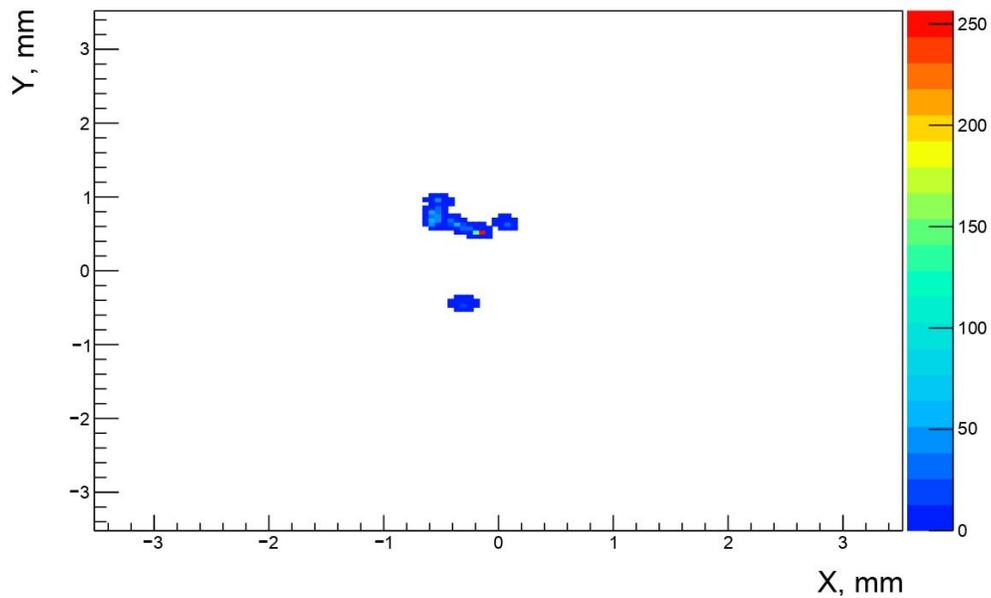
Energy disposition in each pixel



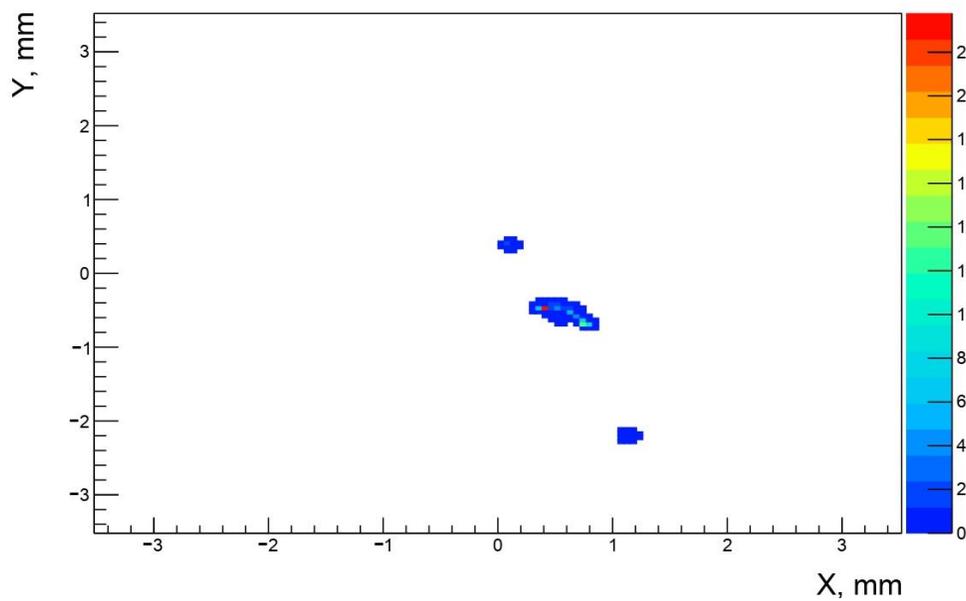
Дополнительный слайд по теме моделирование диффузии заряда в детекторе

 $[e^- 20\text{GeV}: \text{Mylar } 90 \text{ layers}: 2\text{m He pipe}]$

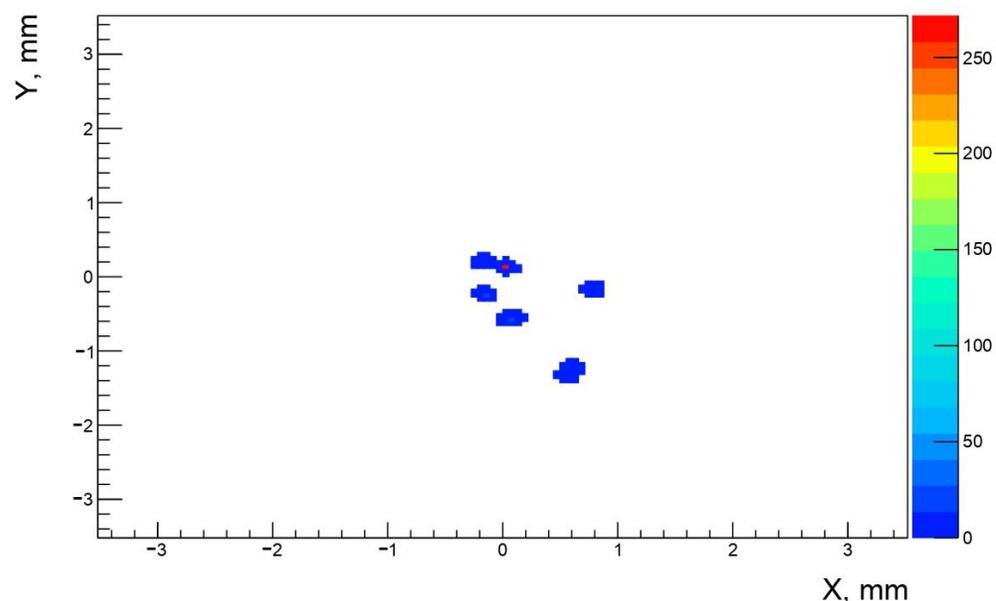
Event



Event



Event



Дополнительный слайд по теме Straw прототип

