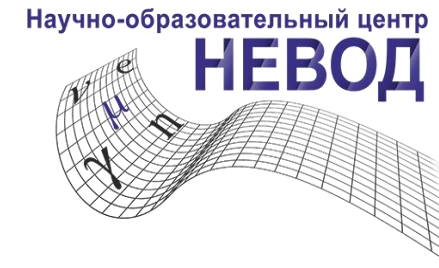




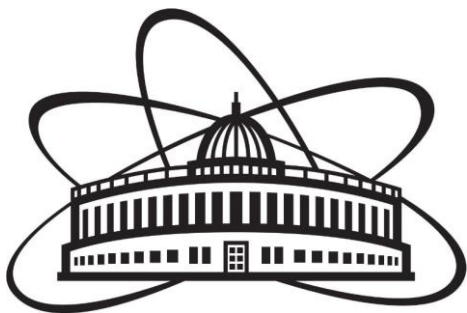
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"
Научно-образовательный центр НЕВОД



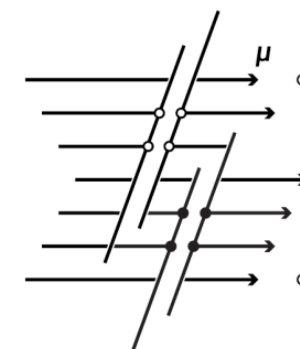
Детектор на многопроводочных дрейфовых камерах для исследования релятивистских мюонов в широких атмосферных ливнях

Докладчик: Трошин И.Ю., аспирант

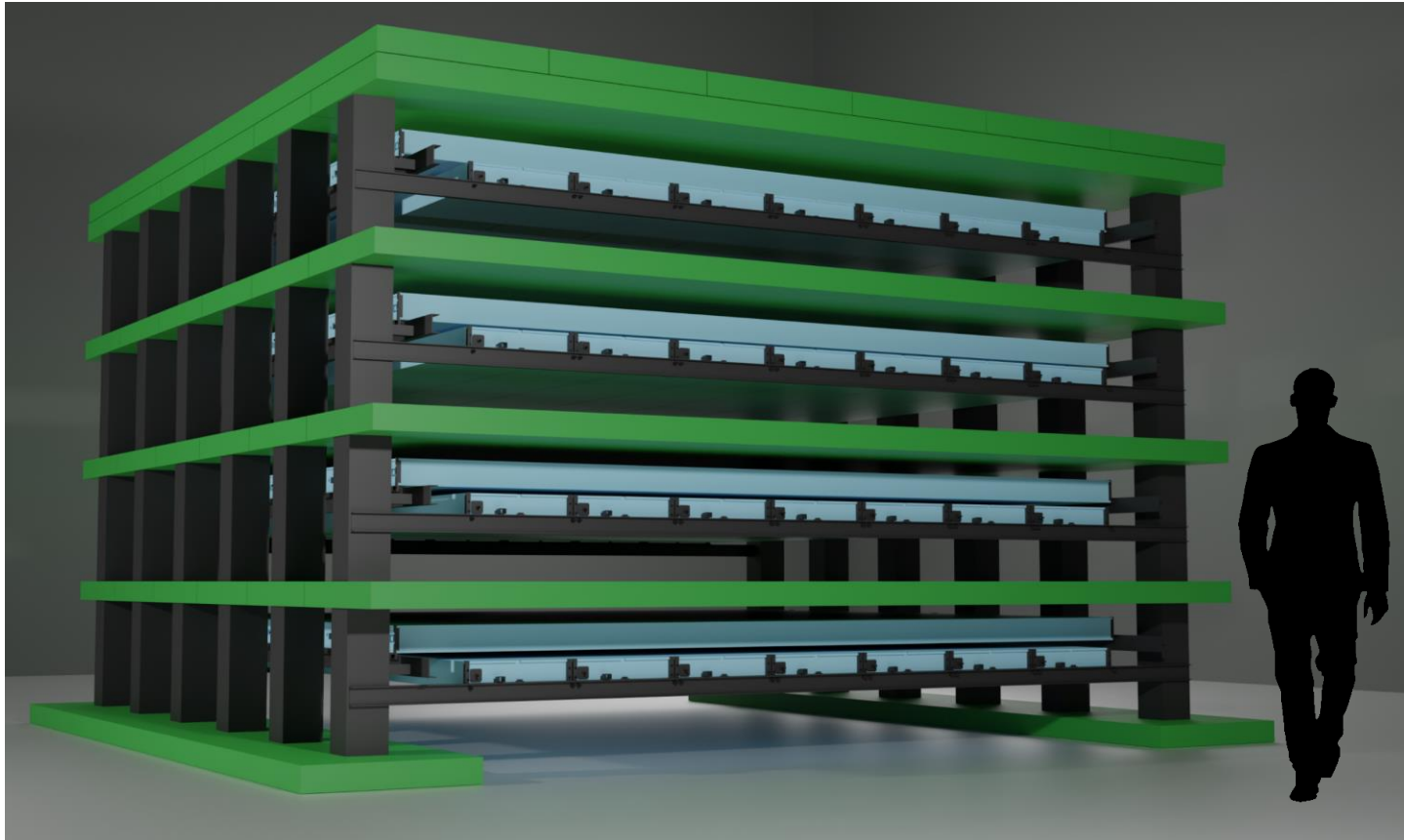
E-mail: IYTroshin@mephi.ru



Секция ядерной физики
г. Дубна, ОИЯИ
2024 г.



Многоцелевой Детектор Мюонов (МДМ)



Визуализация детектора: дрейфовые камеры (бирюзовые), стальной поглотитель (зелёный) и рамная конструкция (чёрная).

Цели проекта:

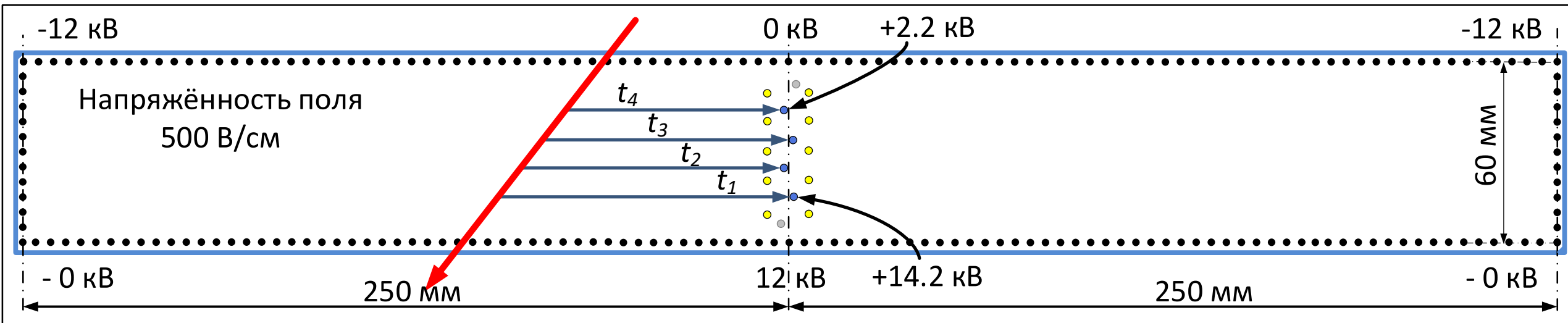
Исследование космических лучей сверхвысокой энергии методом спектров локальной плотности мюонов (СЛПМ) для околортикальных направлений.

Определение плотности мюонов на разных расстояниях от оси в режиме совместной работы с другими установками исследования ШАЛ.

Часть экспериментального комплекса, направленного на изучение первичных гамма-квантов высоких энергий.

Прецизионное исследование зонных характеристик детекторов частиц.

Принцип работы дрейфовой камеры



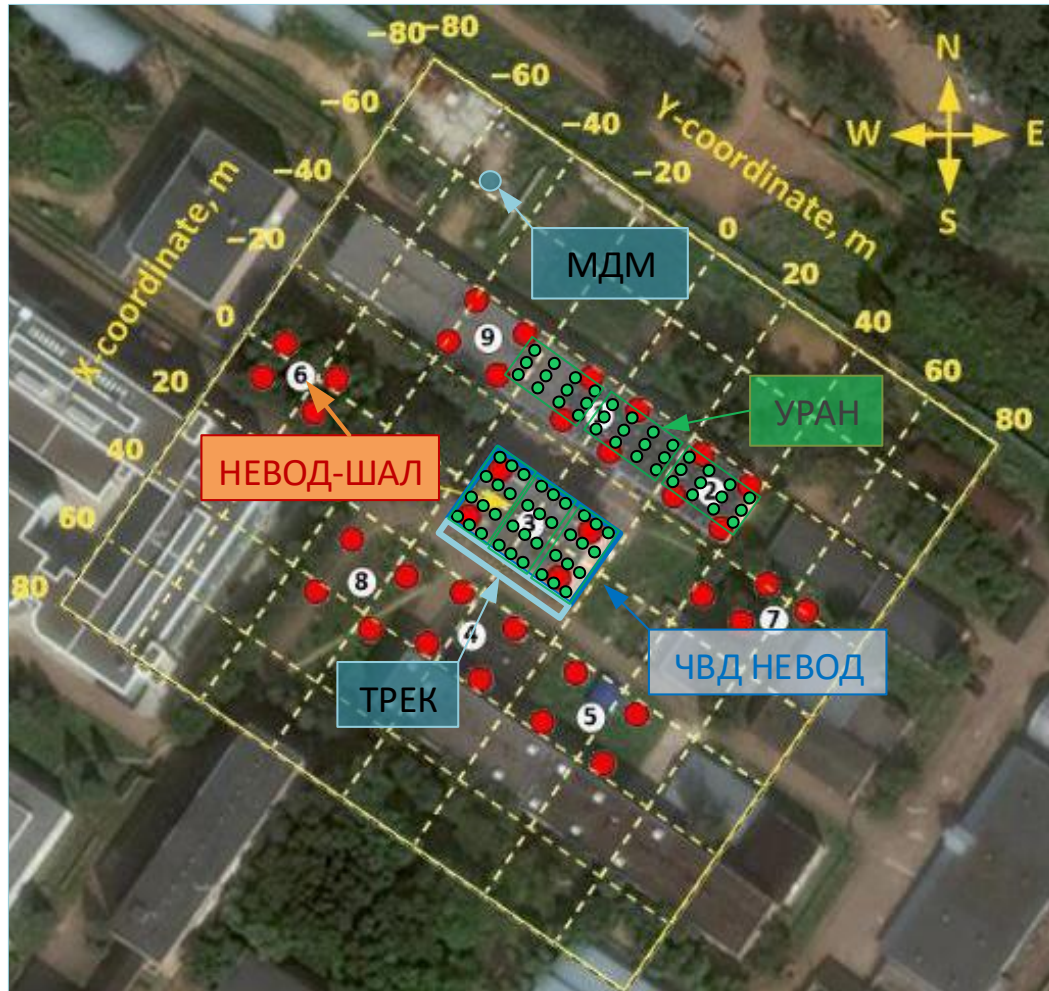
Поперечное сечение дрейфовой камеры, подключение положительной и отрицательной полярности и принцип работы дрейфовой камеры

- – полеформирующие проволоки,
- – сигнальные,
- – катодные,
- – охранные.

Характеристики дрейфовых камер:

- Состав газовой смеси: $94\% \text{ Ar} + 6\% \text{ CO}_2$
- Координатная точность $\approx 1 \text{ мм}$
- Угловая точность $\approx 1.5^\circ$
- Разделение двух треков $\approx 3 \text{ мм}$
- Время дрейфа электронов до 6 мкс
- Скорость дрейфа $\approx 0.045 \text{ мм/нс}$

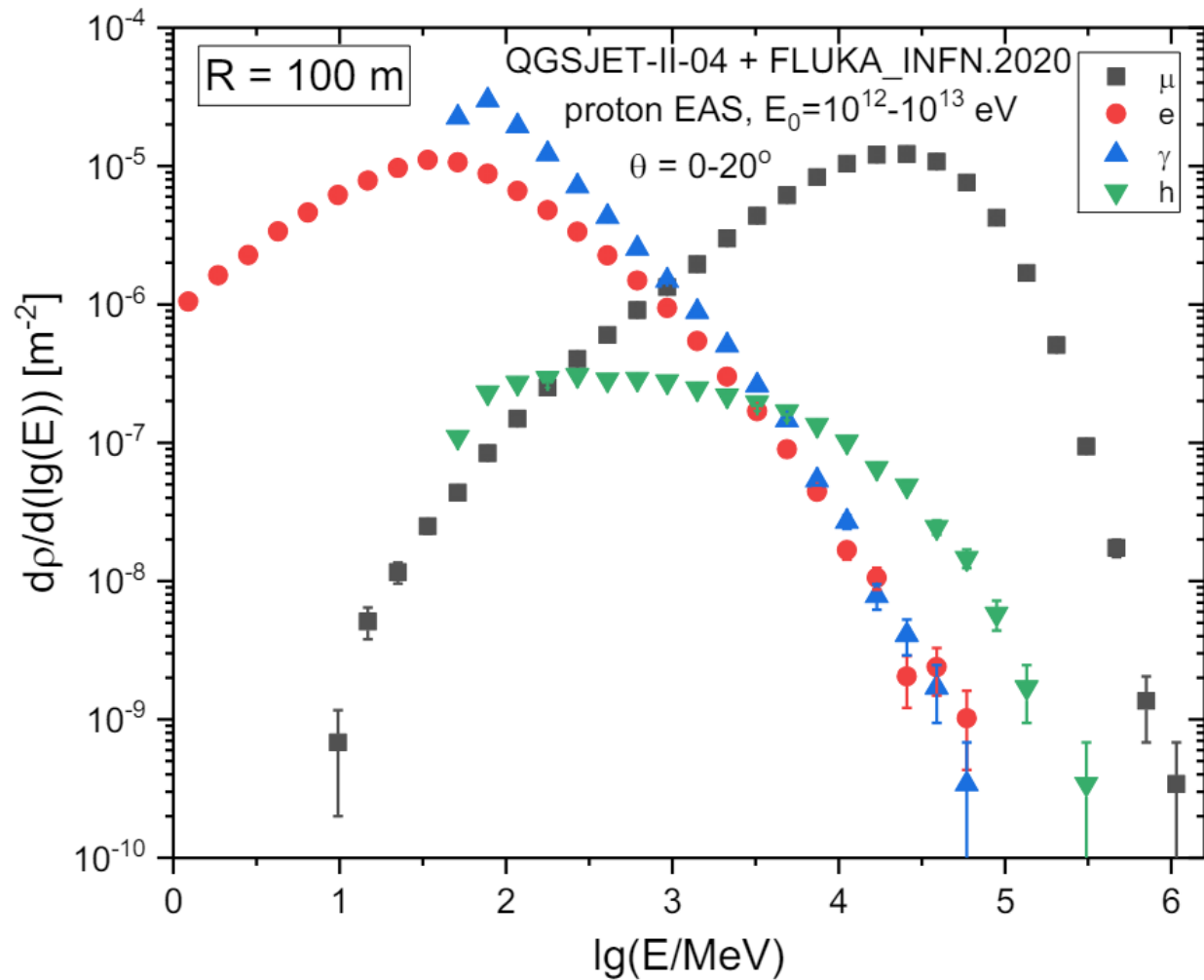
Расположение детектора



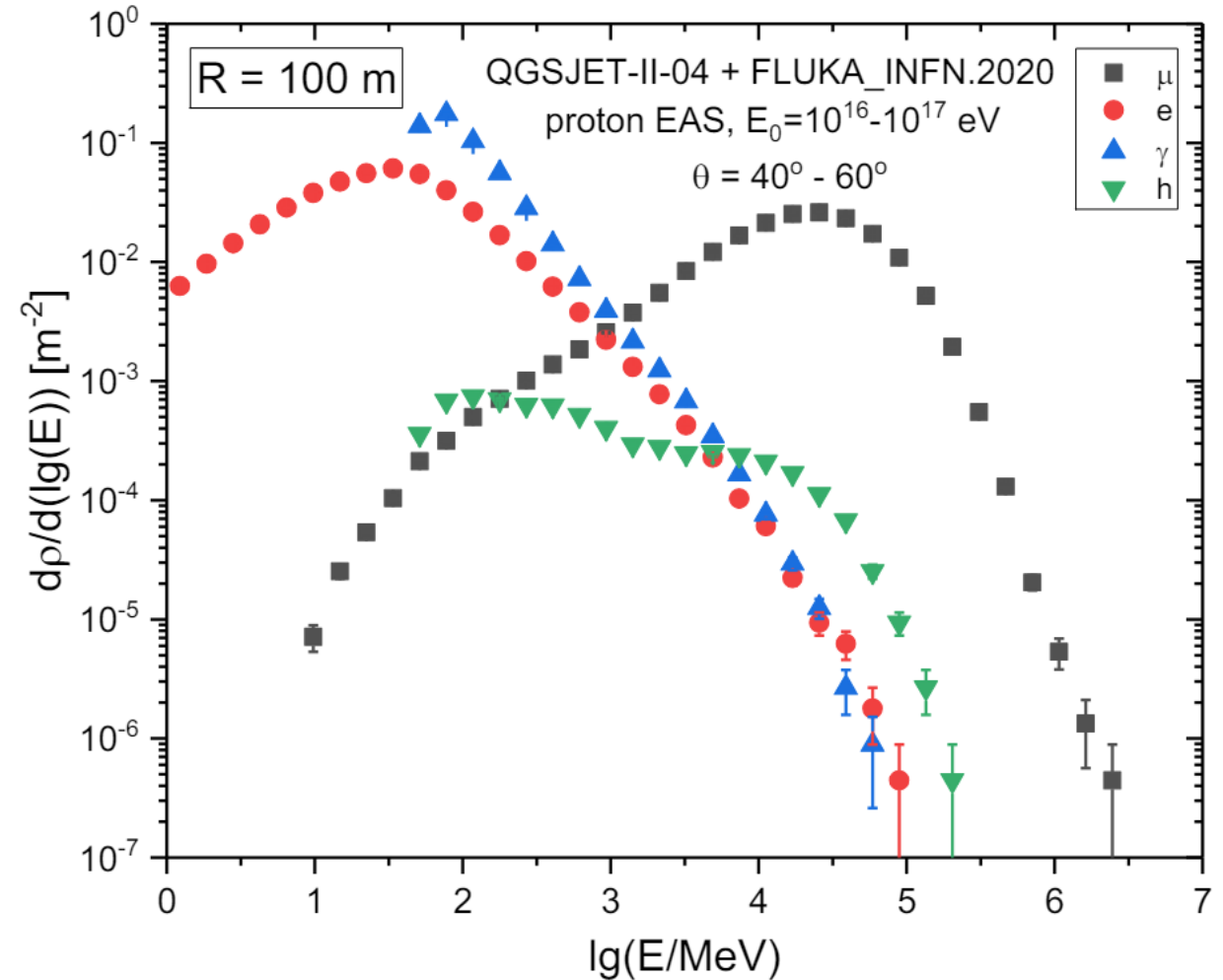
Детекторы Экспериментального Комплекса НЕВОД:

- **ТРЕК:** исследование околоразностной мюонной компоненты ШАЛ
- **МДМ:** исследование околоразностной мюонной компоненты ШАЛ
- **ЧВД НЕВОД:** черенковский водный детектор объемом 2000 м^3
- **НЕВОД-ШАЛ:** исследование электронно-фотонной компоненты ШАЛ
- **УРАН:** исследование нейтронной компоненты ШАЛ

Моделирование ШАЛ

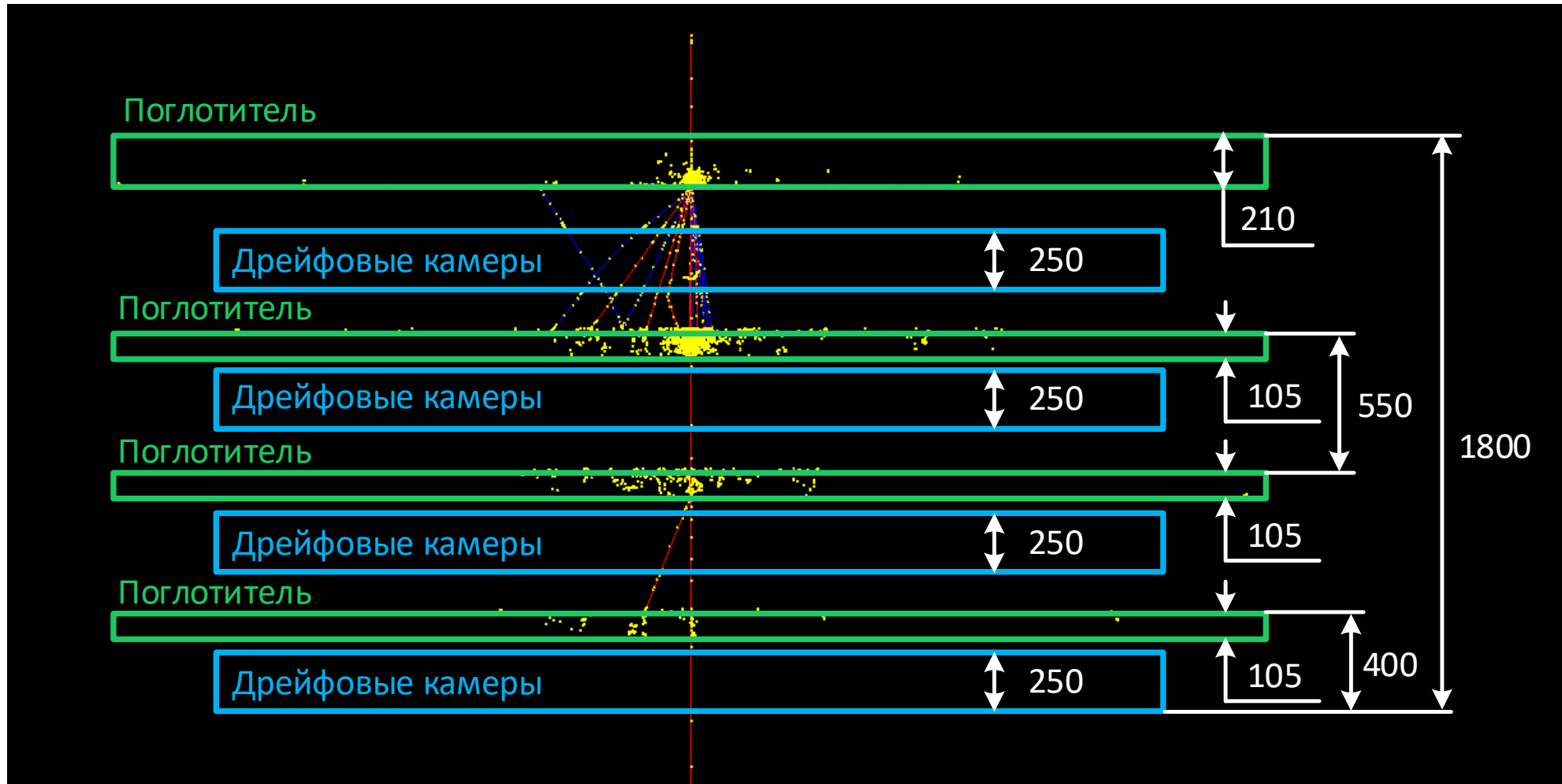


Зависимость плотности частиц в ШАЛ от энергии частиц на расстоянии 100 м от оси ШАЛ от первичного протона с энергией 1-10 ТэВ



Зависимость плотности частиц в ШАЛ от энергии частиц на расстоянии 100 м от оси ШАЛ от первичного протона с энергией 10-100 ПэВ

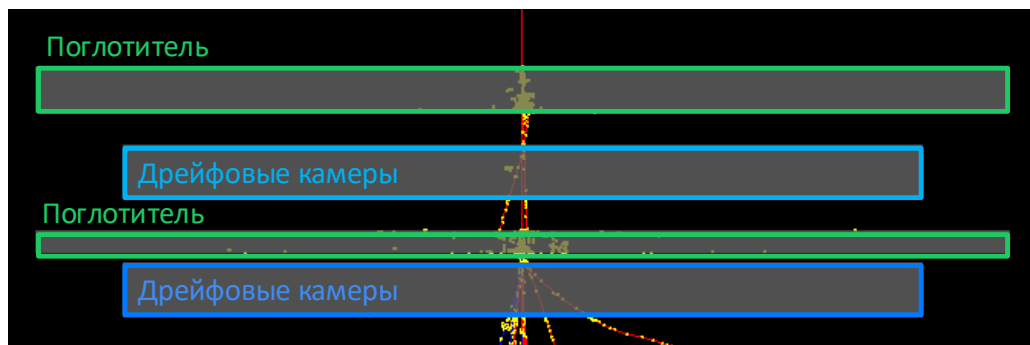
Модель детектора в программном пакете Geant4



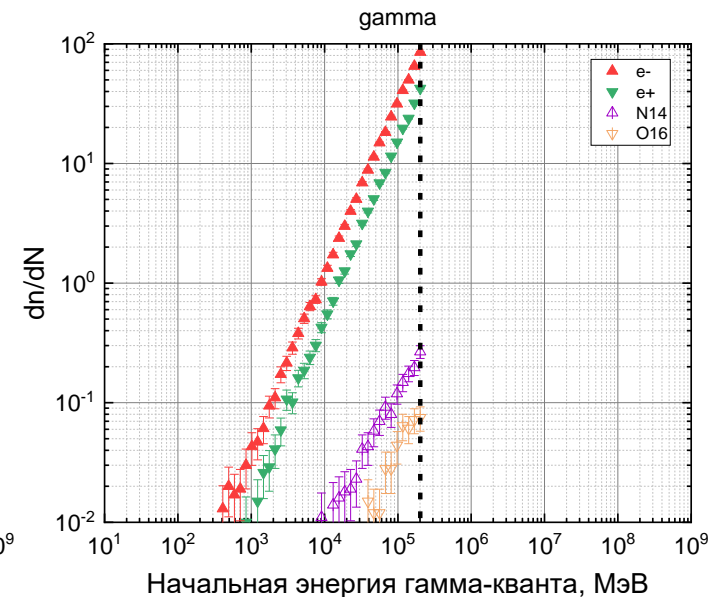
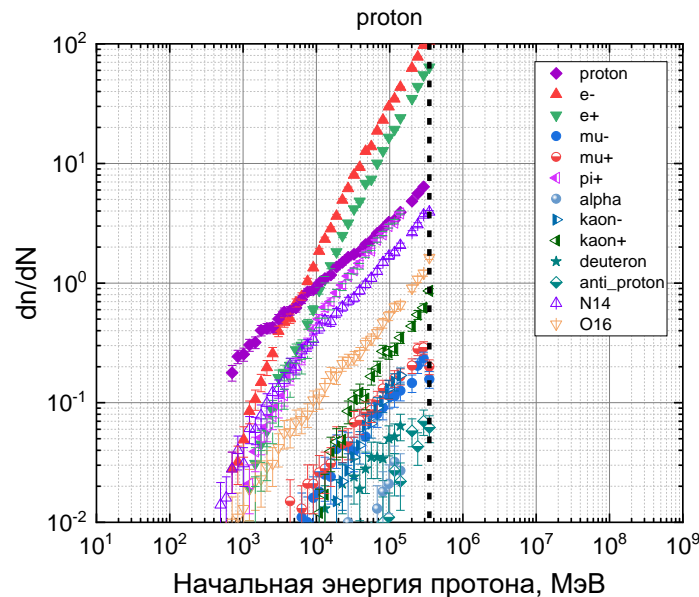
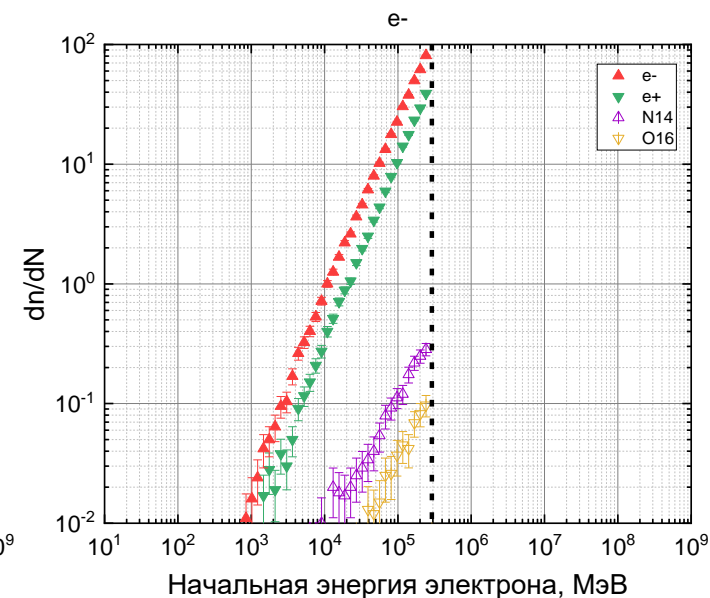
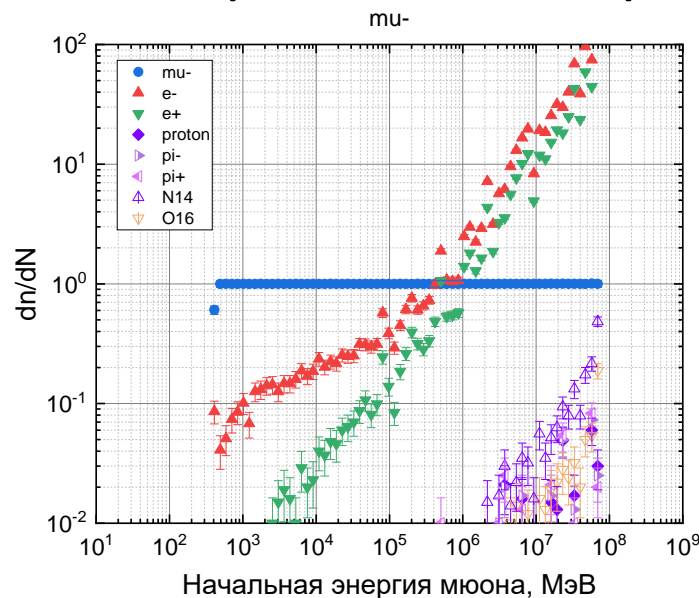
Модель детектора МДМ в Geant4 с характерными размерами
и прохождение мюона с энергией в 1 ТэВ

Энергетические пределы и генерация вторичных частиц от поглотителя

Частица	Пороговая энергия, МэВ	Верхний предел регистрации, МэВ
Мюон	340 ± 30 (теория 360)	$(6.9 \pm 0.5) \cdot 10^7$
Электрон	790 ± 20	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^5$
Гамма-кванта	660 ± 20	$(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^5$
Протон	240 ± 20	$(3.5 \pm 0.9) \cdot 10^5$

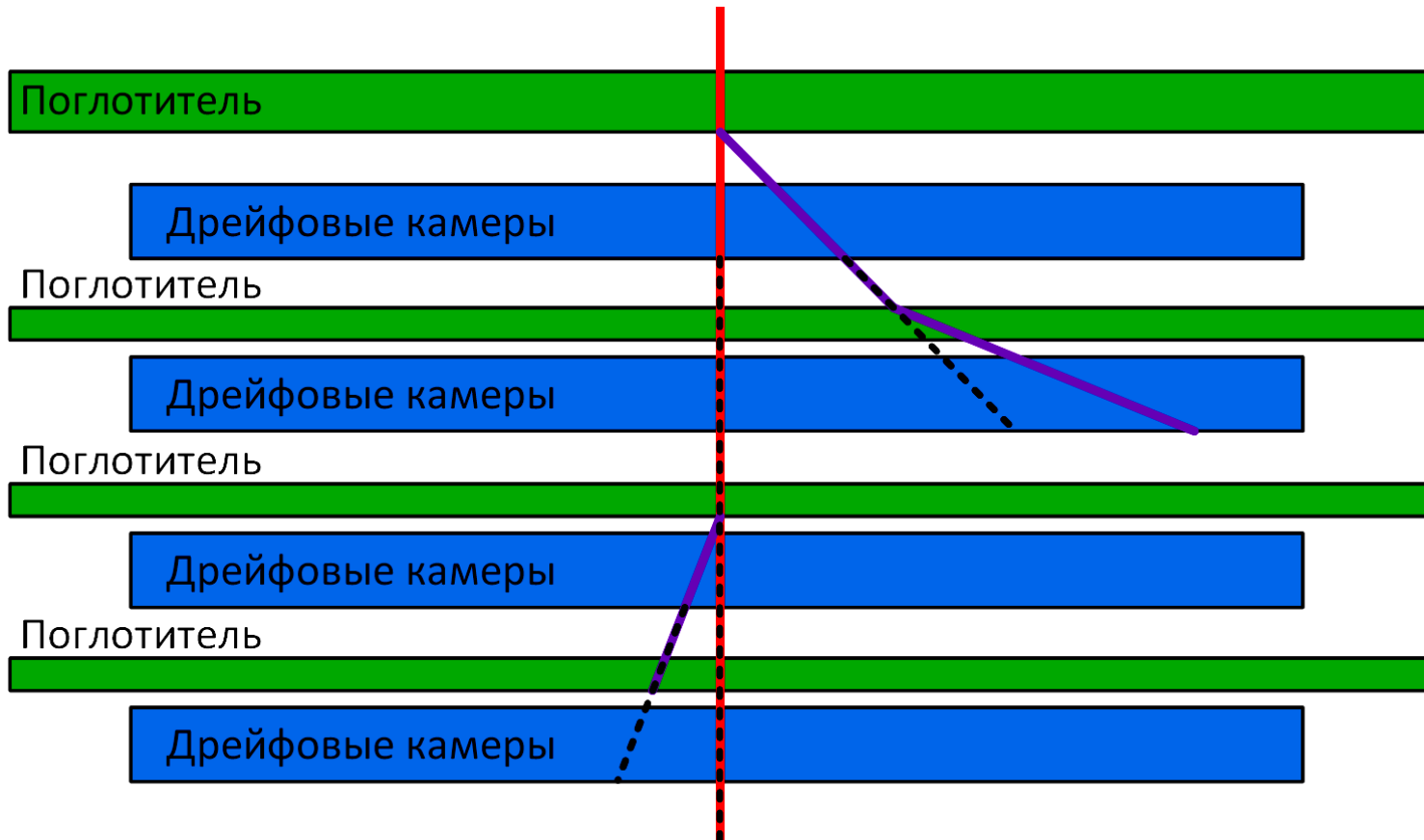


Модель детектора МДМ с двумя слоями поглотителя при прохождении мюона с энергией в 1 ТэВ



Зависимость числа заряженных частиц (dn) прошедших через дрейфовые камеры нормированных на начальное число частиц (dN) от энергии начальной частицы

Реконструкция и анализ



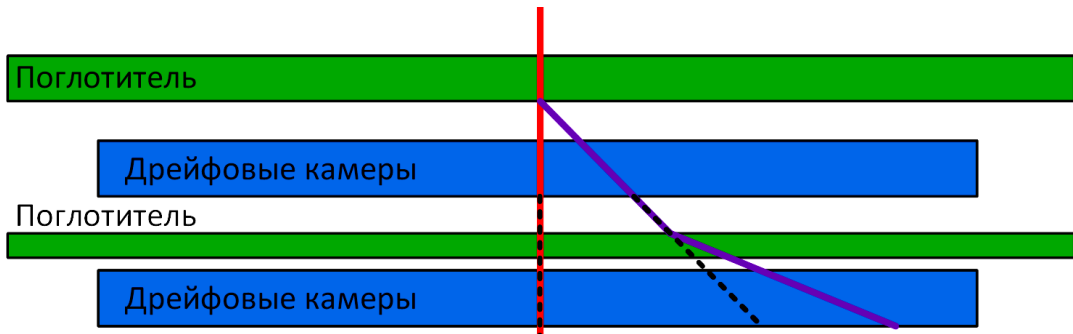
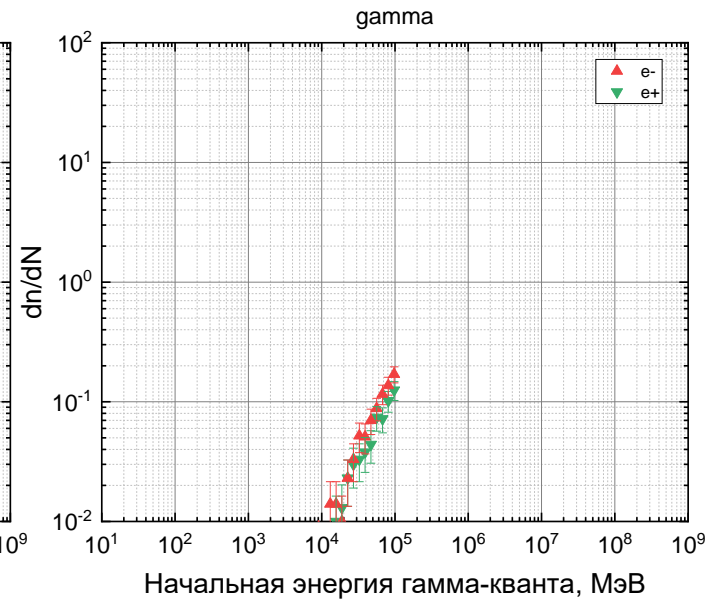
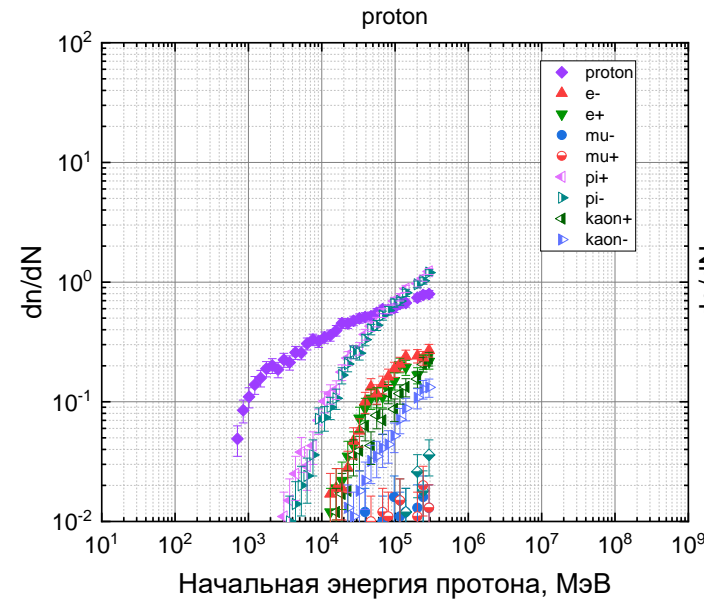
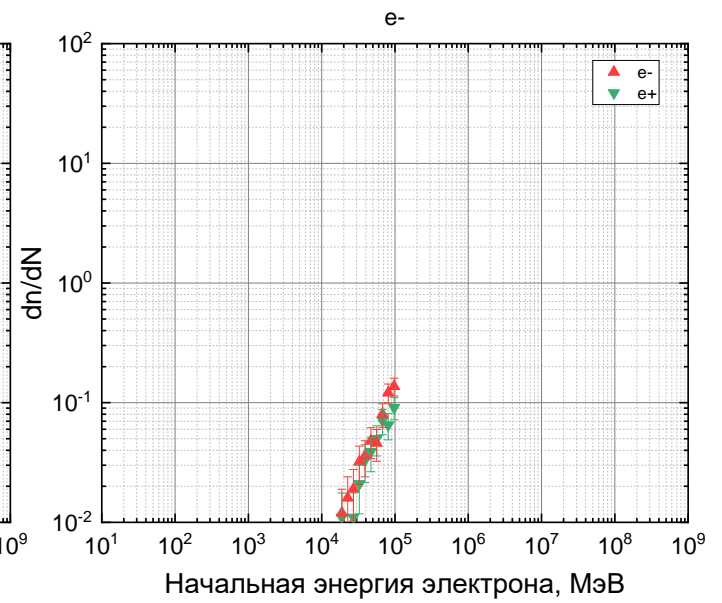
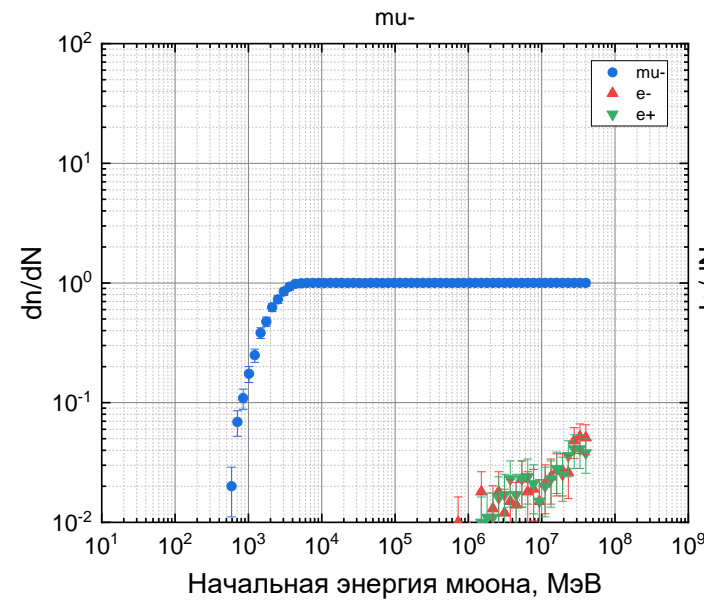
Реконструкция события, красный трек – мюон,
фиолетовый трек – не мюон.

Критерии отбора:

- Частица прошла через все плоскости
- Разница по зенитному углу не **более 5°**
- Разница координате не **более 5 мм**
- Между треками **больше 3 мм**
- В событии не более **200 частиц**

Реконструкция треков, две плоскости

Частица	Пороговая энергия, МэВ	Верхний предел регистрации, МэВ
Мюон	340 ± 30 (теория 360)	$(6.9 \pm 0.5) \cdot 10^7$
Электрон	790 ± 20	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^5$
Фотон	660 ± 20	$(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^5$
Протон	240 ± 20	$(3.5 \pm 0.9) \cdot 10^5$

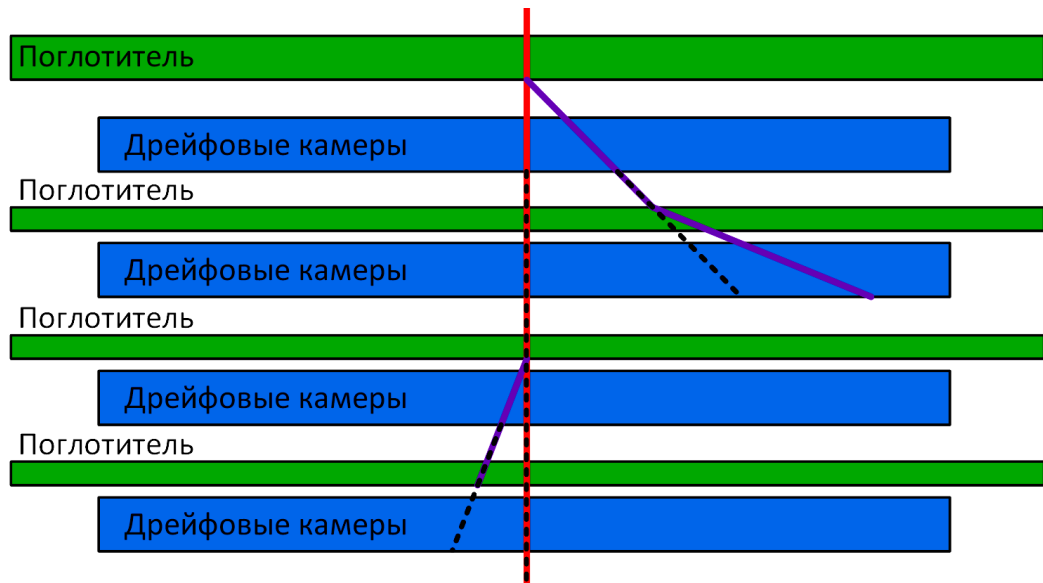


Модель детектора МДМ с двумя слоями поглотителя при прохождении мюона с энергией в 5 ТэВ

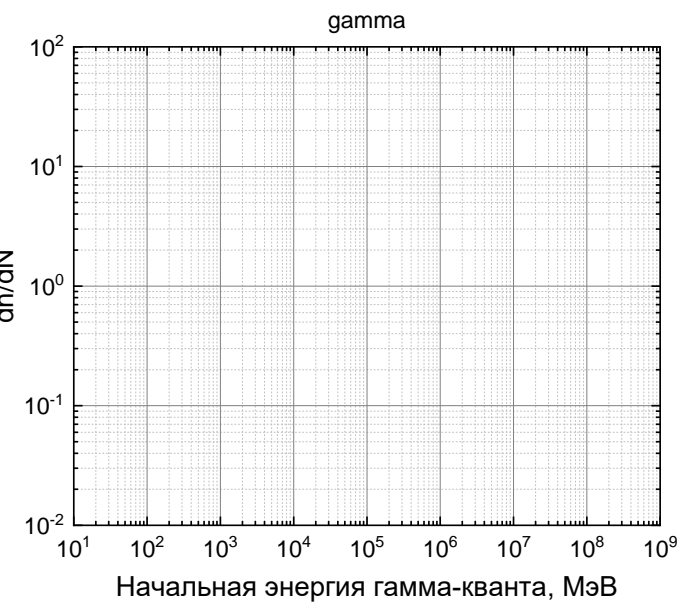
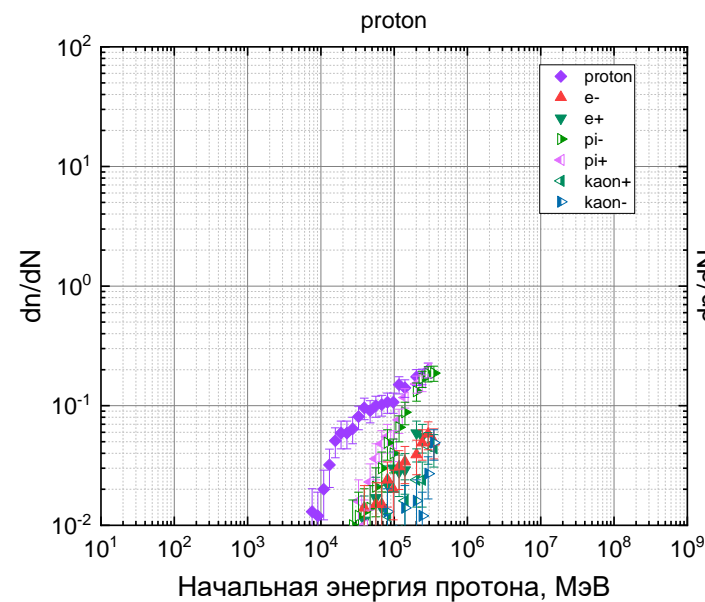
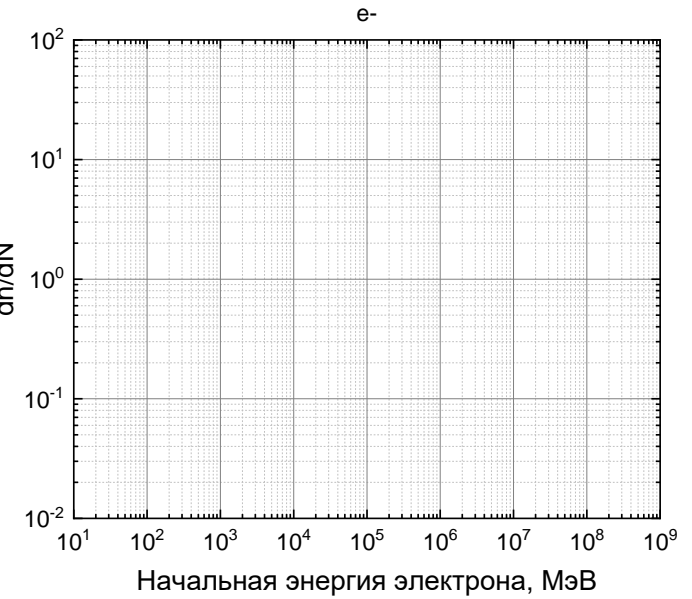
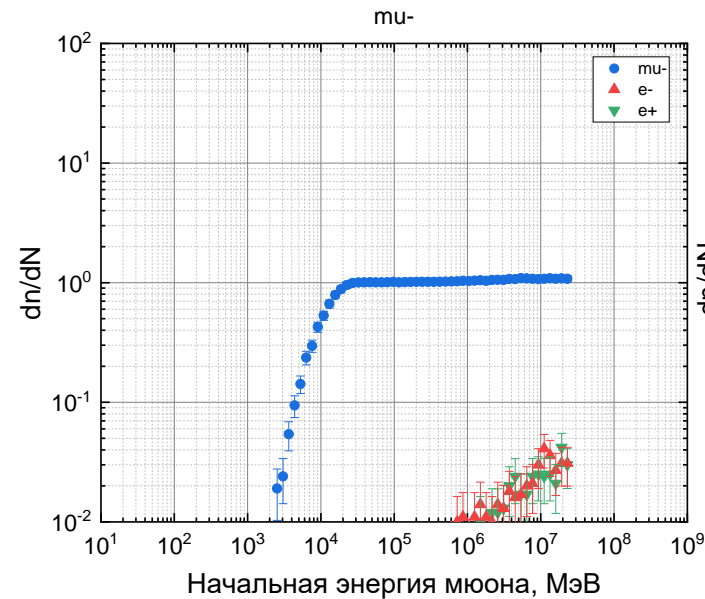
Зависимость числа реконструированных частиц (n) в дрейфовых камерах нормированных на начальное число частиц (N) от энергии начальной частицы

Реконструкция треков, четыре плоскости

Частица	Пороговая энергия, МэВ	Верхний предел регистрации, МэВ
Мюон	590 ± 60 (расчетное 602)	$(6.9 \pm 0.5) \cdot 10^7$
Электрон	$(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^5$
Гамма-кванта	$(0.9 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^5$
Протон	590 ± 60	$(3.5 \pm 0.9) \cdot 10^5$

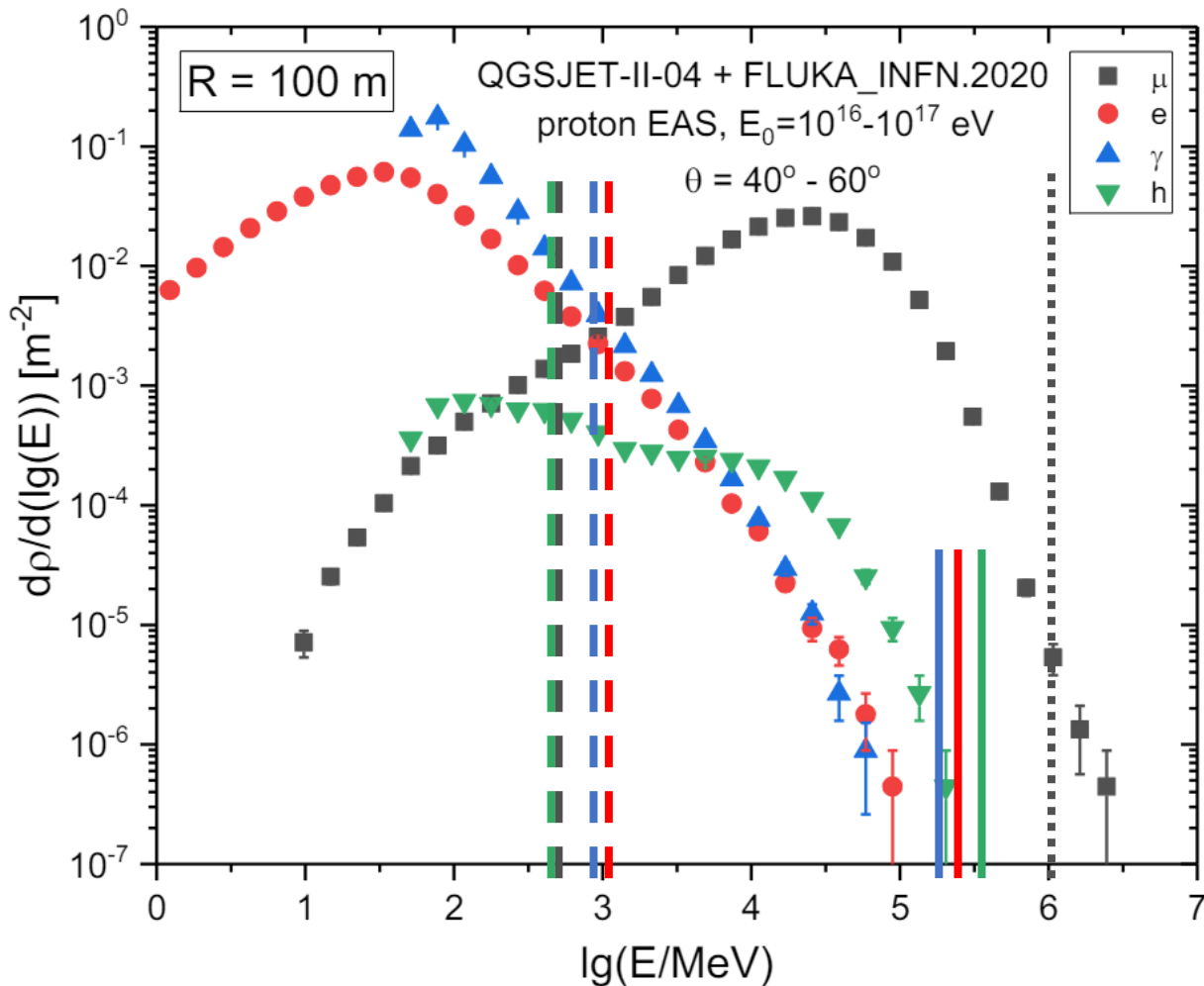


Модель детектора МДМ с четырьмя слоями поглотителя при прохождении мюона с энергией в 5 ТэВ



Зависимость числа реконструированных частиц (n) в дрейфовых камерах нормированных на начальное число частиц (N) от энергии начальной частицы

Анализ результатов



Частица	Пороговая энергия, МэВ	Верхний предел регистрации, МэВ
Мюон	$(0.59 \pm 0.06) \cdot 10^3$	$(6.9 \pm 0.5) \cdot 10^7$
Электрон	$(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^5$
Гамма-кванта	$(0.9 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^5$
Протон	$(0.59 \pm 0.06) \cdot 10^3$	$(3.5 \pm 0.9) \cdot 10^5$

Зависимость плотности частиц в ШАЛ от энергии частиц на расстоянии 100 м от оси ШАЛ от первичного протона энергии 10-100 ПэВ

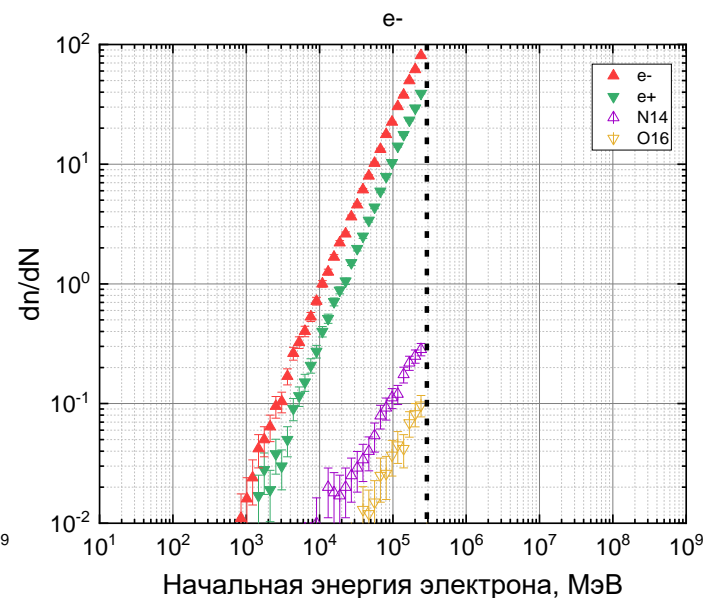
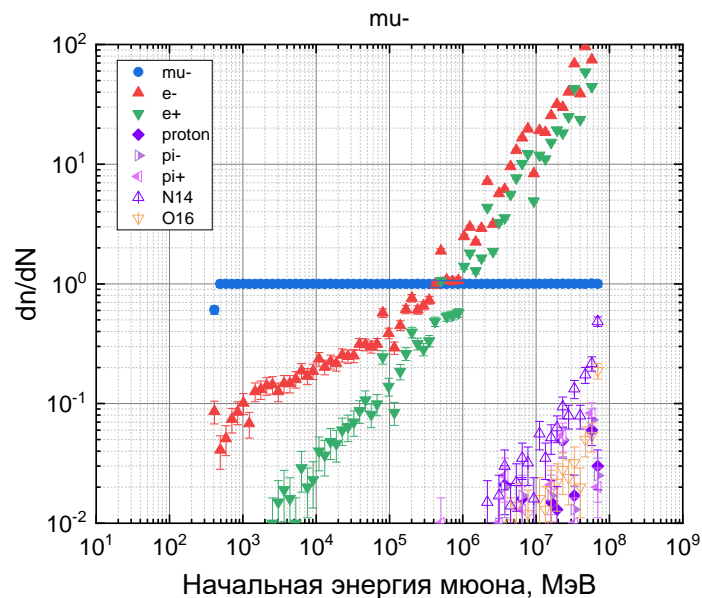
Заключение

- Многоцелевой Детектор Мюонов (МДМ) впервые позволит исследовать околортикальные ШАЛ с использованием метода спектров локальной плотности мюонов (СЛПМ).
- Конструкция детектора позволит изучать как мюонную компоненту ШАЛ, так и одиночные мюоны с энергией от 600 МэВ до 20 ТэВ.
- Результаты моделирования регистрации и реконструкции одиночных мюонов в МДМ показали, что применение стального поглотителя позволит отсеивать вторичные частицы и уменьшить поток электронов, гамма-квантов и других частиц ШАЛ более чем в 100 раз.

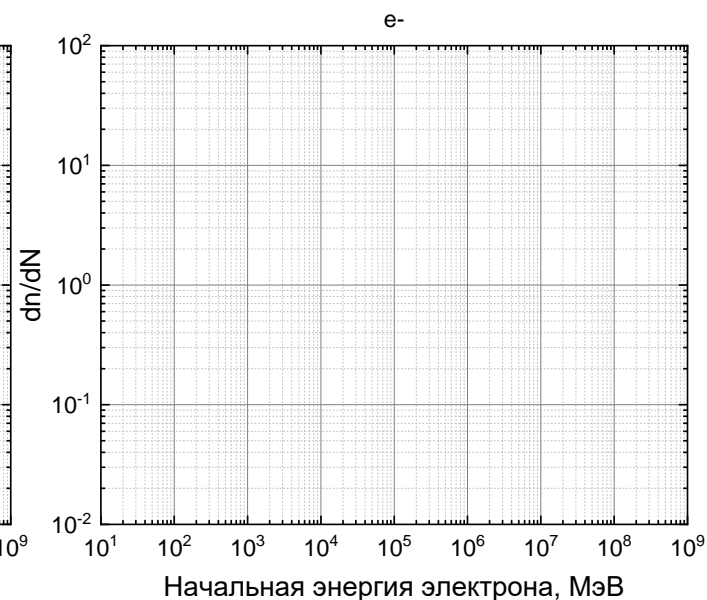
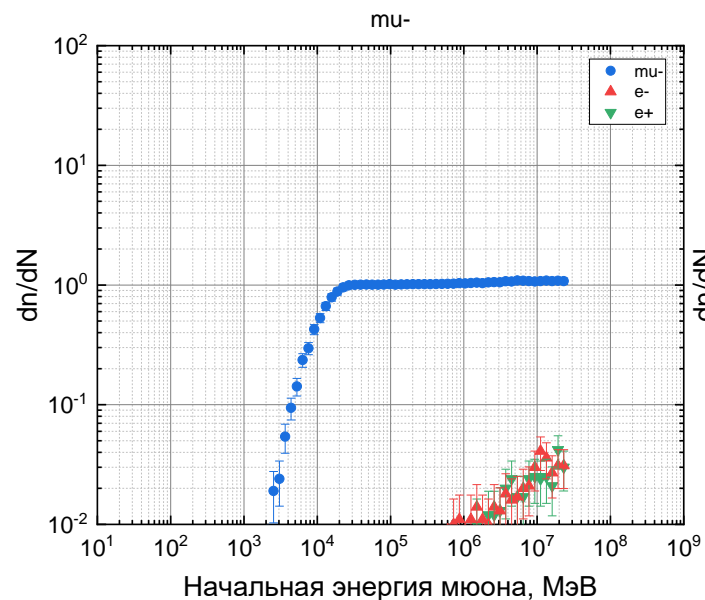
Спасибо за внимание

Докладчик : Трошин Иван Юрьевич
Почта: ITroshin@mephi.ru

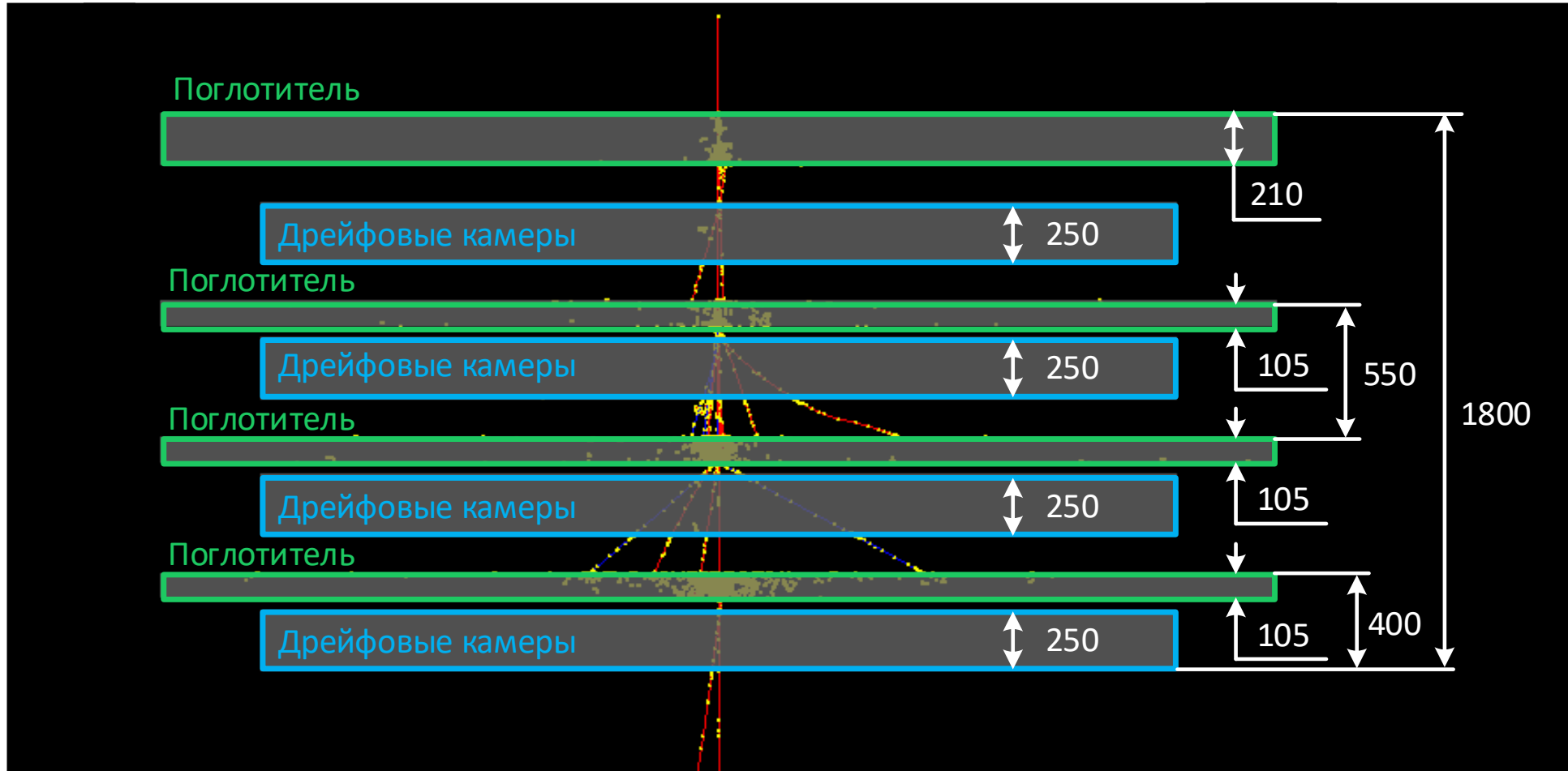
Регистрация заряженных частиц в дрейфовых камерах



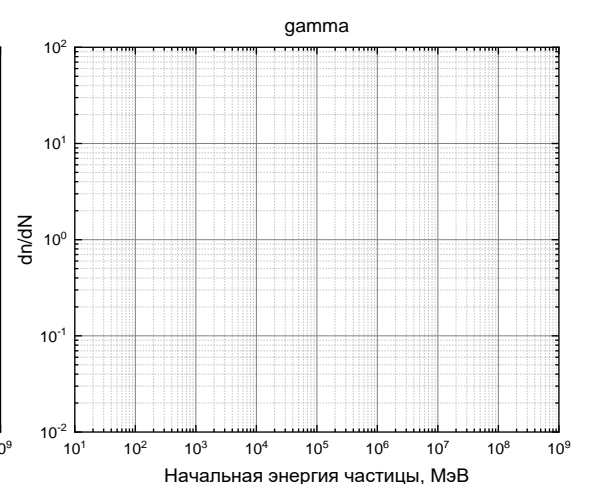
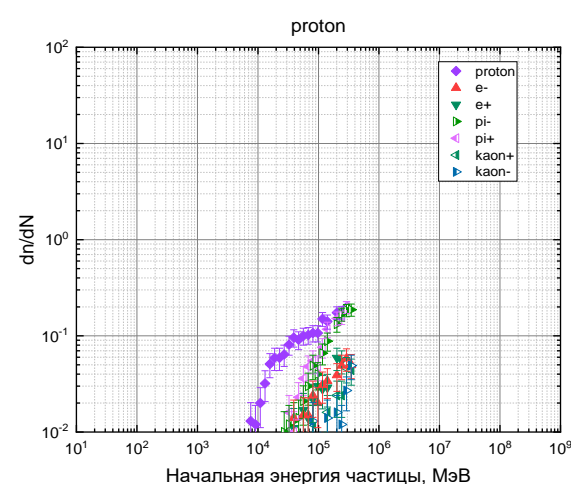
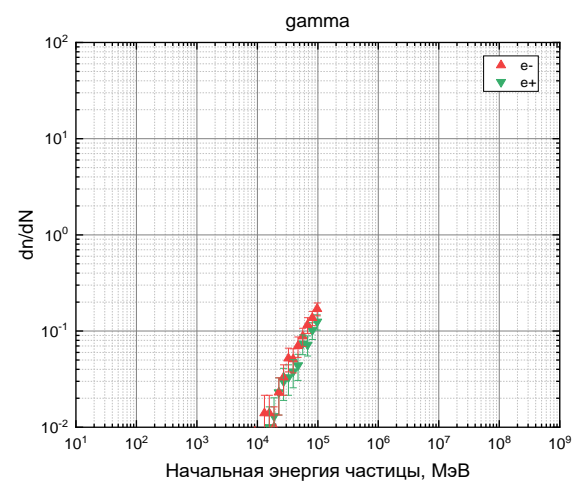
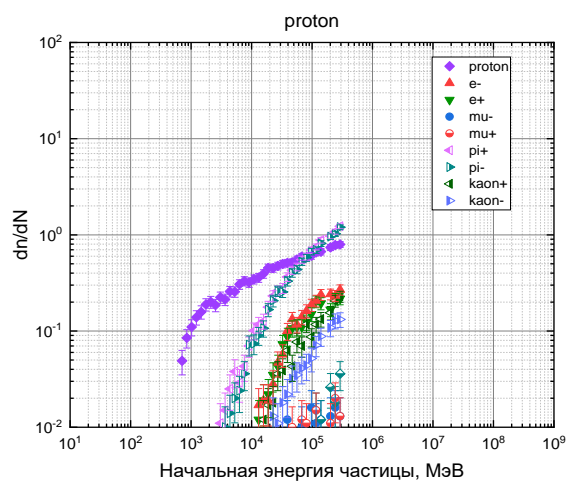
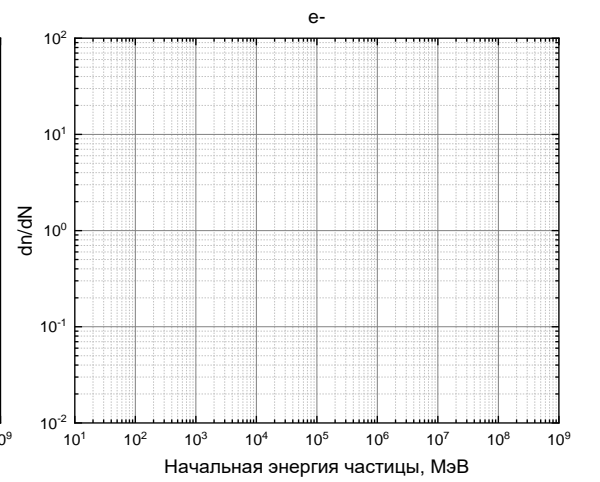
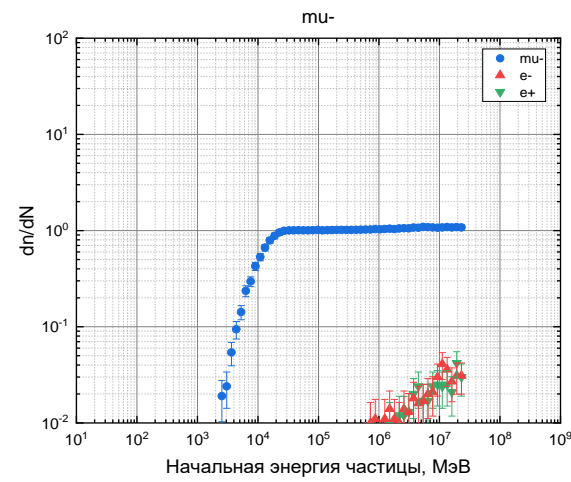
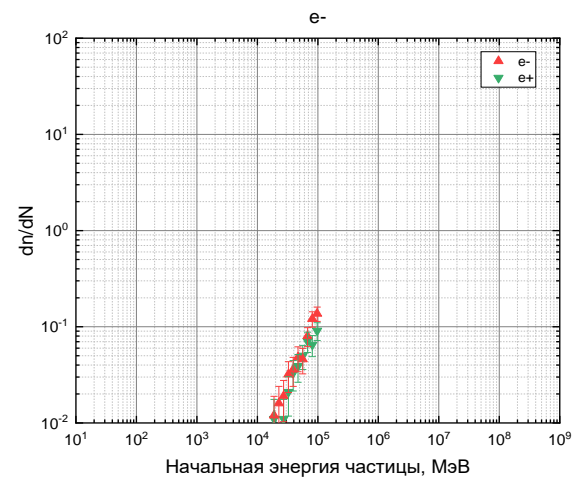
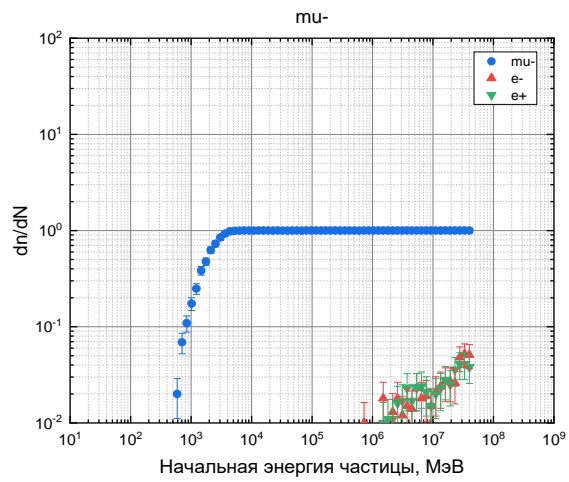
Реконструкция заряженных частиц в дрейфовых камерах



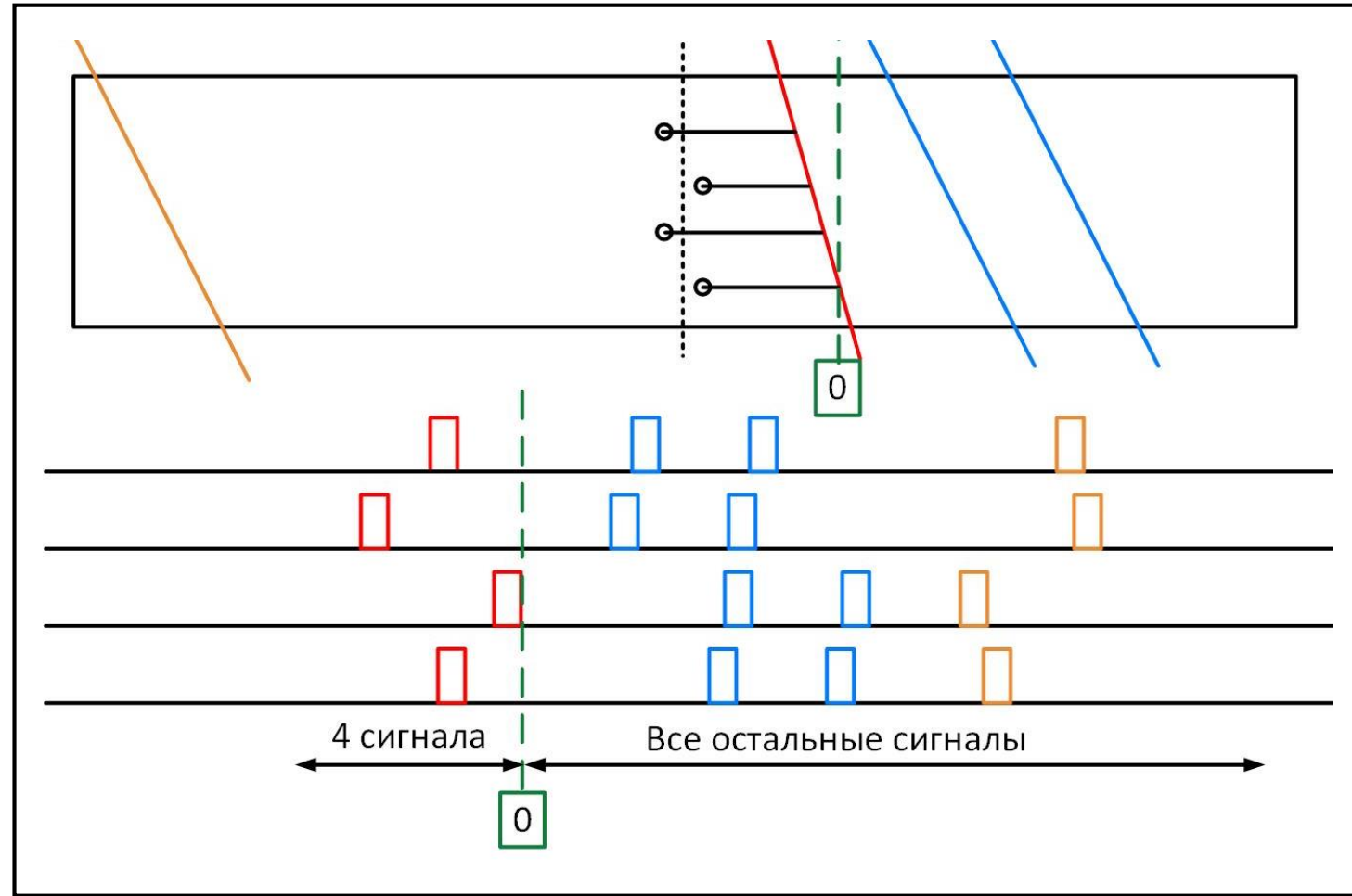
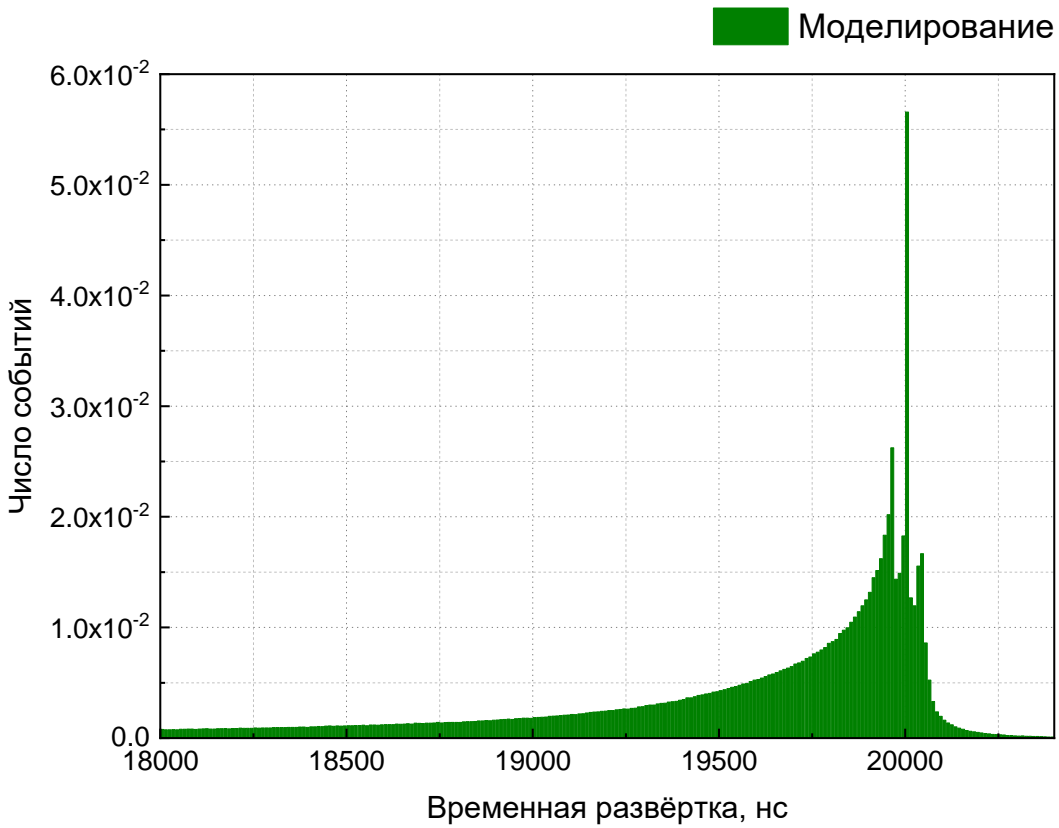
Модель детектора в программном пакете Geant4



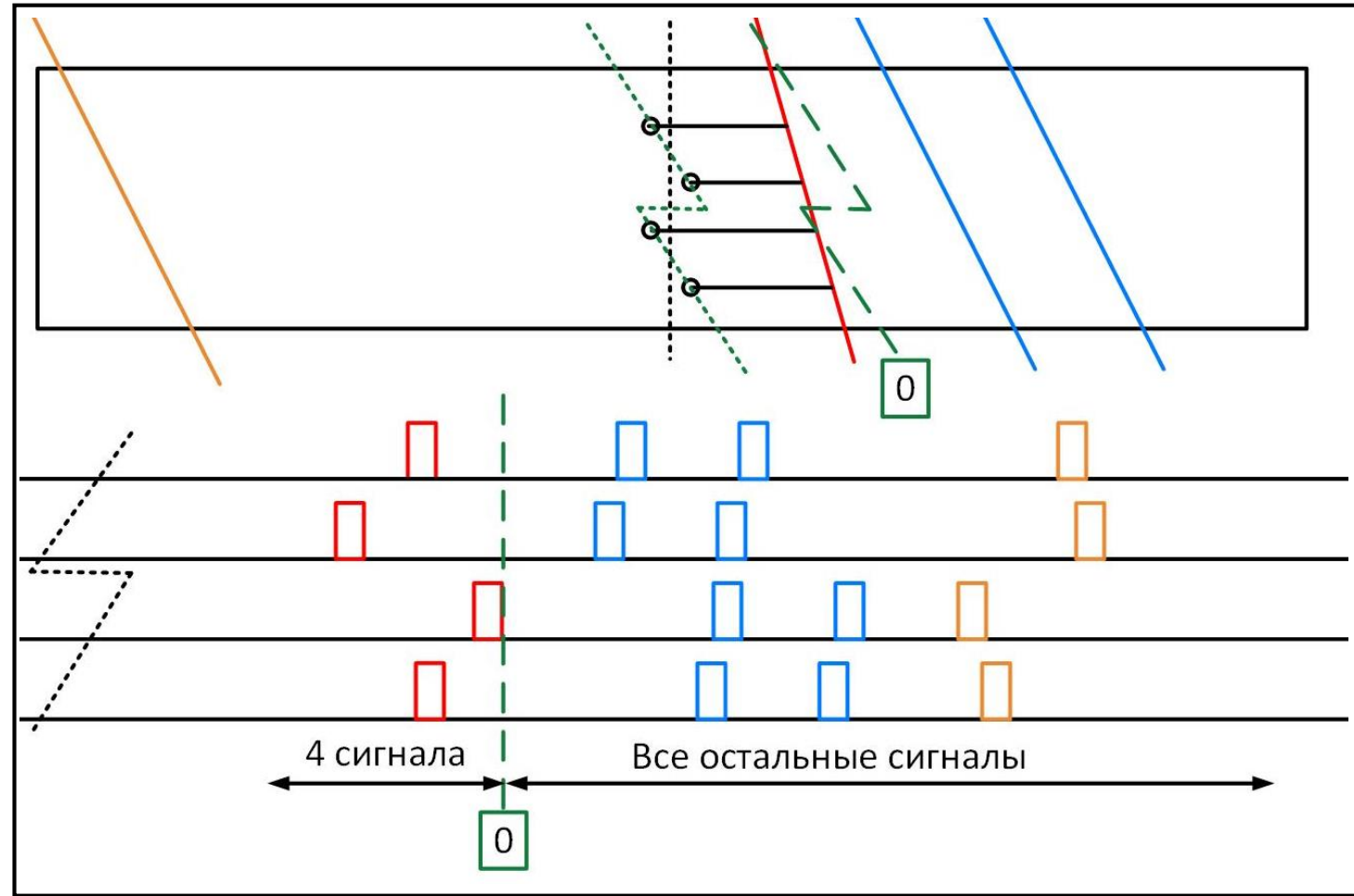
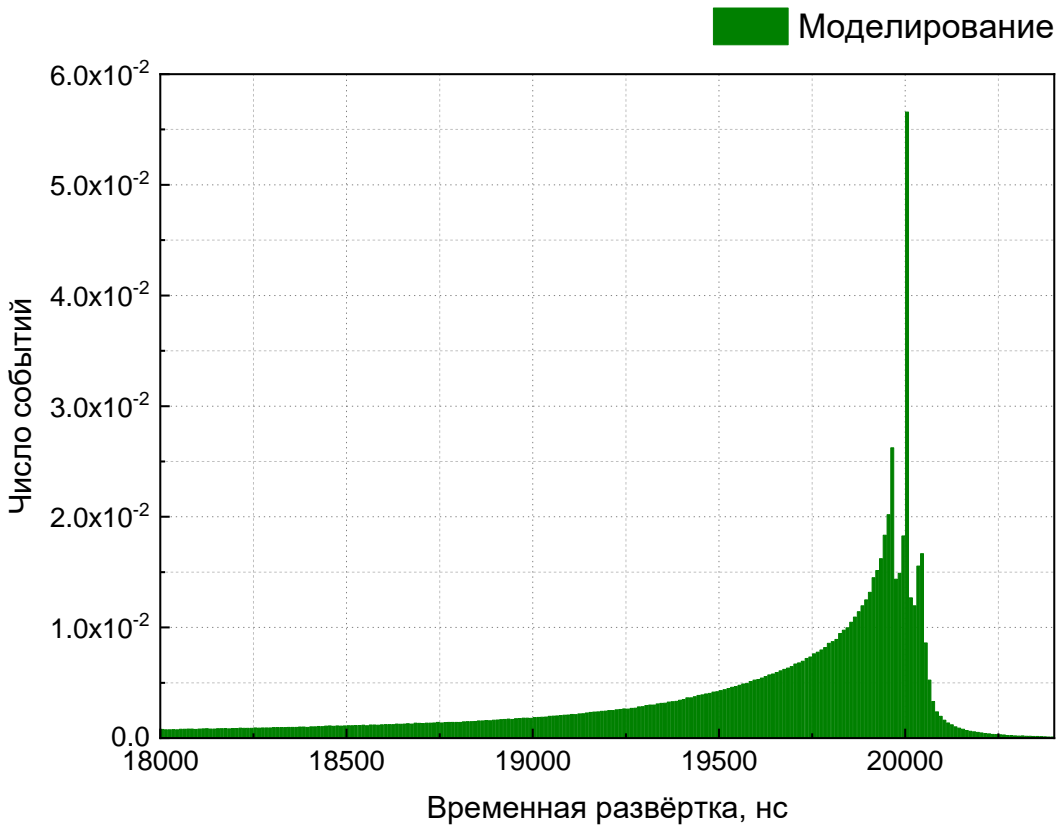
Модель детектора МДМ в Geant4 с характерными размерами
и прохождение мюона с энергией в 1 ТэВ



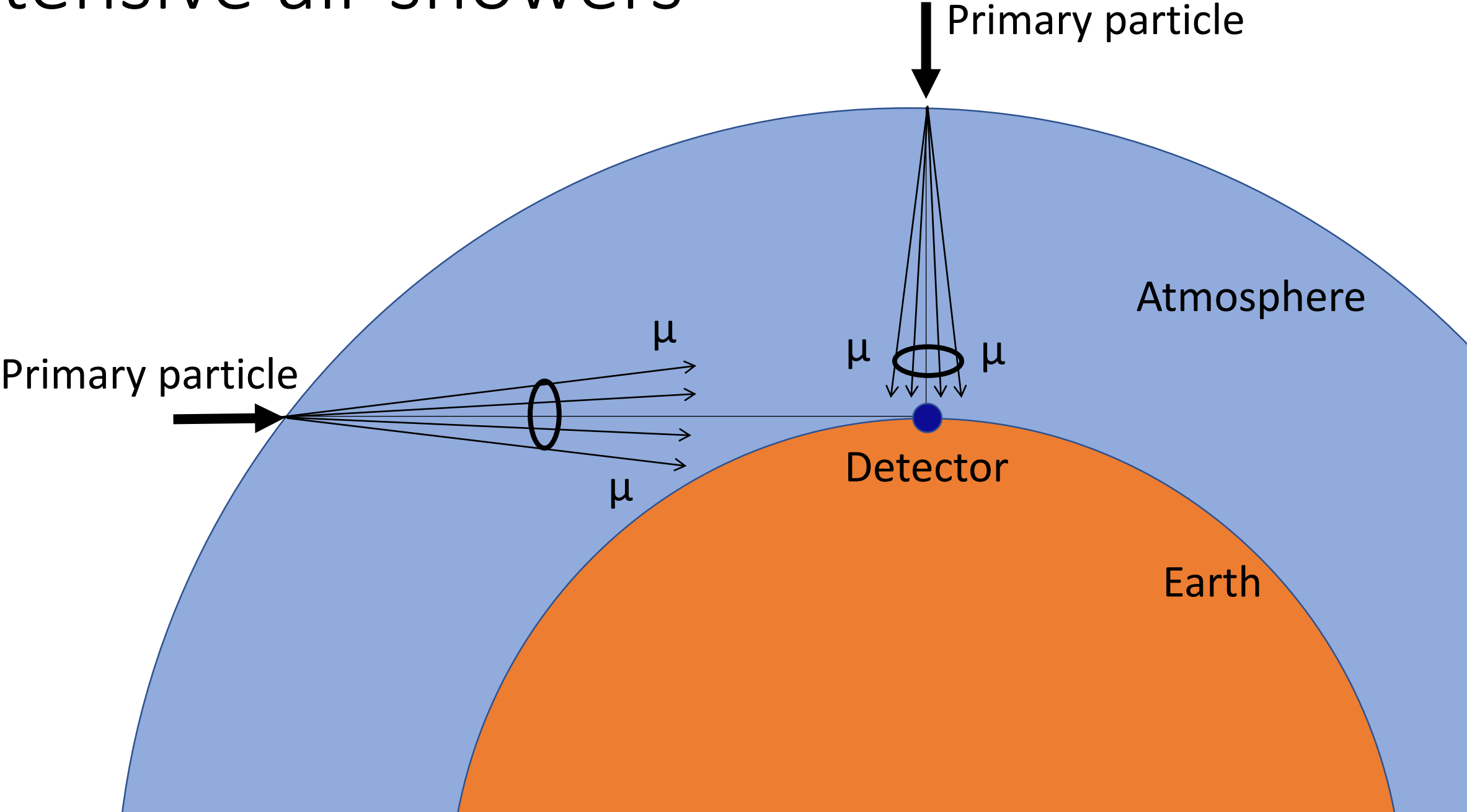
Принцип работы бестриггерного режима в ДК



Принцип работы бестриггерного режима в ДК



Extensive air showers



Расчёт поглощения

Fe

$$E_{\text{крит}}^{\mu} = 347 \text{ ГэВ}$$

$$E_{\text{крит}}^e = 21,68 \text{ МэВ}$$

$$E_{\text{ион}} = 1.451 \text{ ГэВ} \cdot \frac{\text{см}^2}{\text{г}}$$

$$\rho_{\text{Fe}} = 7.9 \cdot \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

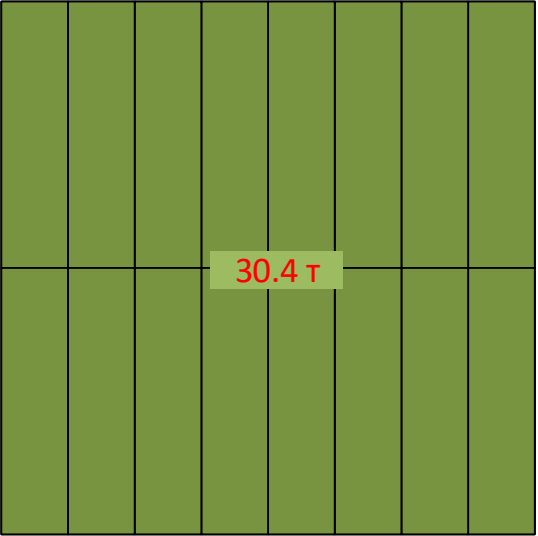
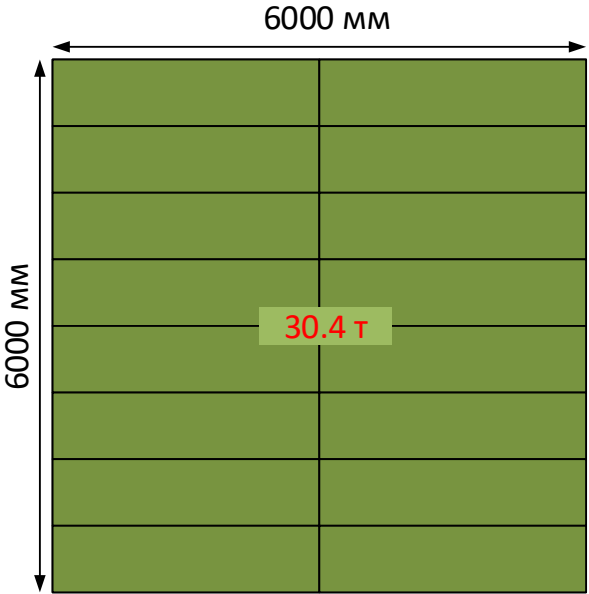
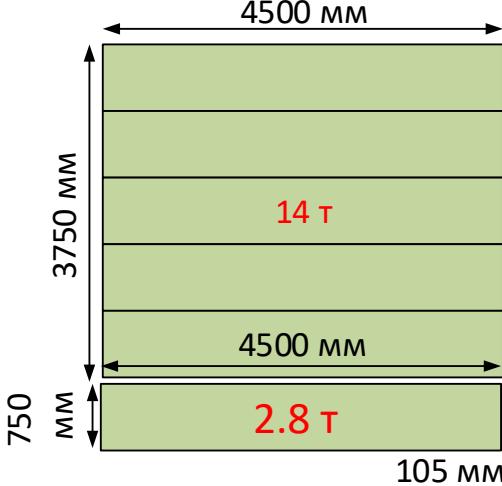
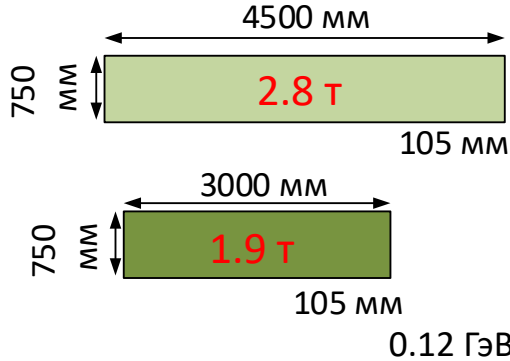
$$E_{\text{ион}} \cdot \rho_{\text{Fe}} \cdot (3 \cdot 105 \text{ мм}) = 0.36 \text{ ГэВ}$$

$$E_{\text{ион}} \cdot \rho_{\text{Fe}} \cdot (5 \cdot 105 \text{ мм}) = 0.60 \text{ ГэВ}$$

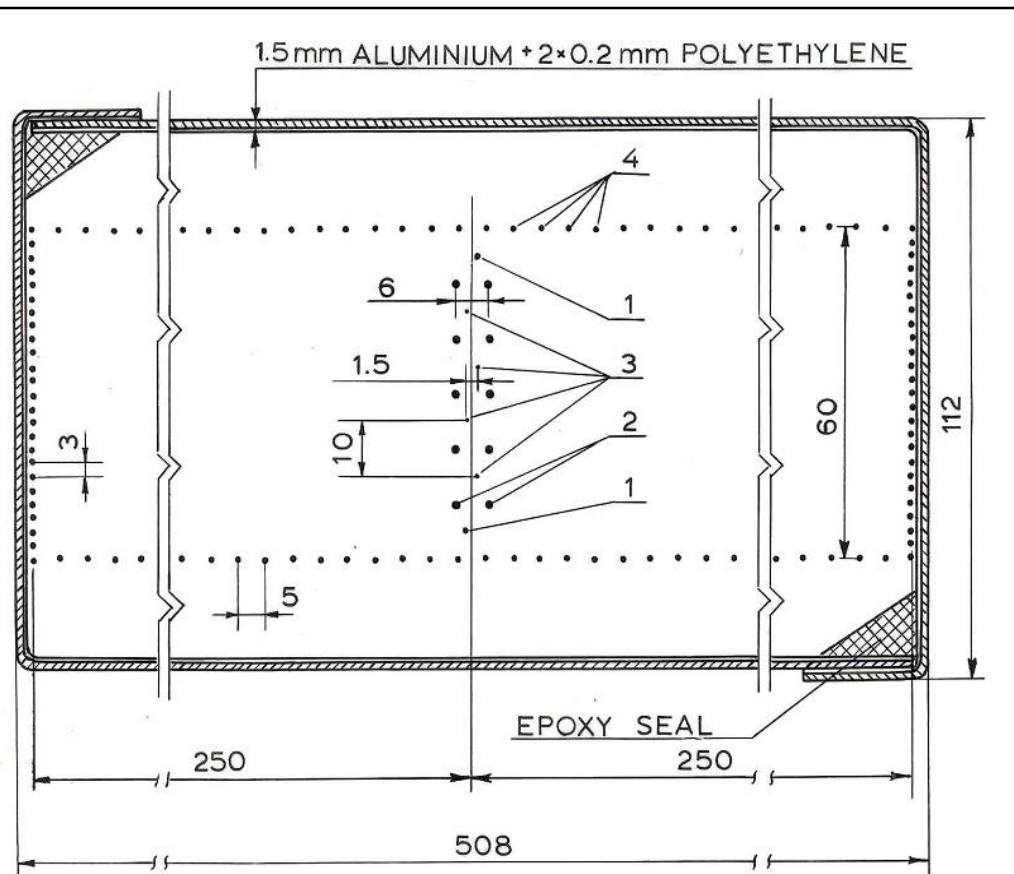
Стальные пластины из ИФВЭ

Два типа пластин:

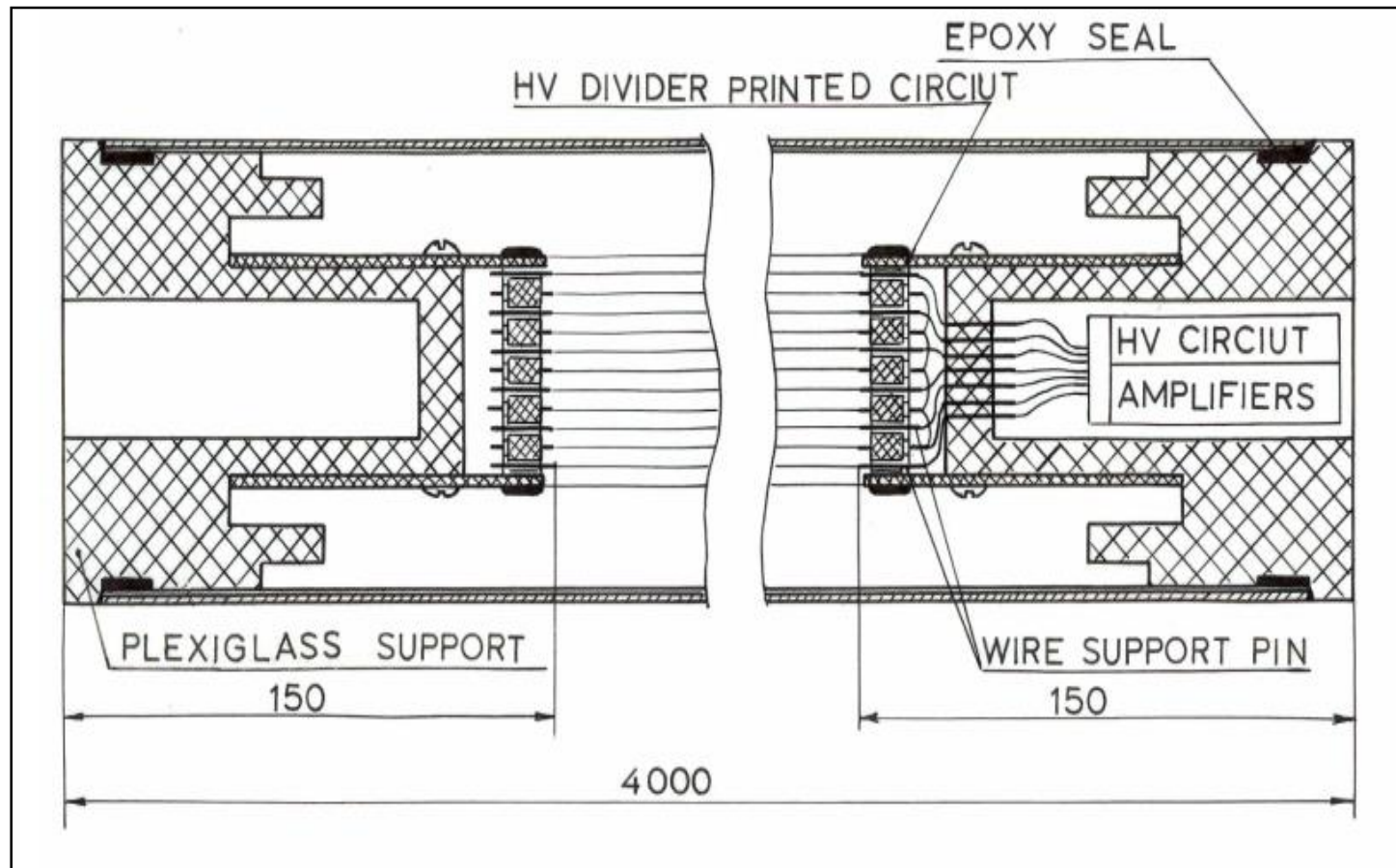
- 4500 на 750 на 105 мм³
- 3000 на 750 на 105 мм³



Дрейфовая камера ИФВЭ



Поперечное сечение дрейфовой камеры



Продольное сечение дрейфовой камеры

Моделированные ШАЛ

