

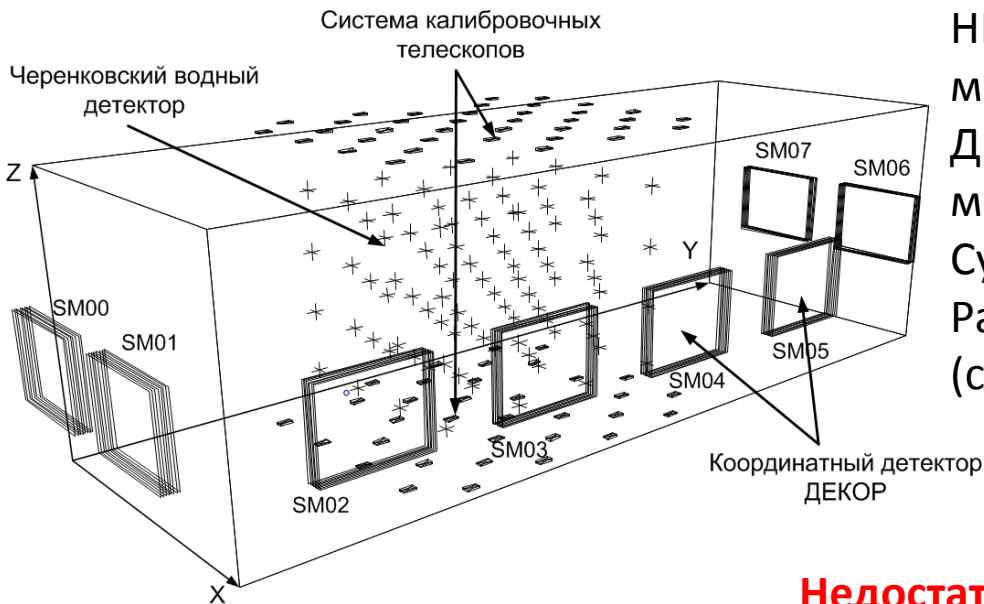
37 Всероссийская конференция по космическим лучам

# Исследование многочастичных событий в космических лучах на прототипах координатно-трекового детектора ТРЕК

Докладчик: Воробьев В.С.  
VSVorobev@mephi.ru

27 июня – 2 июля 2022, МГУ

# Экспериментальный комплекс НЕВОД-ДЕКОР



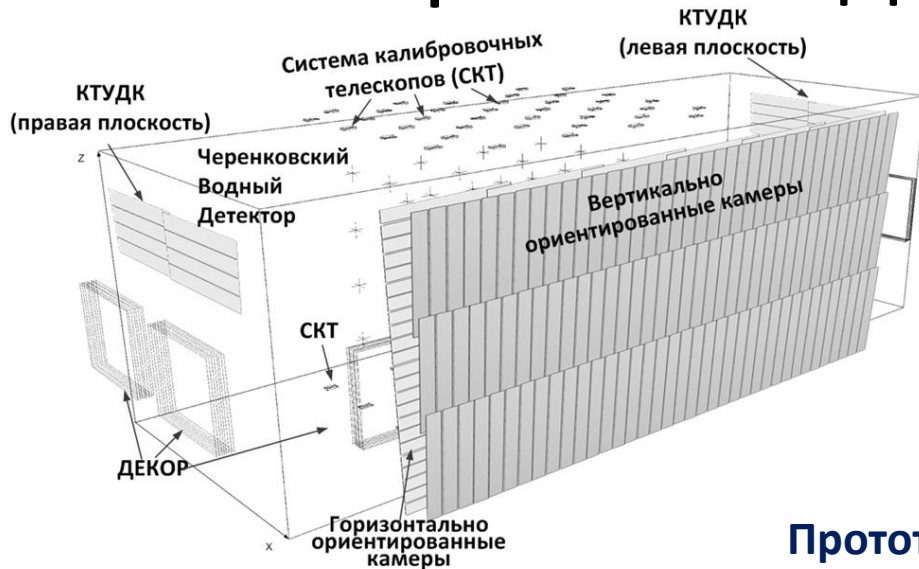
НЕВОД измеряет энерговыделение групп мюонов, а координатно-трековый детектор ДЕКОР – направление прилёта и плотность мюонов в группе.

Суммарная площадь ДЕКОР –  $(8.4 \times 8) \approx 70 \text{ м}^2$ .  
Разрешение соседних треков в ДЕКОР –  $3 \text{ см}$ .  
(сечение стримерных трубок  $1 \times 1 \text{ см}^2$ )

## Недостатки:

1. ДЕКОР не полностью перекрывает боковую поверхность НЕВОД – **погрешность в оценке плотности мюонов.**
2. Разрешение  $3 \text{ см}$  **ограничивает** изучение событий с высокой плотностью мюонов, и соответственно **продвижение в область выше  $3 \times 10^{18} \text{ эВ}$ .**

# Крупномасштабный координатно-трековый детектор ТРЕК



Непрерывный детектор на основе многопроводочных дрейфовых камер (ДК). Эффективная площадь детектора **250 м<sup>2</sup>** (в 7 раз превышает боковой ДЕКОР). Разрешение соседних треков – **3 мм** (точность измерения треков в ДК – **1 мм**, в **10 раз лучше**, чем у ДЕКОР).

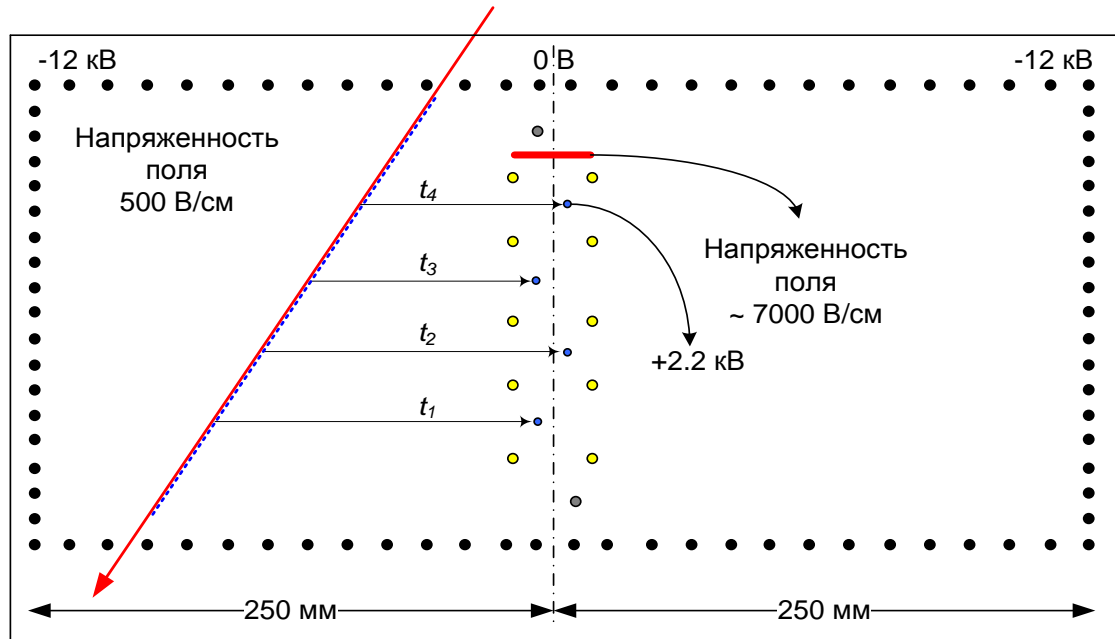
## Прототипы:

Дрейфовые камеры были изготовлены для ускорительного эксперимента в ИФВЭ. Для изучения условий их применения в космических лучах были созданы два прототипа:

**Координатно-трековая установка на дрейфовых камерах (КТУДК)**

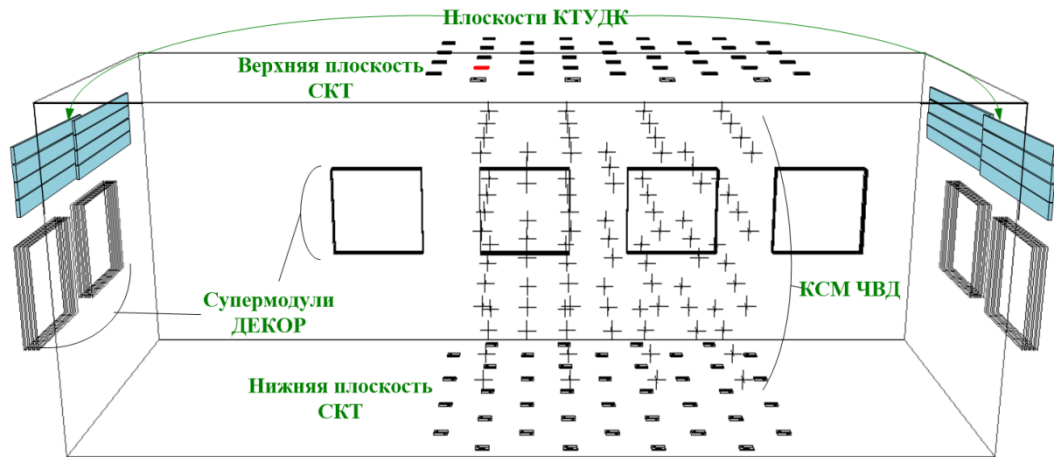
**Прототип детектора ТРЕК (ПротоТРЕК)**

# Многопроволочные дрейфовые камеры ИФВЭ



- Размер 4000×508×112 мм<sup>3</sup>.
- Используемая газовая смесь 94% Ar и 6% CO<sub>2</sub>.
- 4 сигнальных канала.
- Эффективная площадь около 1.85 м<sup>2</sup>.
- Постоянная скорость дрейфа с максимальным временем дрейфа 5.5 мкс.

# КТУДК и ПротоТРЕК

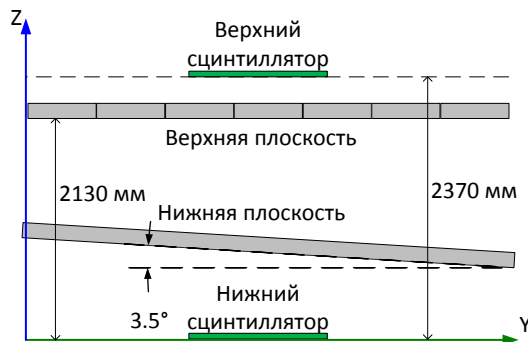
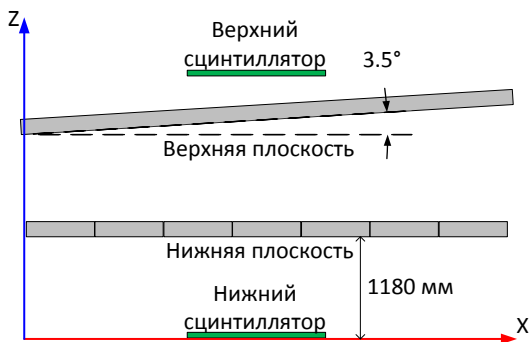


**КТУДК** (зенитные углы  $>45^\circ$ ):

- 2 плоскости с одинаковыми координатными проекциями по 8 камер в каждой
- Анализ по одной проекции
- Совместная регистрация мюонов детекторами КТУДК и ДЕКОР

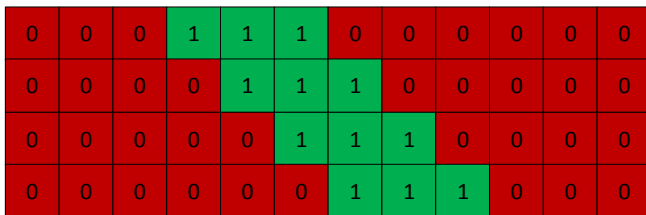
**ПротоТРЕК** (зенитные углы  $<45^\circ$ ):

- 2 плоскости с разными координатными проекциями по 7 камер в каждой
- Анализ по двум проекциям
- Регистрация многочастичных событий высокой плотности

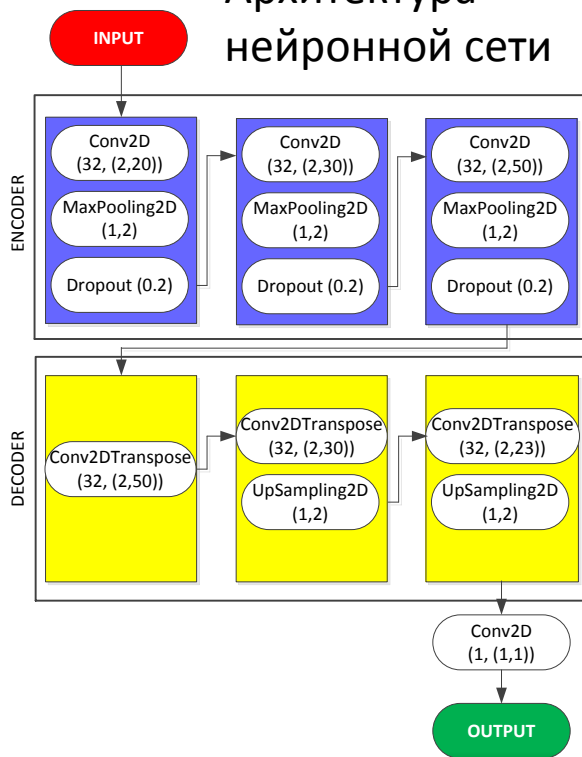


# Фильтрация послеимпульсов с помощью свёрточной нейронной сети

Представляемый вид данных



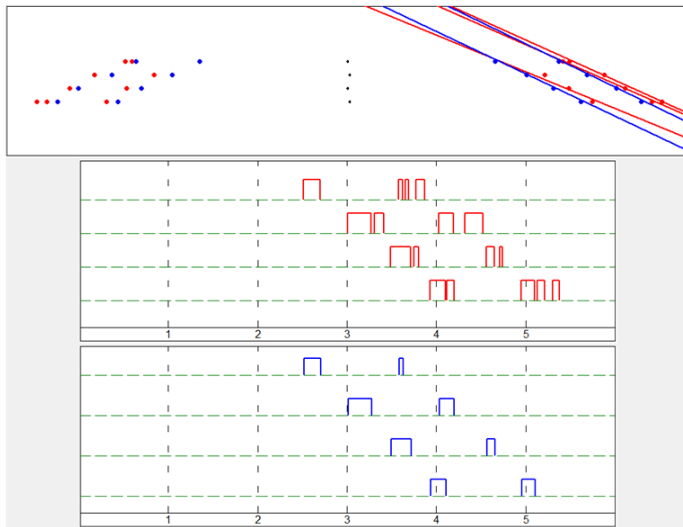
Архитектура нейронной сети



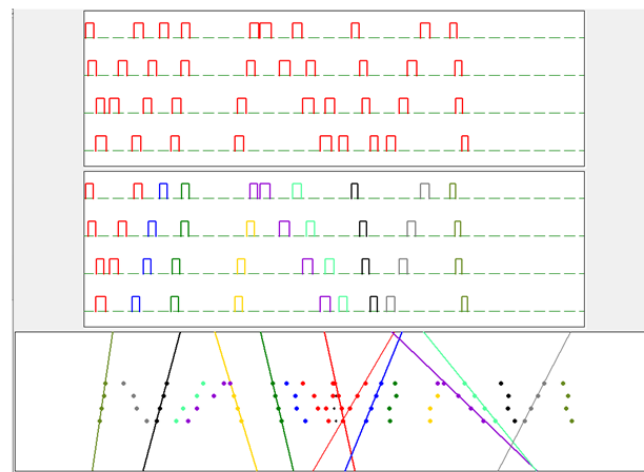
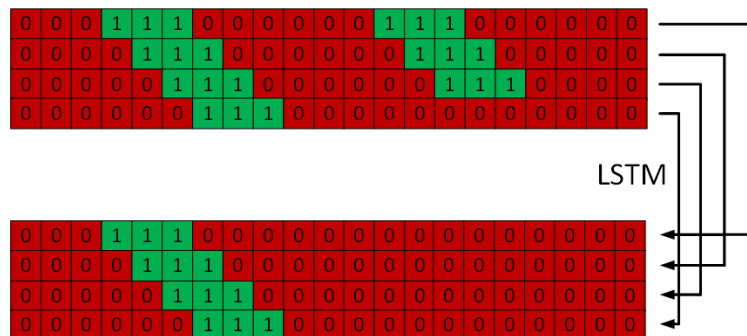
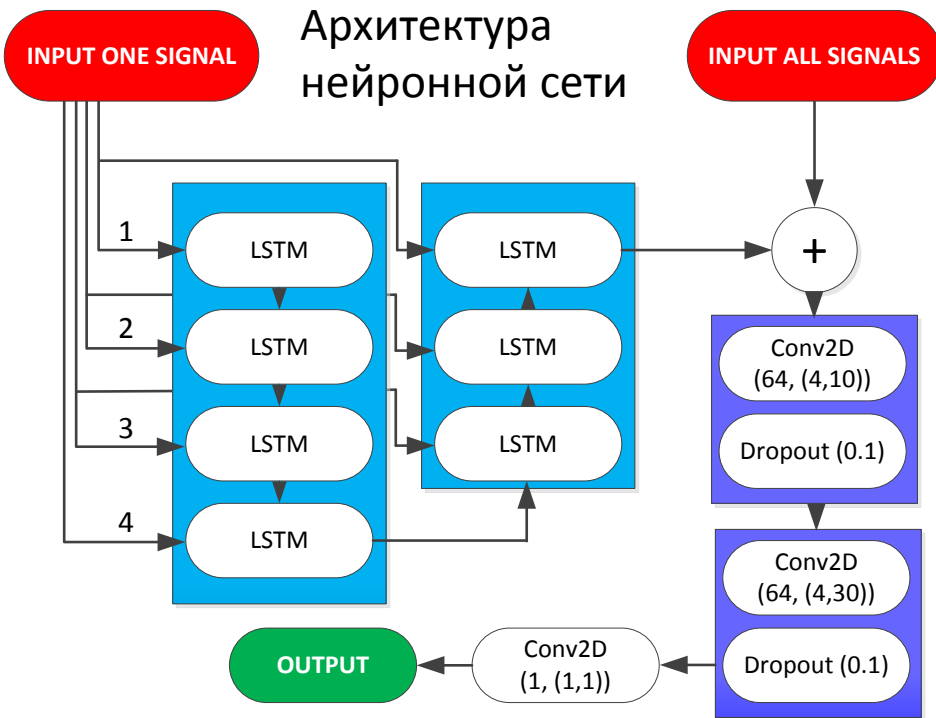
Применение к тестовой выборке

Сохранено оригинальных сигналов **94.2%**

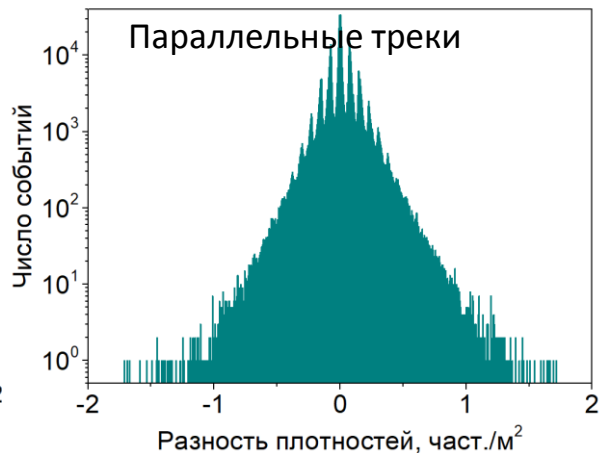
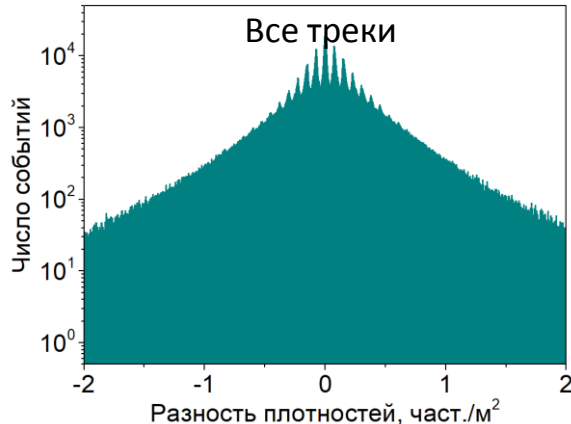
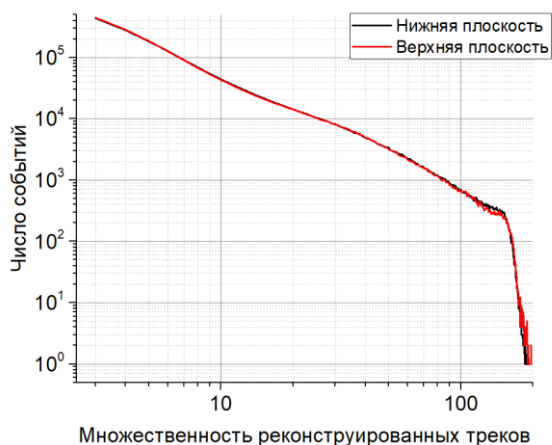
Исключено послеимпульсов **84.5%**



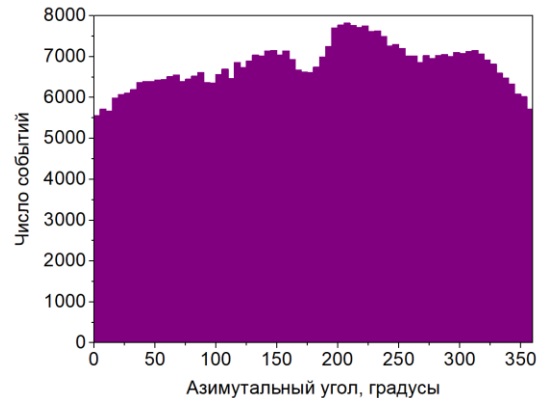
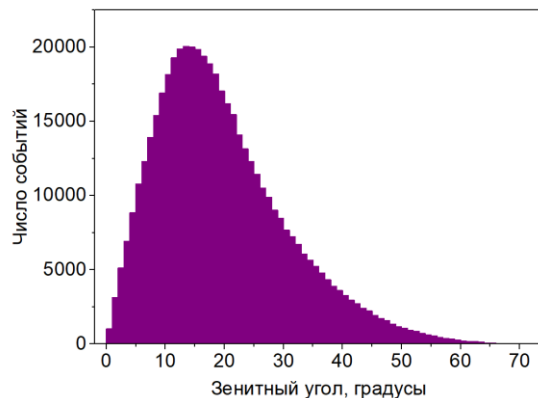
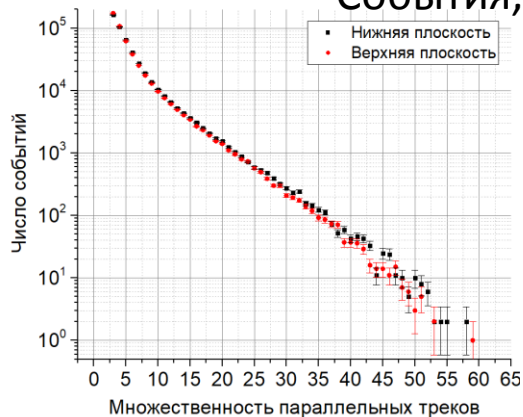
# Сегментация сигналов по трекам с помощью методов глубокого обучения



# Многочастичные события на ПротоТРЕК



## События, в которых доля параллельных треков $\geq 0.5$

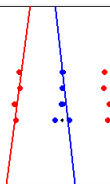
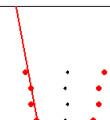




# Многочастичные события на ПротоТРЕК

## Дополнительная камера

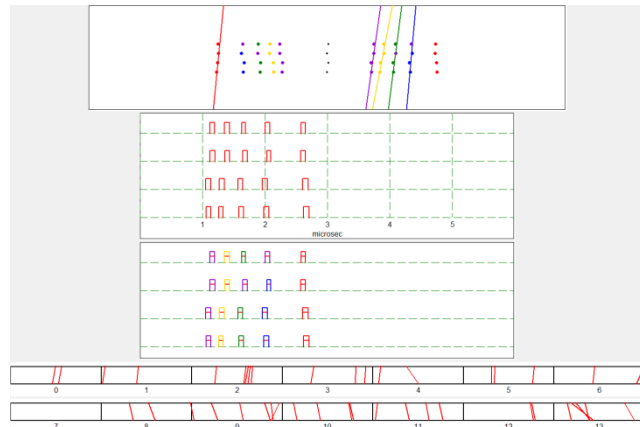
Возникновение  
вторичной частицы



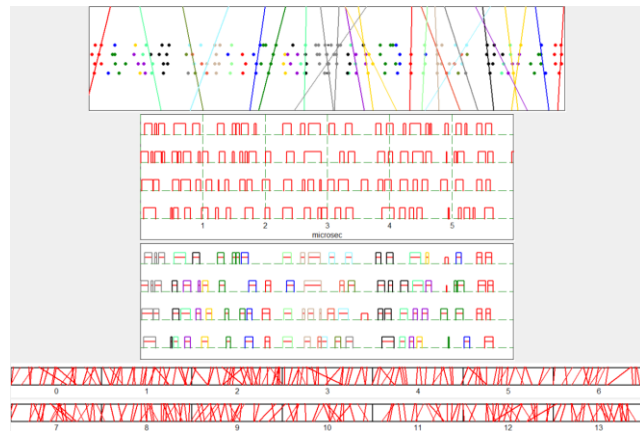
Поглощение частицы



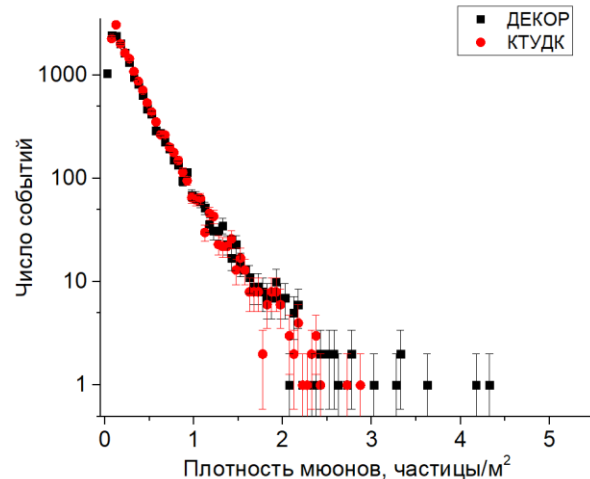
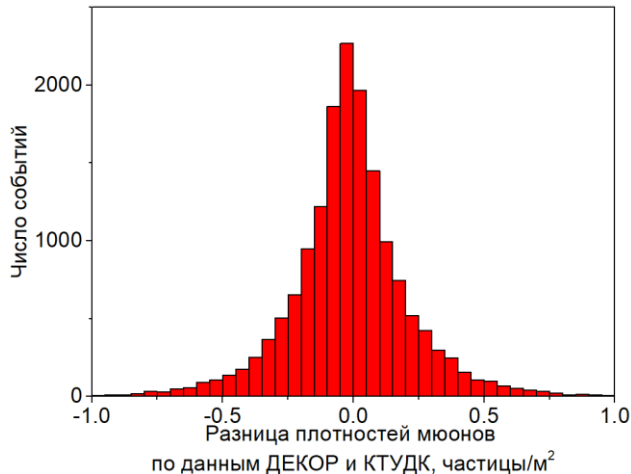
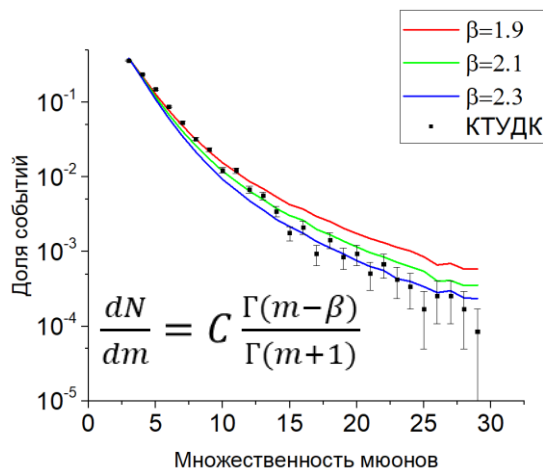
## Группа параллельных треков



## Предельная возможность камер



# Анализ групп мюонов на КТУДК



$D$  – средняя плотность,

$m$  – множественность мюонов,

$S_{eff}$  – эффективная площадь детектора

$\beta$  – показатель спектра по плотности мюонов

Оценка среднего логарифма энергии первичного ядра

$$\langle \lg(E, \text{ГэВ}) \rangle \approx 7.03 + 1.07 \lg(D, \text{м}^{-2}) + 3.80 \lg(\sec(\theta))$$

А.Г. Богданов и др. *Ядерная физика*, 73, № 11, с. 1904-1920 (2010).

$$15.5 < \langle \lg(E/\text{эВ}) \rangle < 18$$

Применительно к ТРЕК этот диапазон будет расширен до

$$14 < \langle \lg(E/\text{эВ}) \rangle < 19$$

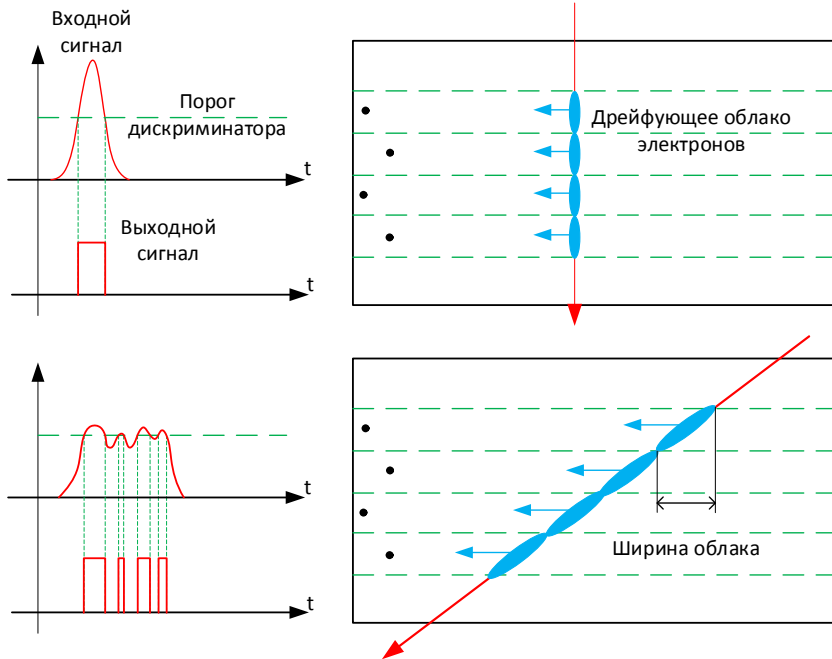
# Заключение

- Анализ многочастичных событий, зарегистрированных установкой ПротоТРЕК, показал, что используемые многопроволочные дрейфовые камеры позволяют исследовать события с плотностью до **15 частиц/м<sup>2</sup>**.
- Анализ на основе метода спектров локальной плотности мюонов показал, что за исследованные группы мюонов ответственны первичные космические лучи с энергиями  **$15.5 < \langle \log(E), \text{эВ} \rangle < 18.0$** .
- Разработанный аппаратно-программный комплекс позволит исследовать космические лучи на крупномасштабном детекторе ТРЕК в рекордно широком диапазоне энергий  **$14 < \langle \log(E), \text{эВ} \rangle < 19 \text{ эВ}$** .

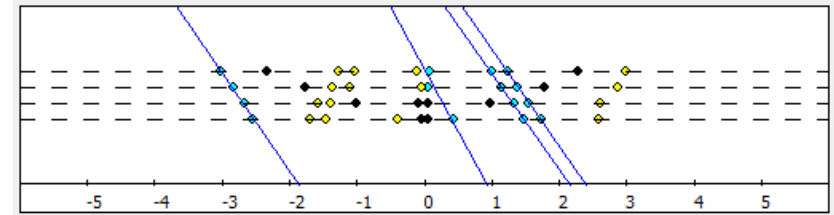
Спасибо за  
внимание!

# Проблемы реконструкции

## Послеимпульсы



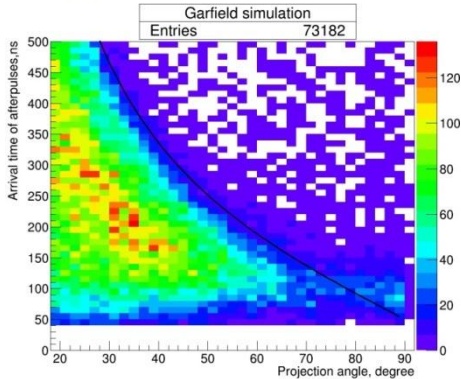
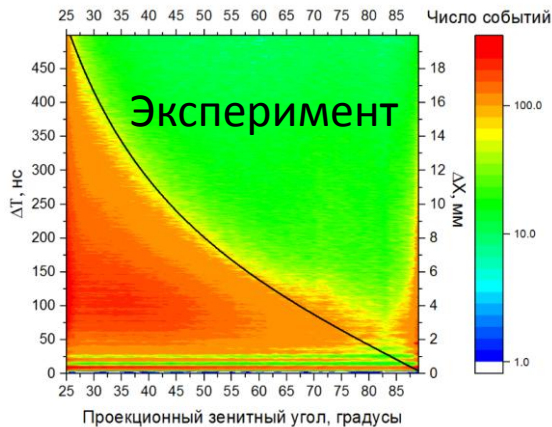
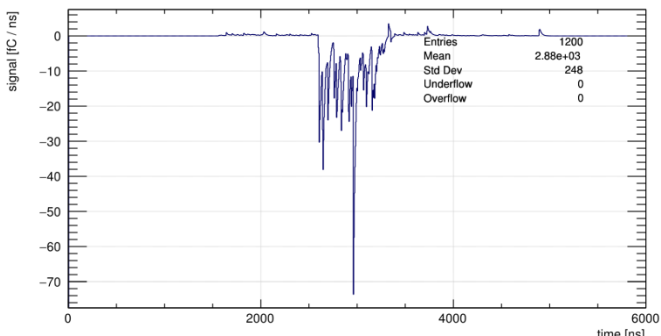
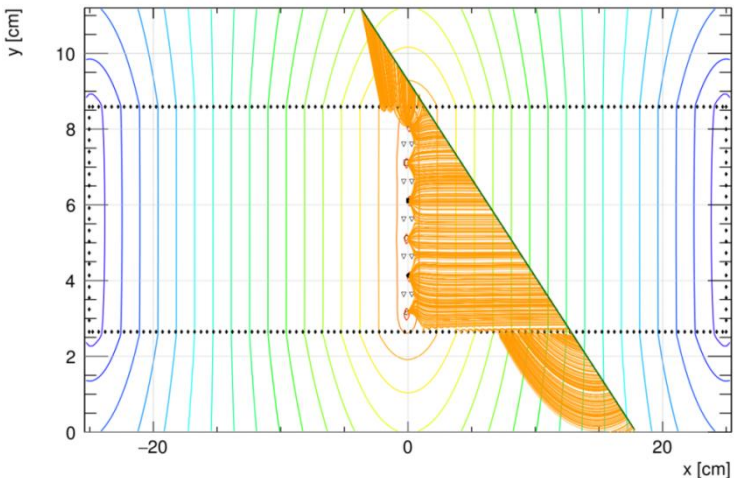
## Вторичные частицы



Центральный реконструированный трек является ложным. Точки, по которым он был реконструирован, принадлежат двум частицам, не параллельным группе.

Для решения этих проблем были применены нейронные сети. Для испытания нейронных сетей было проведено моделирование с использованием программного пакета Garfield++.

# Монте-Карло моделирование работы дрейфовой камеры



Для обучения и тестирования нейронных сетей выполнено Монте-Карло моделирование регистрации многочастичных событий.

Моделирование выполнялось с помощью программного пакета Garfield++, который позволяет детально описывать физические процессы, происходящие в рабочей объеме детектора.

Моделирование подтвердило природу послеимпульсов.