

Дипломная работа

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ДЕТЕКТОРА ТУС «Трековая установка»

Выполнила студентка 6 курса
кафедры физики элементарных частиц

МГУ им. М. В. Ломоносова

Бакина О. В.

Научный руководитель:
старший научный сотрудник

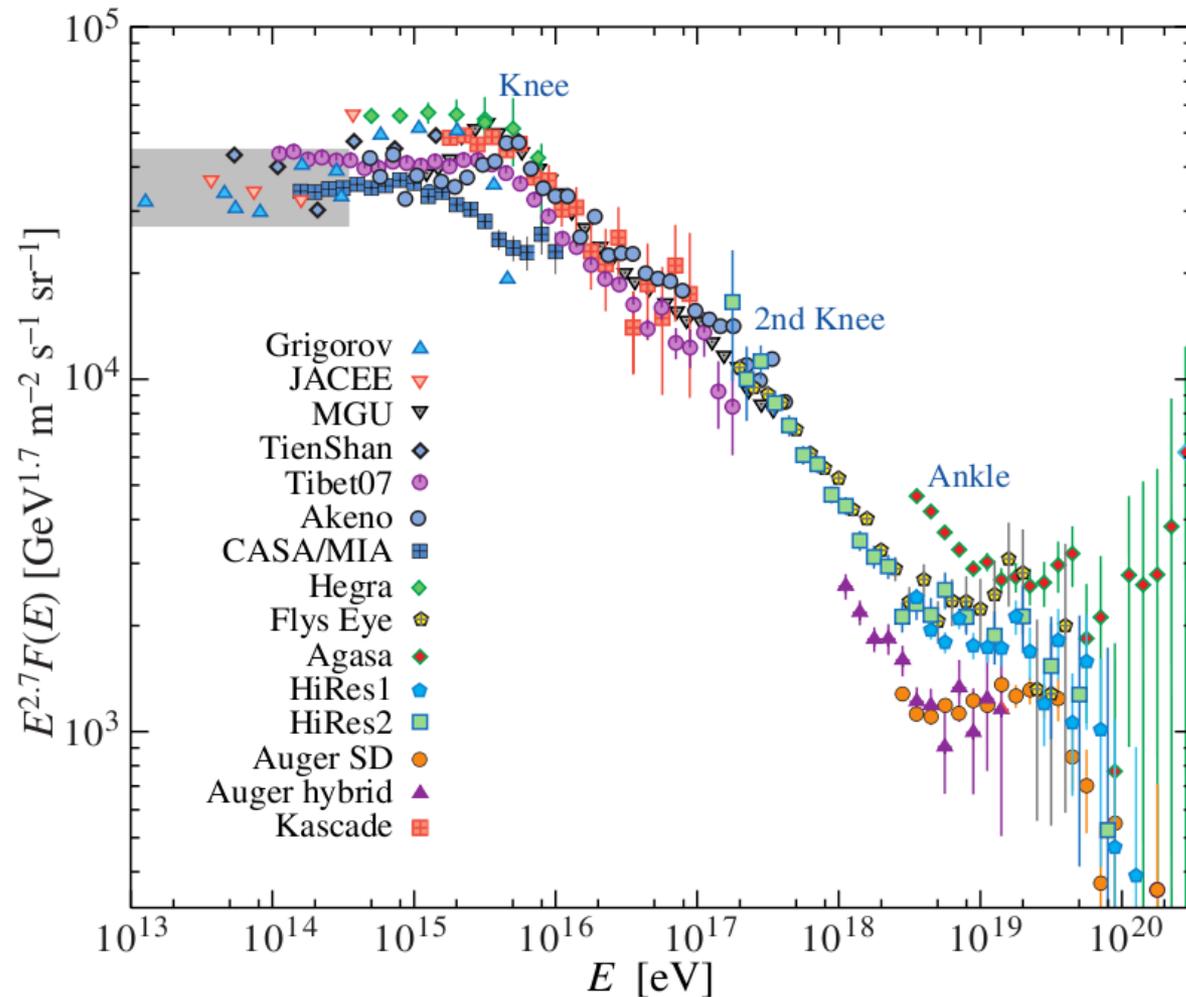
Ткачёв Л. Г.

Космические лучи предельно высоких энергий (КЛПВЭ/УНЕСР), Реликтовое микроволновое излучение (РМИ/СМВ) и Эффект Г.Т.Зацепина, В.А.Кузьмина, К.Грейзена (ГЗК-обрезание)

Рождение $\Delta(1232)$ -изобары в γp -реакции при энергии протона $>4 \cdot 10^{19}$ эВ и энергии реликтовых фотонов $\approx 10^{-4}$ эВ приводит к быстрой потере энергии протоном при распространении в межзвёздной среде (средний свободный пробег ≈ 50 Мpc). Но

- число источников в пределах 100 Мpc лимитировано;
- величины межгалактических магнитных полей недостаточно, чтобы сильно искривить траекторию КЛПВЭ протона;
- набранная в течение многолетних наблюдений статистика не превышает сотни событий, причем данные разных экспериментов неудовлетворительно согласуются между собой.

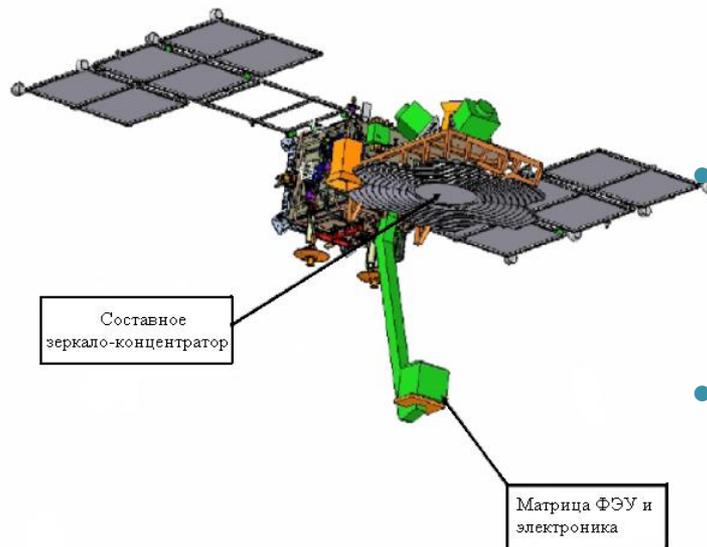
Результаты измерения спектра КЛ, полученные на сегодняшний день на многих наземных и космических установках в течение многолетних исследований.



Нерешённые проблемы исследования КЛПВЭ современными наземными установками Auger (Аргентина) и Telescop Array (ТА, США)

- Массовый состав спектра: из данных Auger следует утяжеление спектра с ростом энергии вплоть до ядер железа, в то время как данные ТА соответствуют протонному составу;
- Auger видят анизотропию и даже обсуждают возможную корреляцию с АГН – активными ядрами галактик, в данных ТА такой анизотропии и корреляции не видят;
- Статистика в области 10^{20} эВ и выше ещё очень мала;
- Систематические погрешности при измерении энергии первичной частицы велики (более 20% экспериментах Auger и ТА).

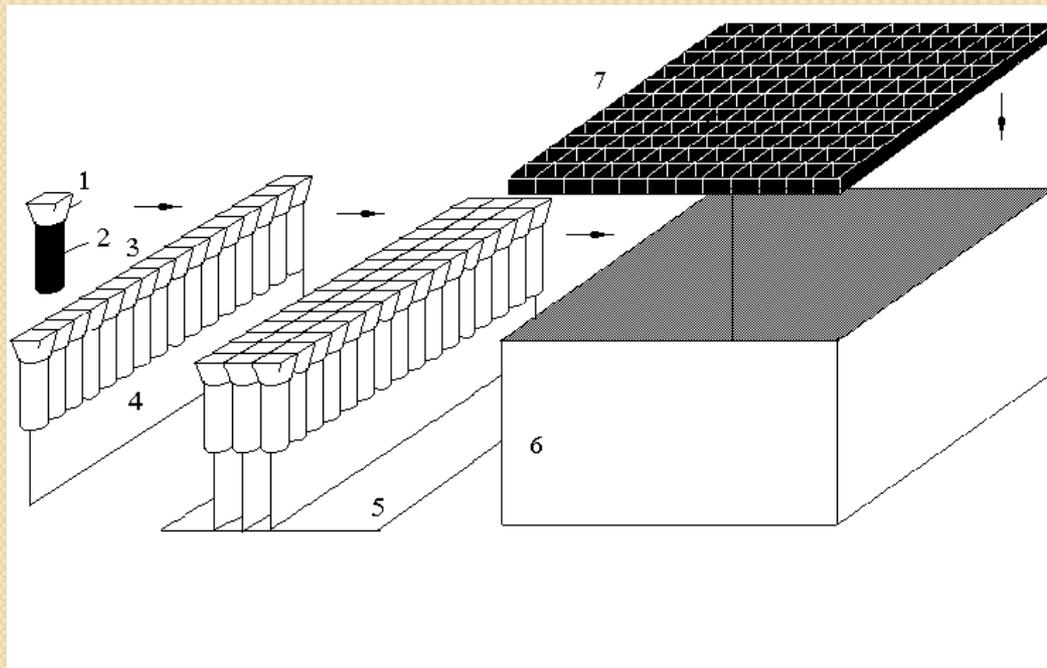
Общий вид и параметры детектора ТУС



- составное зеркало-концентратор (СЗК) Френеля площадью $\sim 1.8 \text{ м}^2$
- электронный блок фотоприемника (ЭБФ) в фокусе СЗК - 16×16 матрица ФЭУ диаметром $\sim 13 \text{ мм}$ и чувствительных к излучению ШАЛ в области $300\text{-}400 \text{ нм}$;
- поле зрения оптической системы $\text{FoV} = \pm 4.5^\circ$ соответствует обзору участка атмосферы площадью $\sim 80 \times 80 \text{ км}^2$;
- основной регистрируемый сигнал от ШАЛ: изотропный поток флуоресцентных фотонов, а также отраженный от поверхности Земли или облаков черенковский свет.

БЛОК ФОТОПРИЁМНИКА ДЕТЕКТОРА ТУС

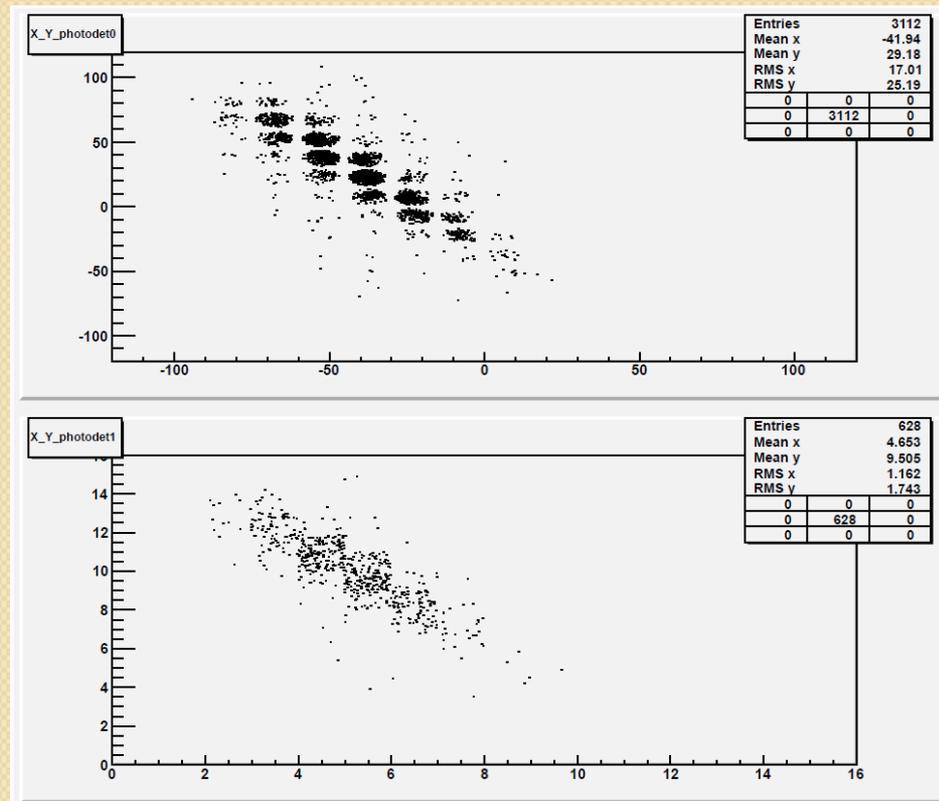
1 – световод, 2 – ФЭУ, 3 – кластер фотоэлектронных умножителей на печатной плате, 4 – печатная плата кластера с электроникой, 5 – материнская плата блока фотоприёмника с электроникой управления, 6 – блок фотоприёмника, 7 – коллиматор



МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ ФОТОДЕТЕКТОРА ТУС

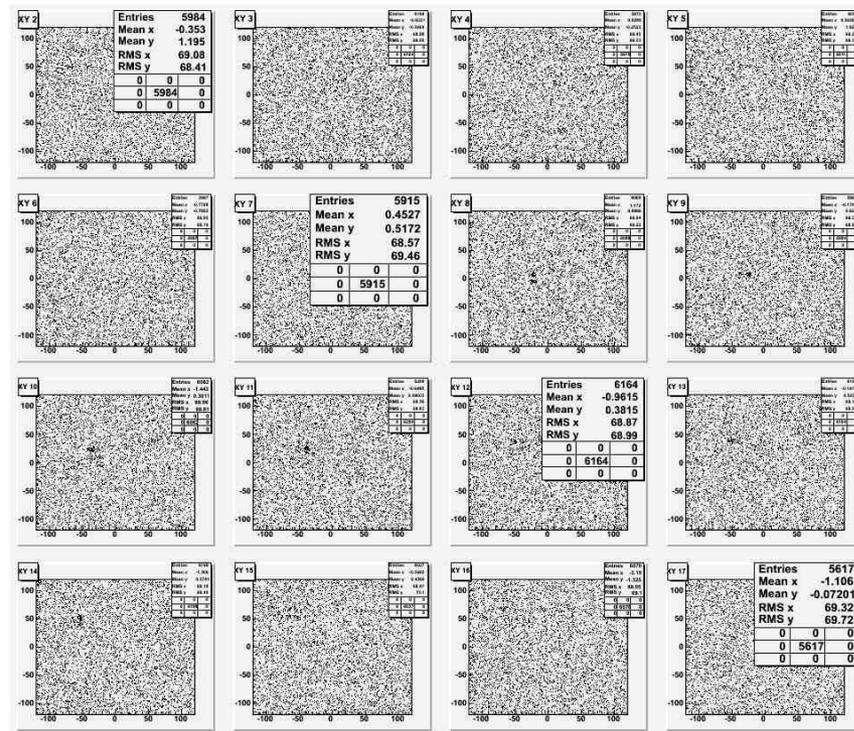
Пример «идеального» (без фоновых фотонов) ШАЛ с энергией $E=1.06 \cdot 10^{20} \text{eV}$, углами падения $\theta=78^\circ$ и $\varphi=304^\circ$, полученного по программе ESAF для последующего моделирования его регистрации фотодетектором ТУС.

(Вверху – суммарное распределение фотонов на фотокатодах ЭБФ, внизу – распределение по каналам с квантовой эффективностью ФЭУ равной 0.21)

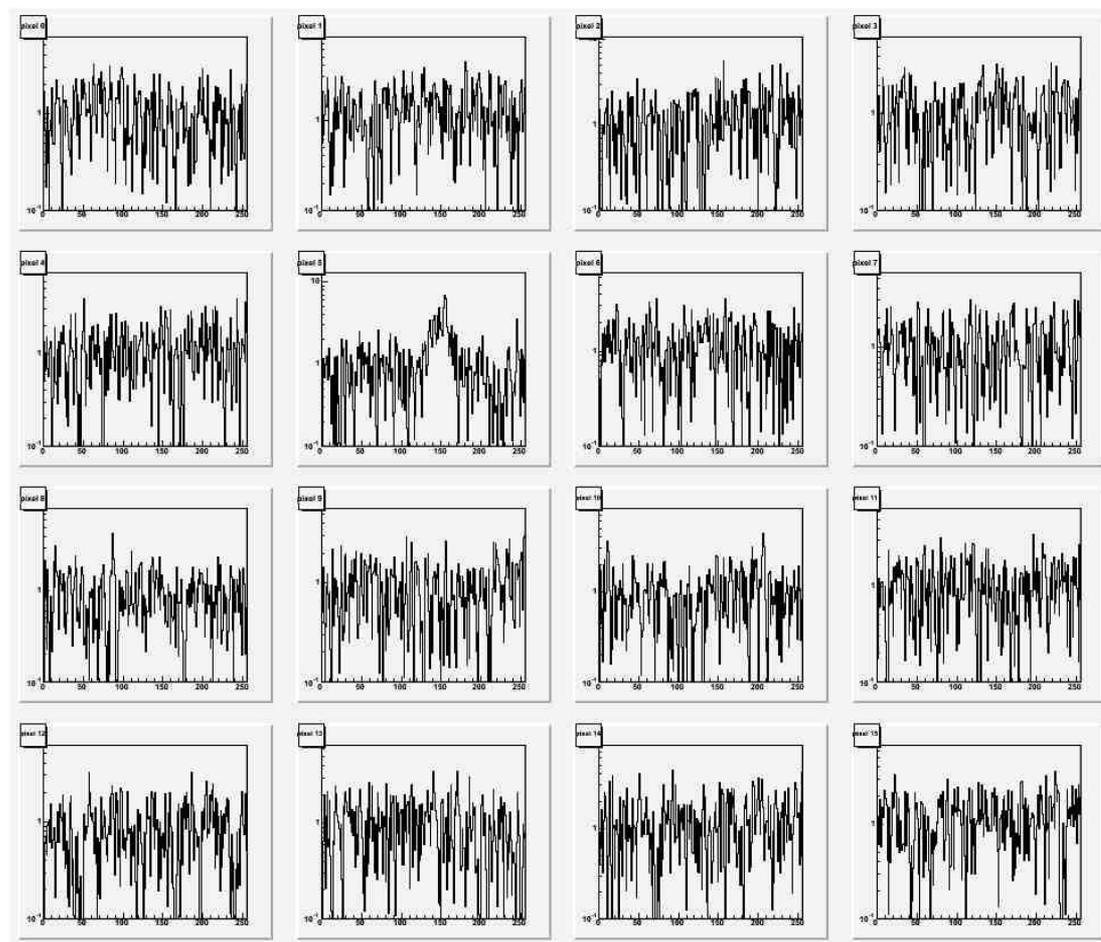


Распределения фоновых и ШАЛ фотонов на последовательных кадрах по 16 тактов для предыдущего события на плоскости фотодетектора для минимального фонового потока ~ 50000 фот/кадр

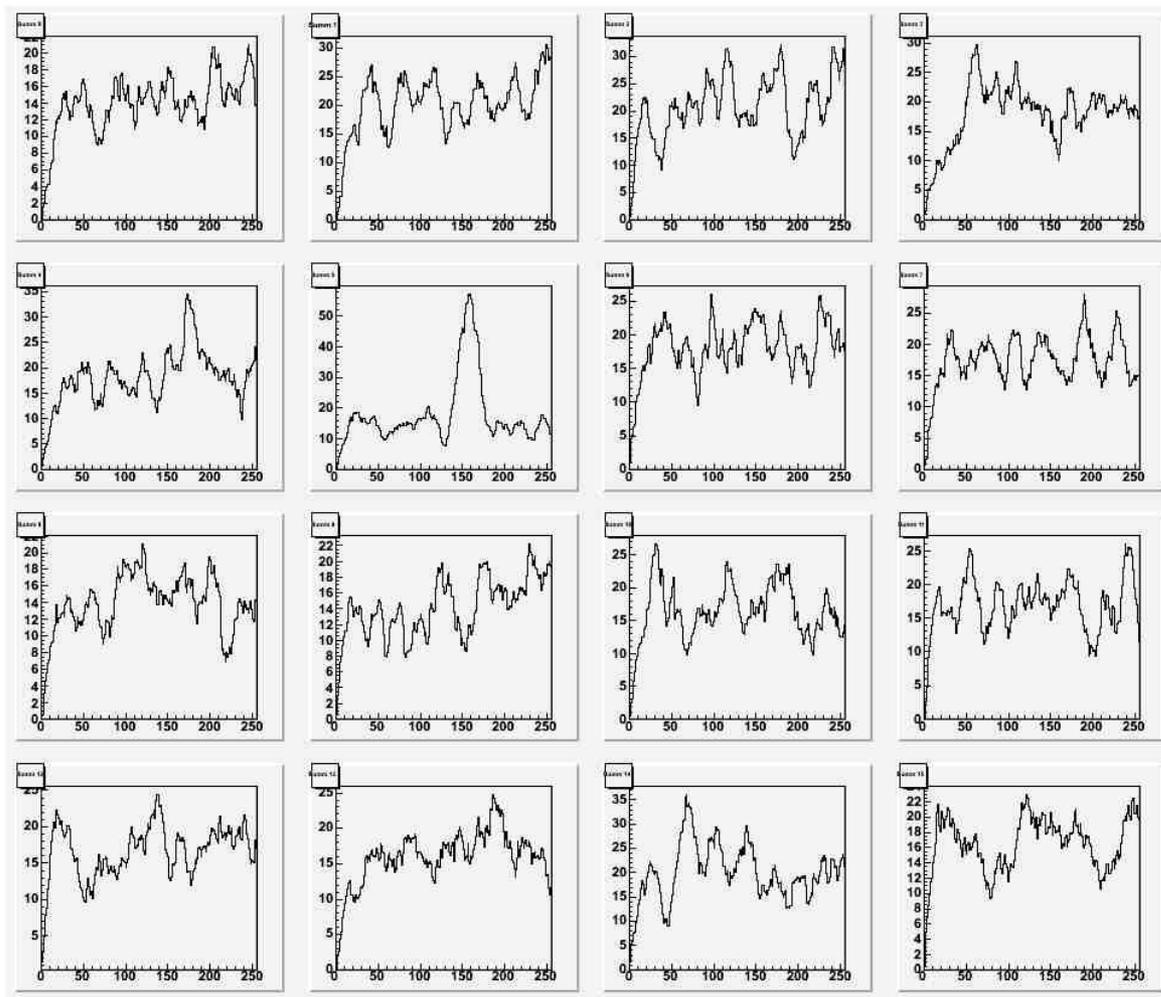
(Вид распределений не зависит от того, одинаковые или нет коэффициенты усиления имеют ФЭУ => даже для идеального случая выделение полезного сигнала является непростой задачей.)



Пример зависимостей анодного тока для 16 кластеров ЭБФ в выделенных 9-х пикселях каждого кластера от времени в течение прохождения фотонов ШАЛ через аппаратуру ТУС

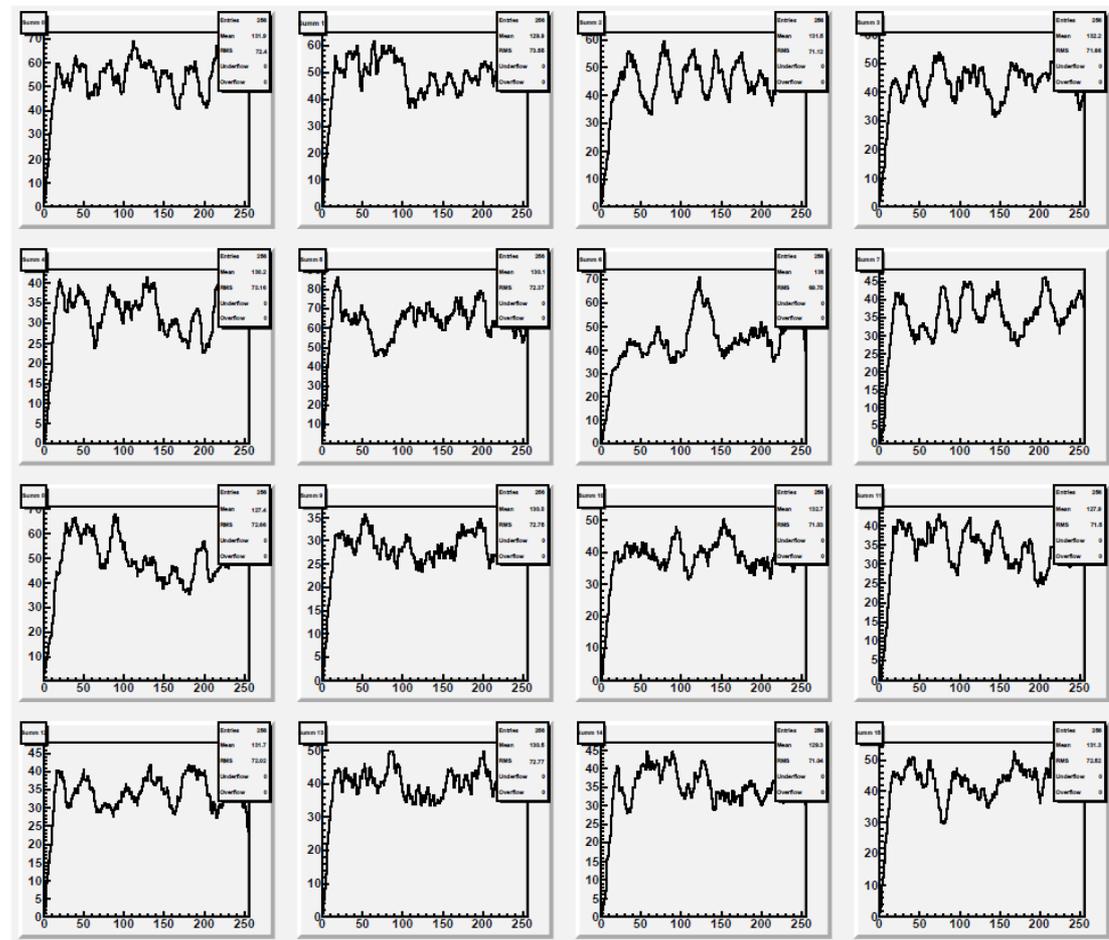


Зависимость скользящих сумм в 9-м пикселе каждого кластера от времени при минимальном фоне



Изменение временной зависимости скользящих сумм с увеличением фонового потока в 2 раза

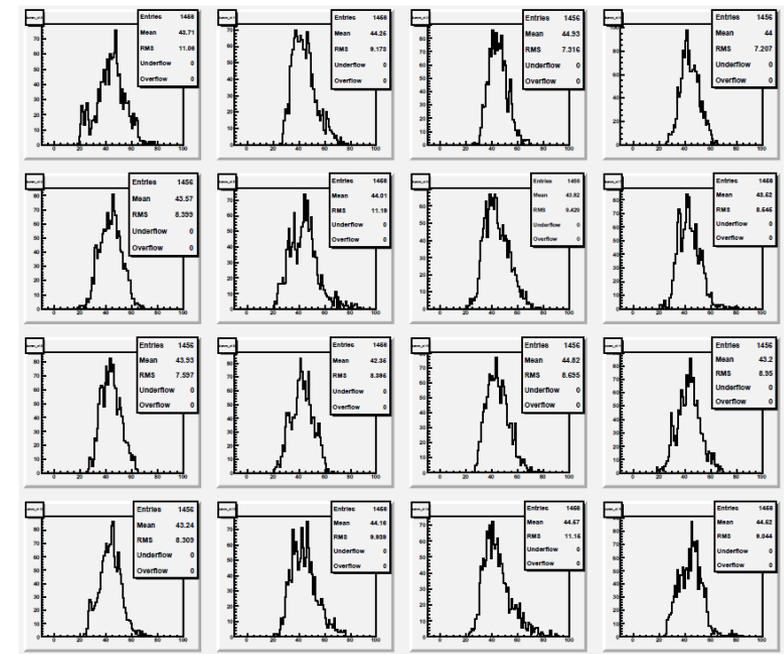
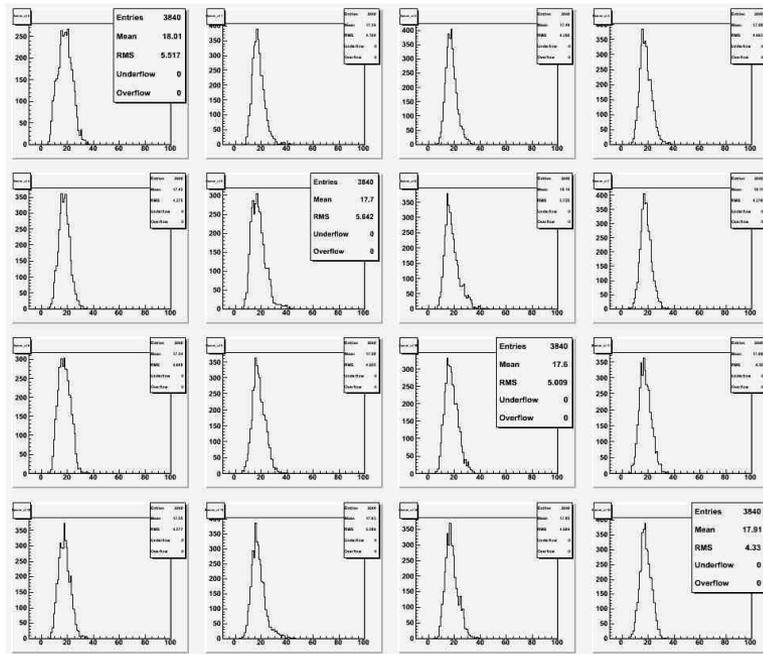
(Растет как среднее значение скользящих сумм, так и их флуктуации во времени.)



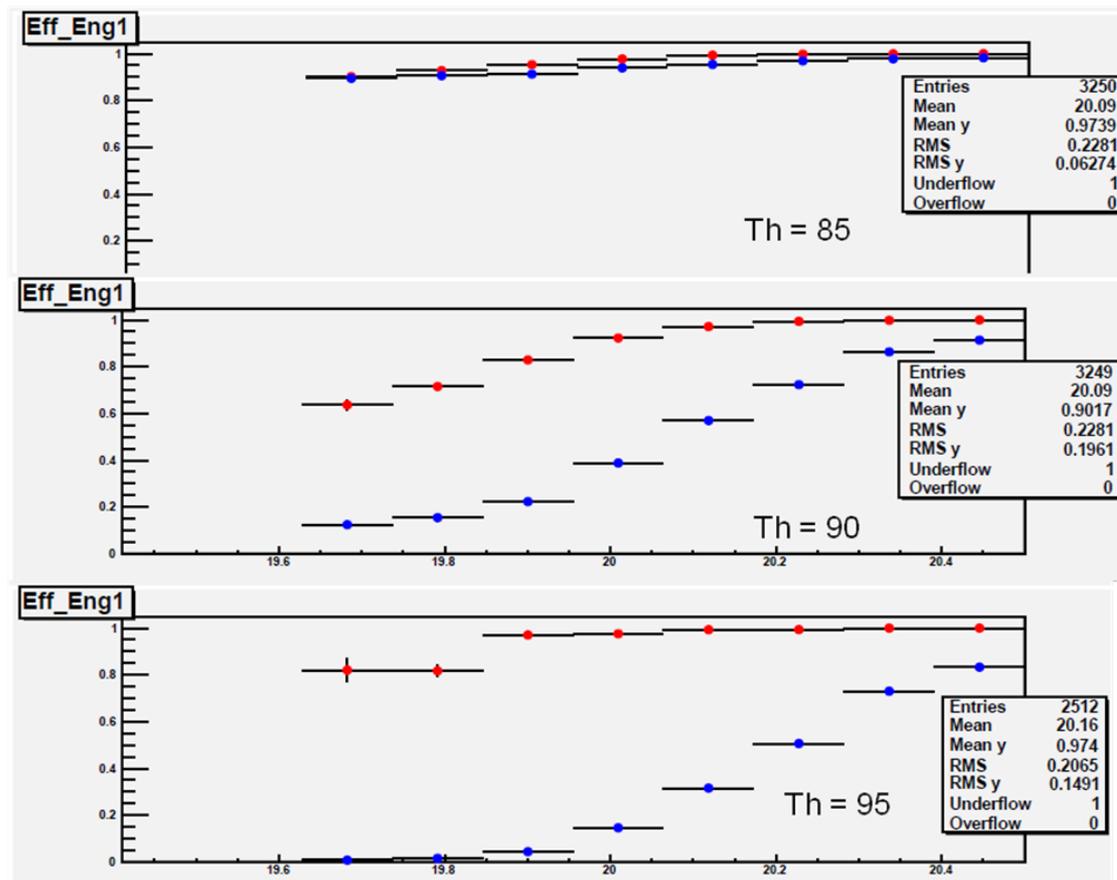
Задание порога для скользящих сумм

- Из распределений по скользящим суммам для каждого кластера при фиксированном фоне:
- $\langle SS_i \rangle = \langle SS_r \rangle = 17.8 \pm 0.5$, $RMS_{SSi} = 3.8 \pm 0.5$, $RMS_{SSr} = 4.8 \pm 0.5$ (при I_{\min})
- $\langle SS_i \rangle = \langle SS_r \rangle = 44.0 \pm 1.5$, $RMS_{SSi} = 6.1 \pm 0.5$, $RMS_{SSr} = 8.5 \pm 1.5$ (при $2I_{\min}$)
- Порог для скользящих сумм каждого кластера:
- $$Th = \langle SS \rangle + n * RMS,$$
- где n – целое число, $n = 3, 4, \dots$, одинаковое для всех кластеров, которое подбирается вручную, чтобы обеспечить требуемый счет триггеров

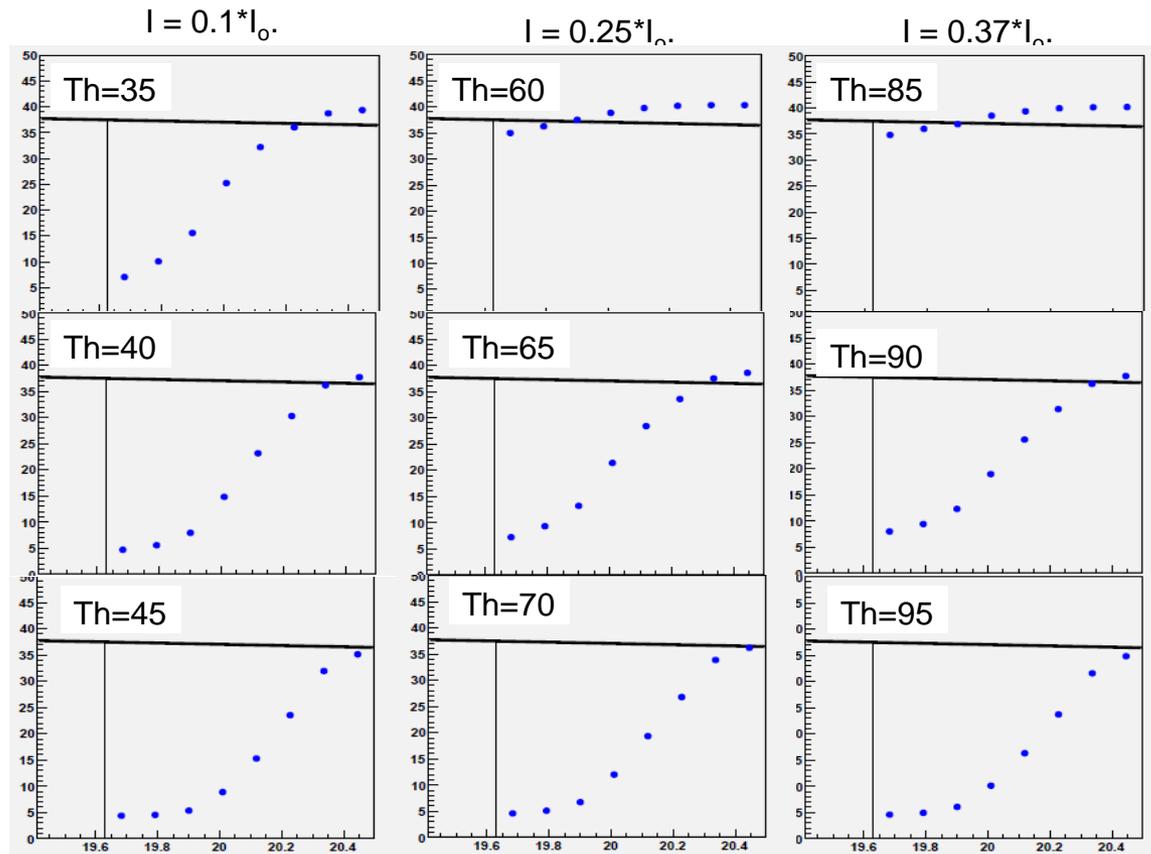
Распределения средних значений скользящих сумм в каждом из кластеров за время прохождения через ЭБФ события ШАЛ при фоне I_{\min} и $2I_{\min}$



Отбор событий при изменении порога триггера: синие точки – W -вероятность получения триггера, красные точки – η -доля истинных триггеров, фон $3I_{\min}$, зенитные углы ШАЛ $\theta = 10^\circ - 80^\circ$, по оси x – энергия ШАЛ.



Ожидаемые энергетические спектры 5-летней экспозиции ТУС



Результаты работы

- Выполнено предварительное моделирование работы электроники при регистрации сигнала ШАЛ с учётом измеренных ранее оптических характеристик зеркала и параметров ФЭУ;
- Разработана двухуровневая триггерная система для увеличения эффективности работы детектора в полёте;
- Разработано специальное программное обеспечение на языке C++ с использованием пакета ROOT для предварительного моделирования и последующей обработки экспериментальных данных.



Спасибо за внимание