



*Баксанская нейтринная обсерватория
Института ядерных исследований
Российской академии наук*

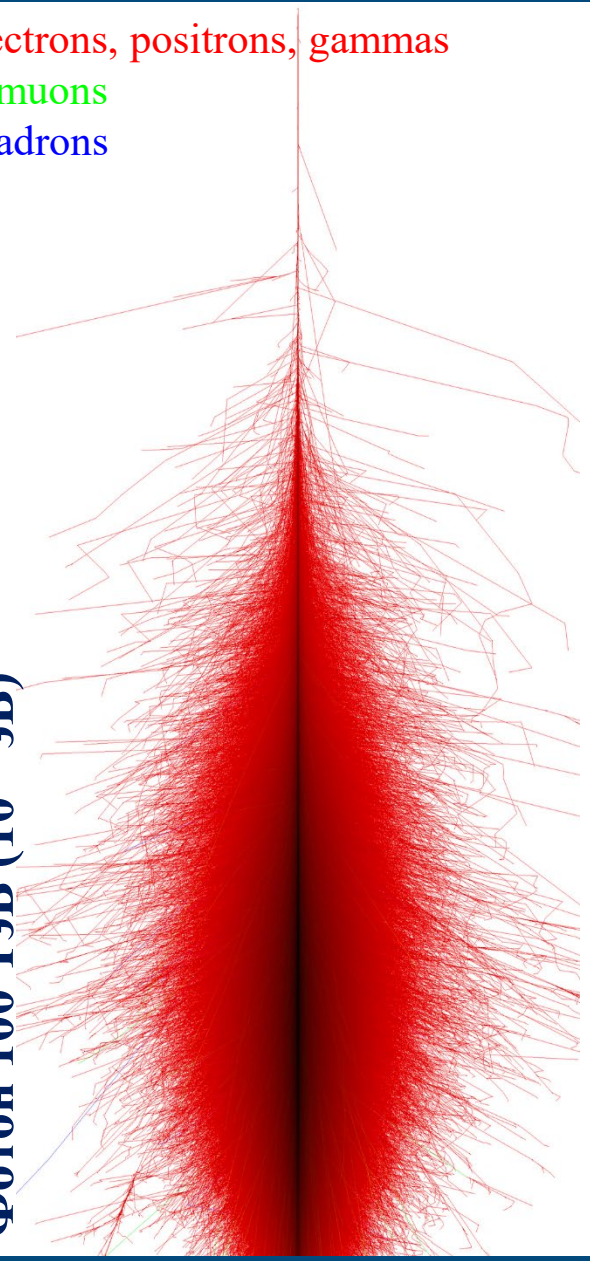
Модель отклика детектора ШАЛ "Ковёр-3"

Васильев Никита
от имени коллаборации «Ковер-3»

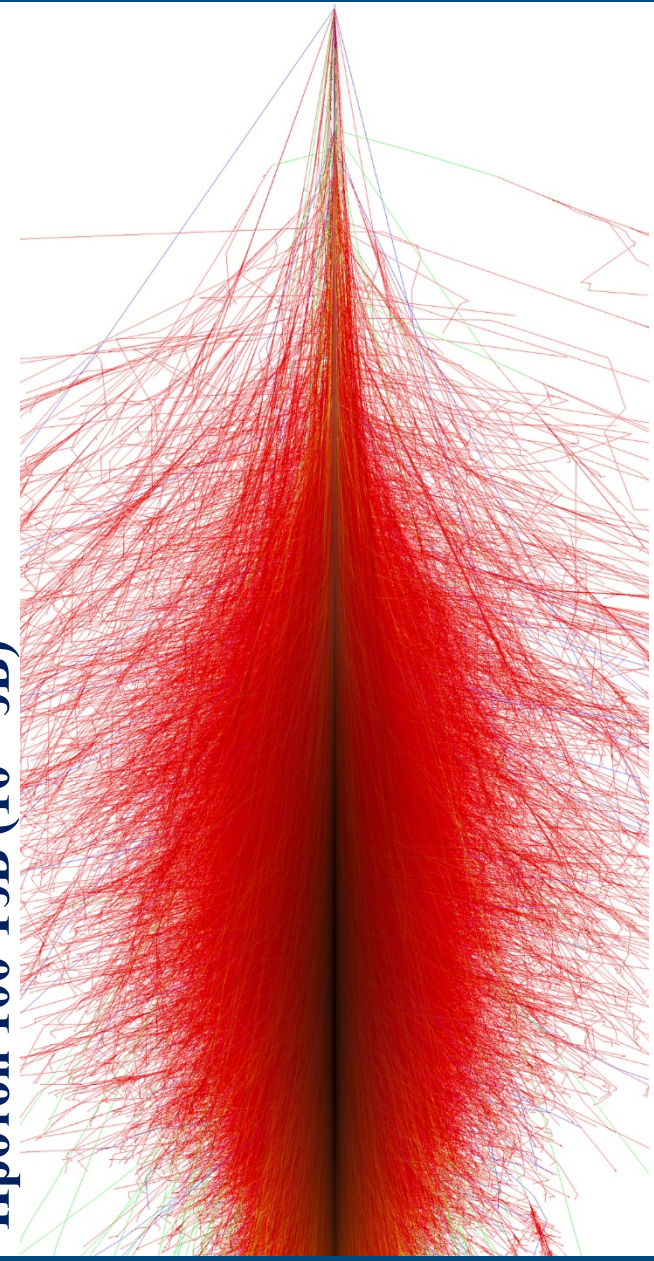
Широкие атмосферные ливни (ШАЛ)

red = electrons, positrons, gammas
green = muons
blue = hadrons

Фотон 100 ТэВ (10^{14} эВ)



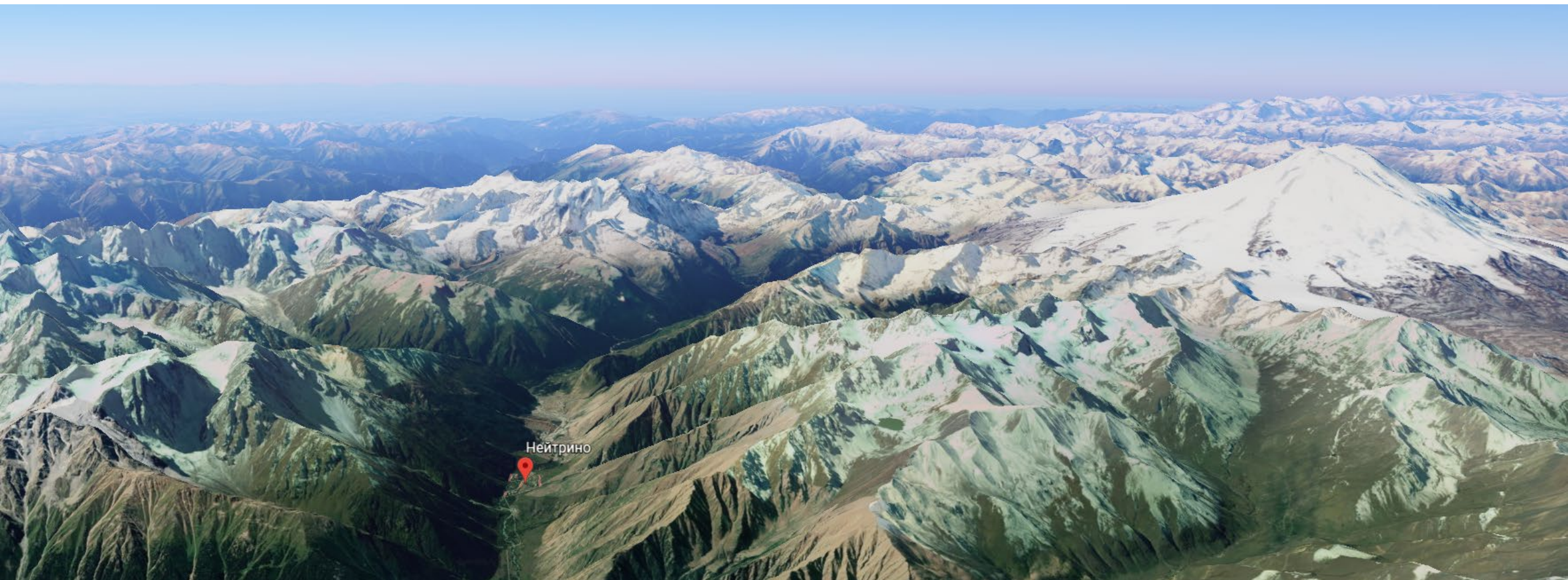
Протон 100 ТэВ (10^{14} эВ)



Железо 100 ТэВ (10^{14} эВ)



Баксанская Нейтринная Обсерватория, п. Нейтрино



Установка «Ковёр-3»

A – установка «Ковёр»;

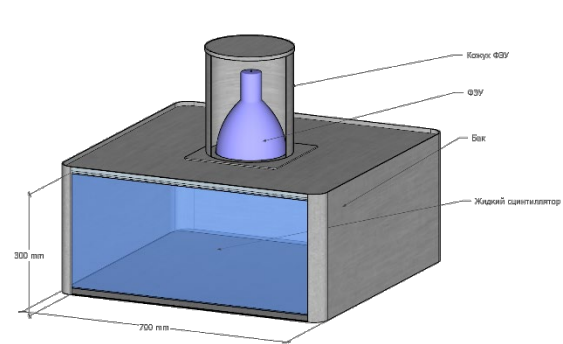
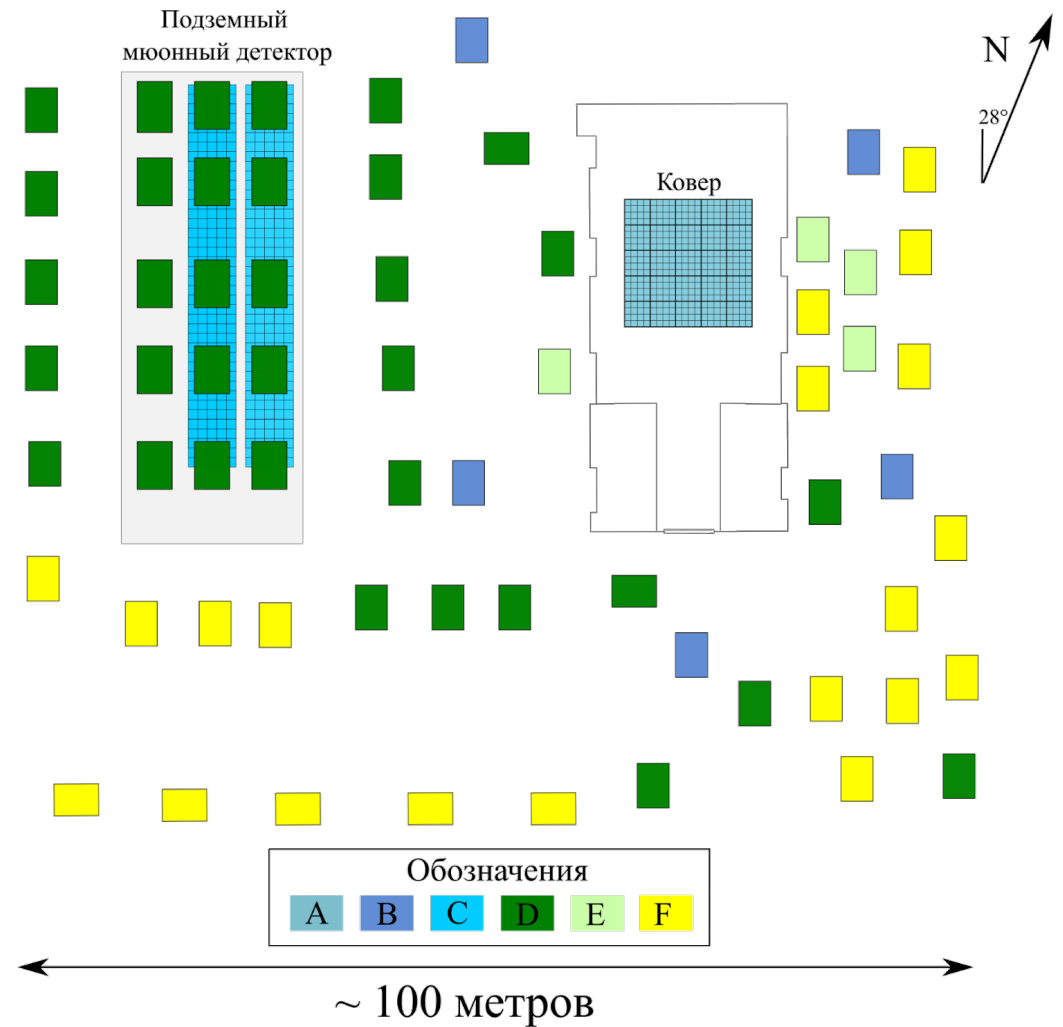
B – выносные пункты регистрации (ВПР);

C – подземный мюонный детектор (МД);

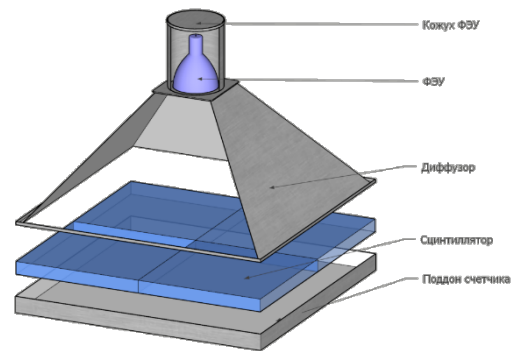
D – новые ВПР (пластический сцинтиллятор);

E – не укомплектованные ВПР;

F – места для установки ВПР в будущем;



1 р.ч. ~ 50 МэВ

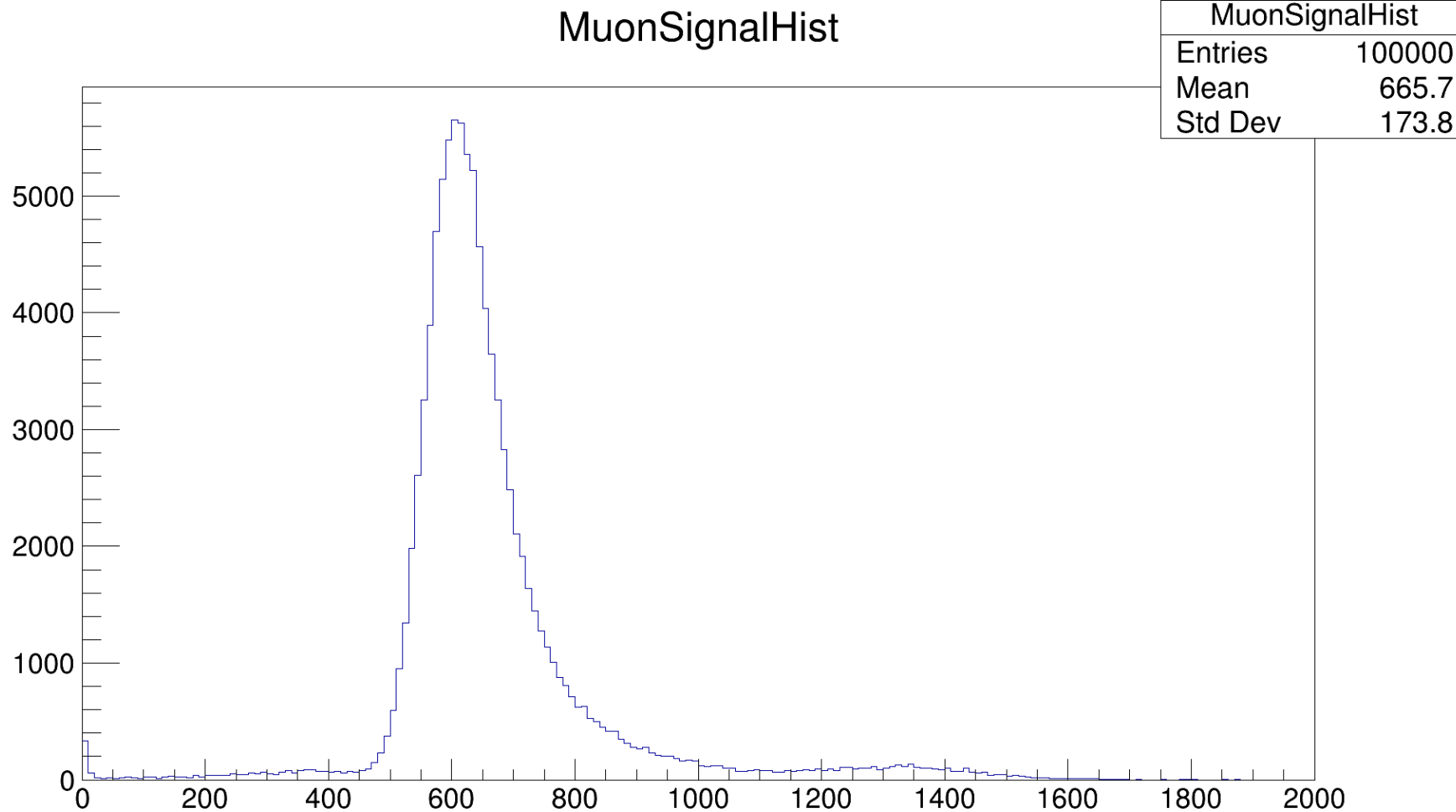


1 р.ч. ~ 10 МэВ

р.ч. (релятивистская частица) – наиболее вероятное энерговыделение в детекторе в результате прохождения мюонов через детектор

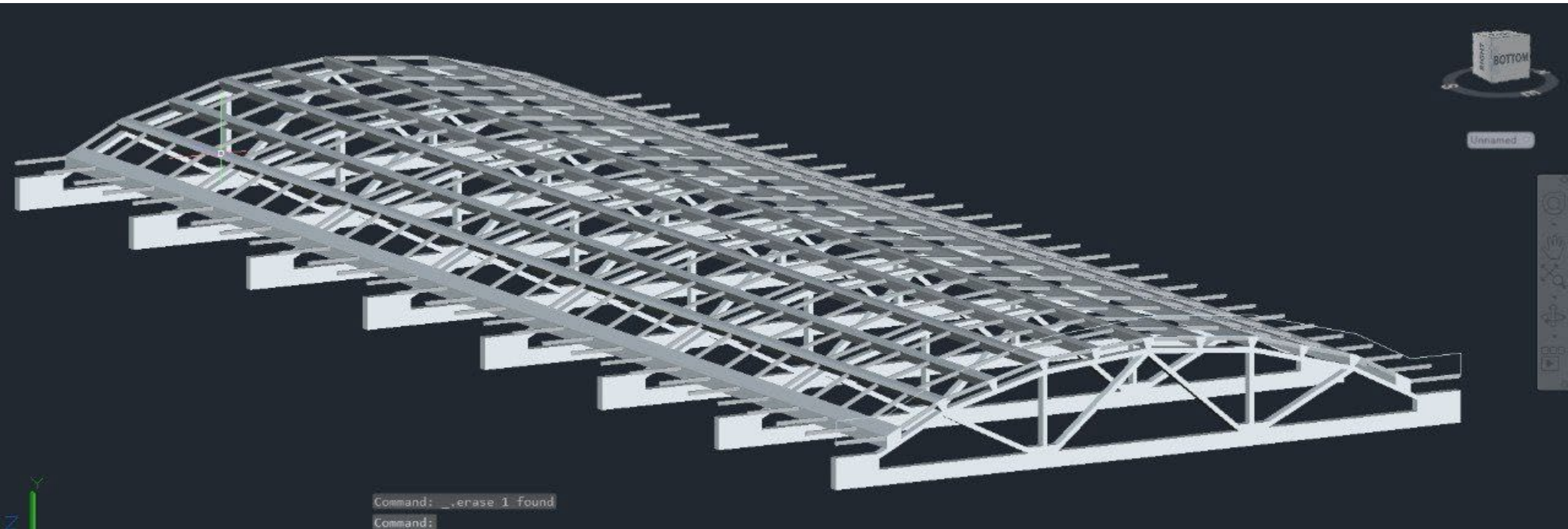
Модель центральной части

- ❖ Смоделированы 400 ячеек сцинтиллятора, образующие центральный «Ковёр» (квадрат со стороной 20 ячеек). Размер ячейки – $70*70*30 \text{ см}^3$
- ❖ Химический состав сцинтиллятора – C_9H_{20}
- ❖ Плотность вещества сцинтиллятора – 0.78 г/см^3
- ❖ Количество фотонов на МэВ ионизации – 100
- ❖ Каждый сцинтиллятор окружен алюминиевыми стенками толщиной 3 мм, смазанными отражающей эмалью (коэффициент отражения = 0.95)
- ❖ Модель регистрирует количество фотонов, попавших на окно ФЭУ (вероятность регистрации – 100%)

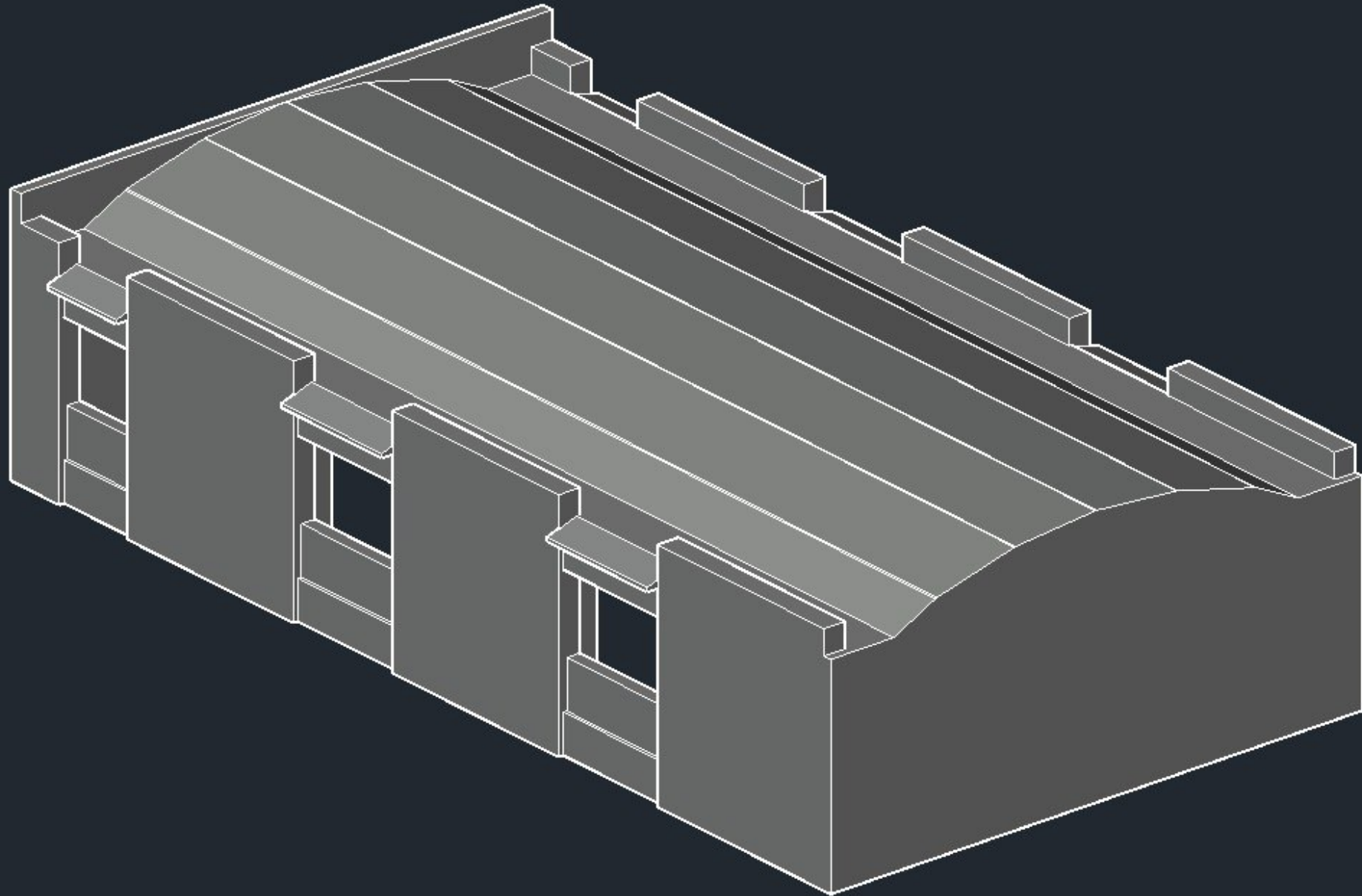


Гистограмма количества зарегистрированных сцинтилляционных фотонов, образовавшихся в «Ковре» после прохождения мюона

3D модель крыши здания, в котором находится центральный детектор



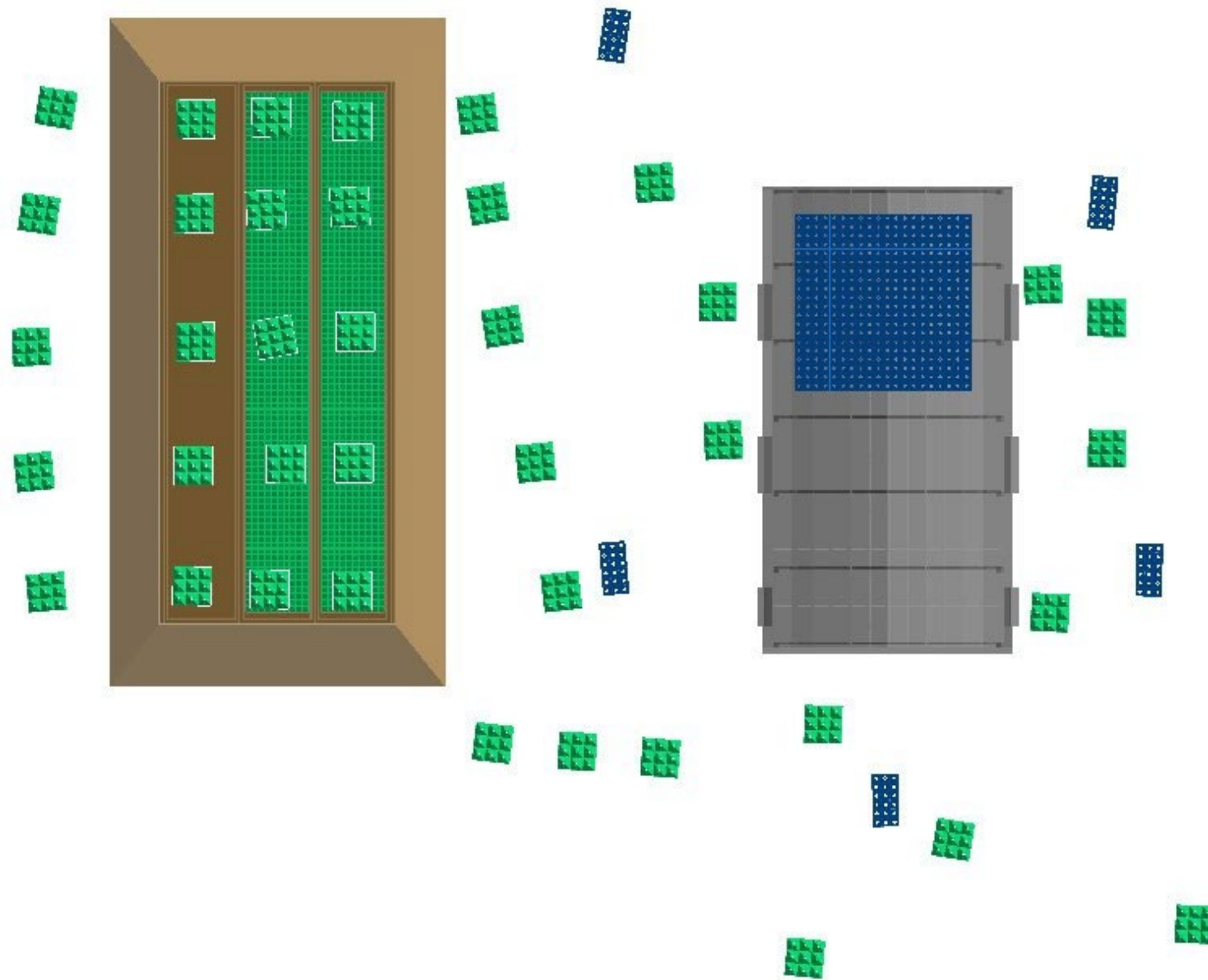
3D модель здания, в котором находится центральный детектор



Модель мюонного детектора

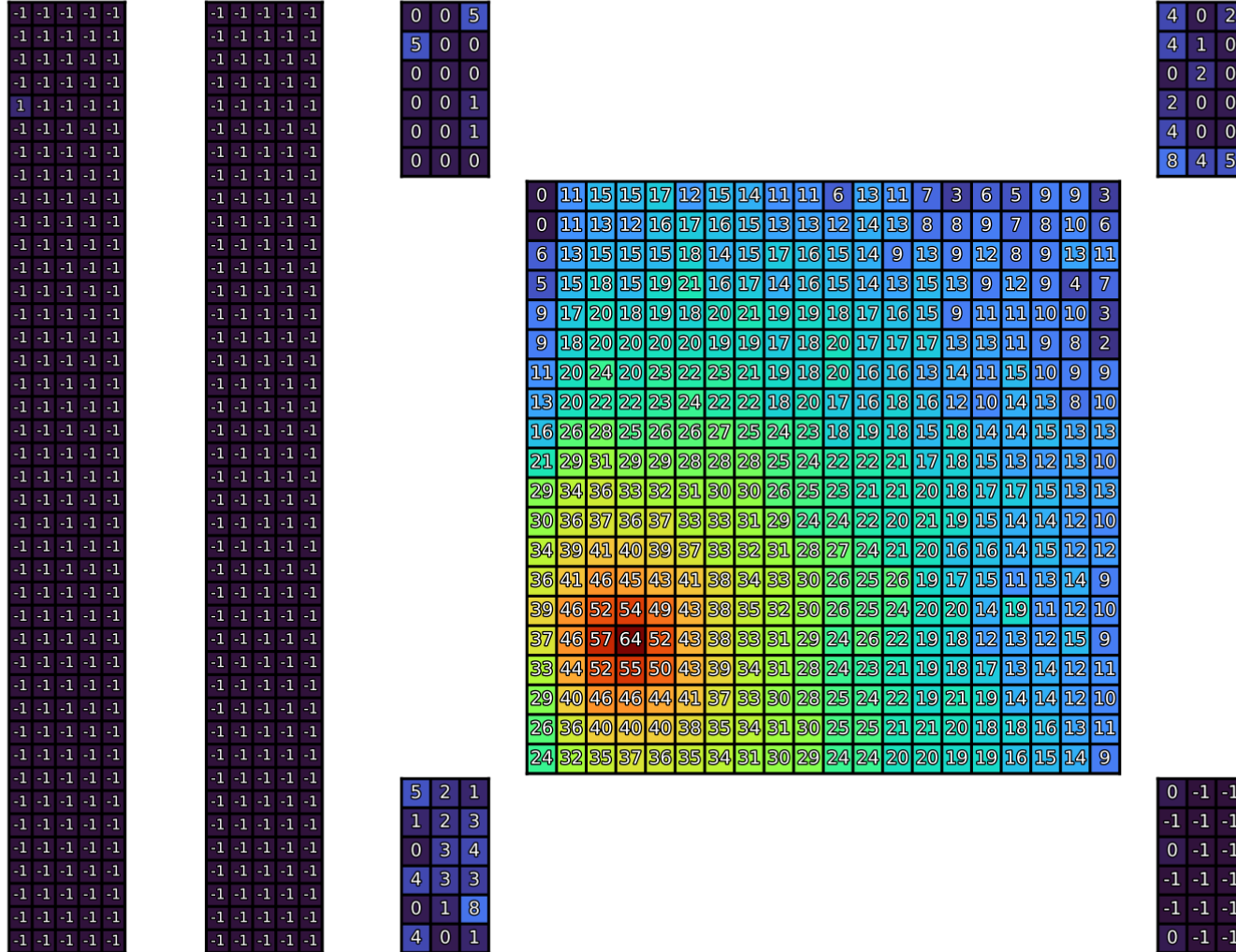
- ❖ Смоделированы 2 туннеля мюонного детектора и 410 пластических сцинтилляторов, их заполняющие. Размер каждого туннеля – $41 \times 5 \text{ м}^2$
- ❖ Химический состав сцинтиллятора – $C_a H_b$, где $a/b \approx 1$
- ❖ Плотность вещества сцинтиллятора – 1.05 г/см^3
- ❖ Количество фотонов на МэВ ионизации – 500
- ❖ Алюминиевый кожух имеет форму усечённой четырёхгранной пирамиды. Толщина стенок порядка 2.5 мм)
- ❖ Над мюонным детектором смоделирована гранитная насыпь, создающая порог в 1 ГэВ для вертикальных мюонов.

3D модель установки «Ковёр-3»



Пример отклика модели на ШАЛ, смоделированный в CORSIKA

351.831_22.7072_157.2_-8.52502_-2.31716_1.16997e+06



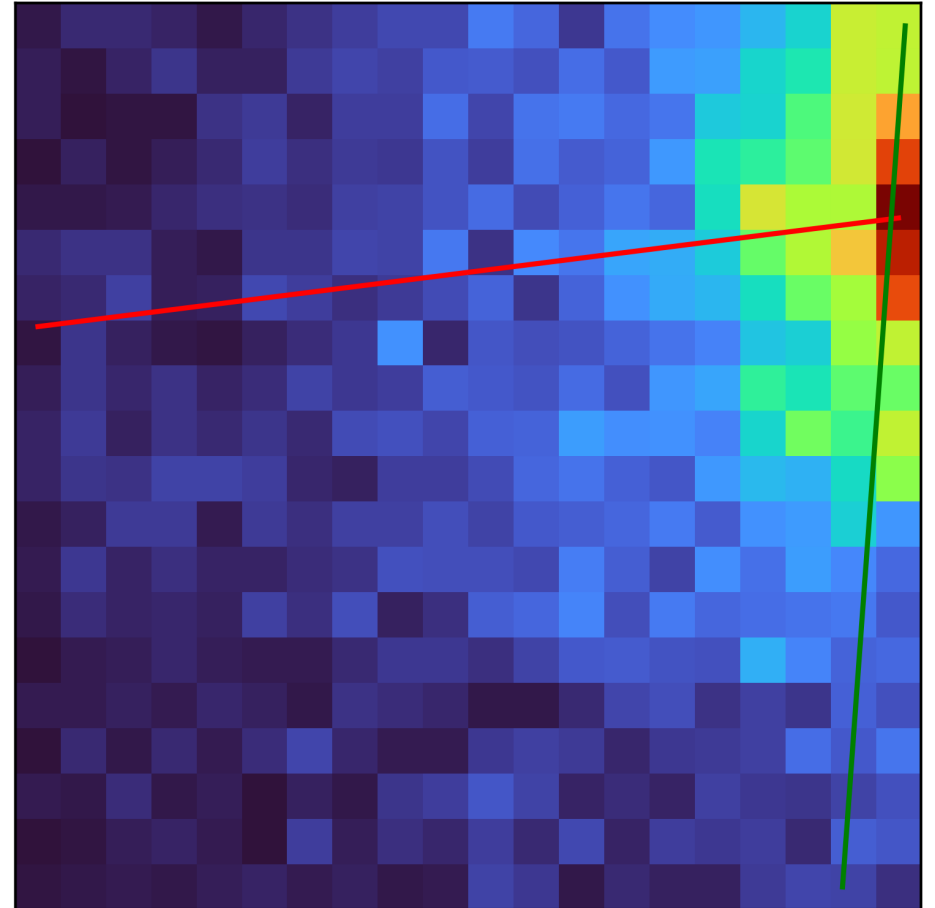
- ❖ Смоделировано по 28200 ливней для трёх типов первичных частиц: γ -кванты, протоны, ядра железа
- ❖ Распределение θ : равномерное по $\cos^2 \theta$ в диапазоне $[0^\circ, 40^\circ]$
- ❖ Распределение E : от 10 до 150 ТэВ с шагом 1 ТэВ. Для каждого значения сгенерировано по 200 ливней.
- ❖ Уровень наблюдения: 1700 м над уровнем моря

- ❖ Направление прихода ШАЛ (θ, φ) восстанавливается по относительным временным задержкам 4 выносных пунктов в приближении плоского фронта
- ❖ Размер ливня N_e и возраст s восстанавливаются путём поиска наилучшей аппроксимации пространственного распределения плотностей частиц в детекторах центральной части НКГ-функцией:

$$\rho_e(r, s, N_e) = \left(\frac{N_e}{r_M^2} \right) \frac{\Gamma(4, 5 - s_N)}{2\pi\Gamma(s_N)\Gamma(4, 5 - 2s_N)} \left(\frac{r}{r_M} \right)^{s_N-2} \left(1 + \frac{r}{r_M} \right)^{s_N-4,5}$$

Восстановление положения оси ШАЛ

- В каждом ряду фиксируется положение детектора с **максимальным энерговыделением**
- Ряду присваивается вес, равный **сумме энерговыделений всех его ячеек**
- Через получившийся набор точек проводится **прямая с помощью МНК**
- Аналогичная процедура **проделывается со столбцами**
- **Пересечение двух прямых считается истинным положением оси ливня**

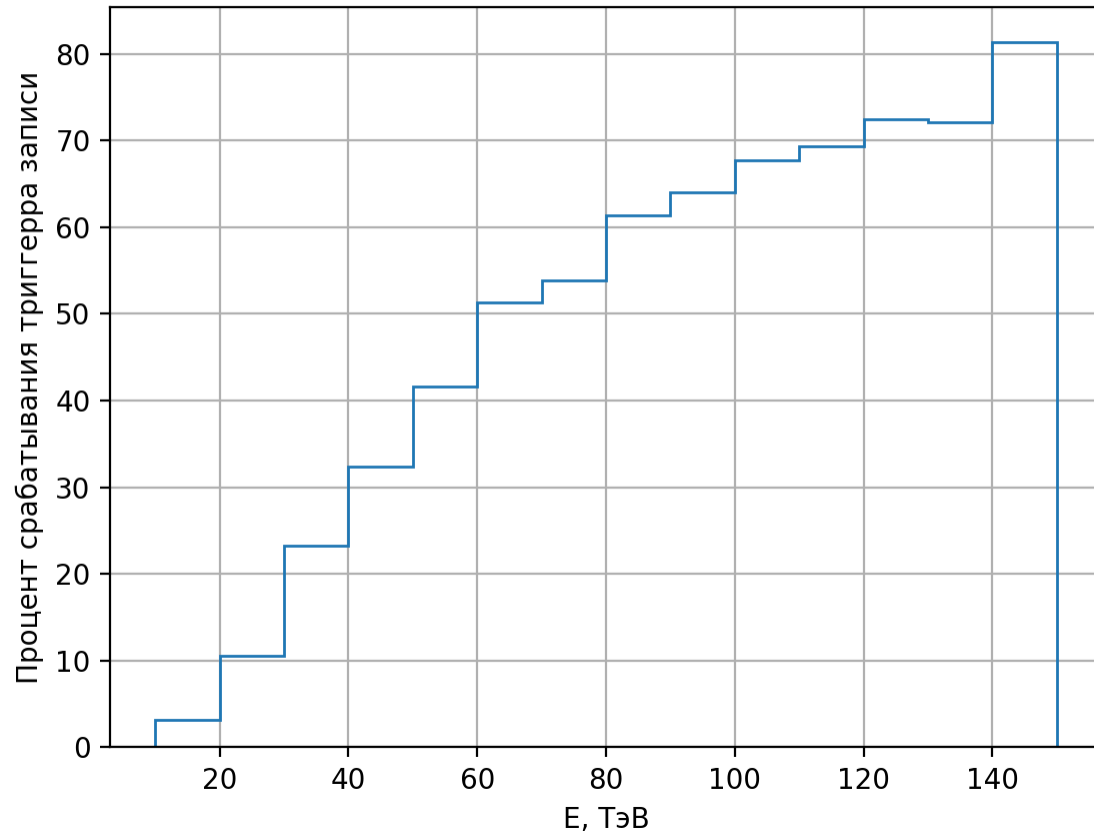


Триггеры записи и реконструкции

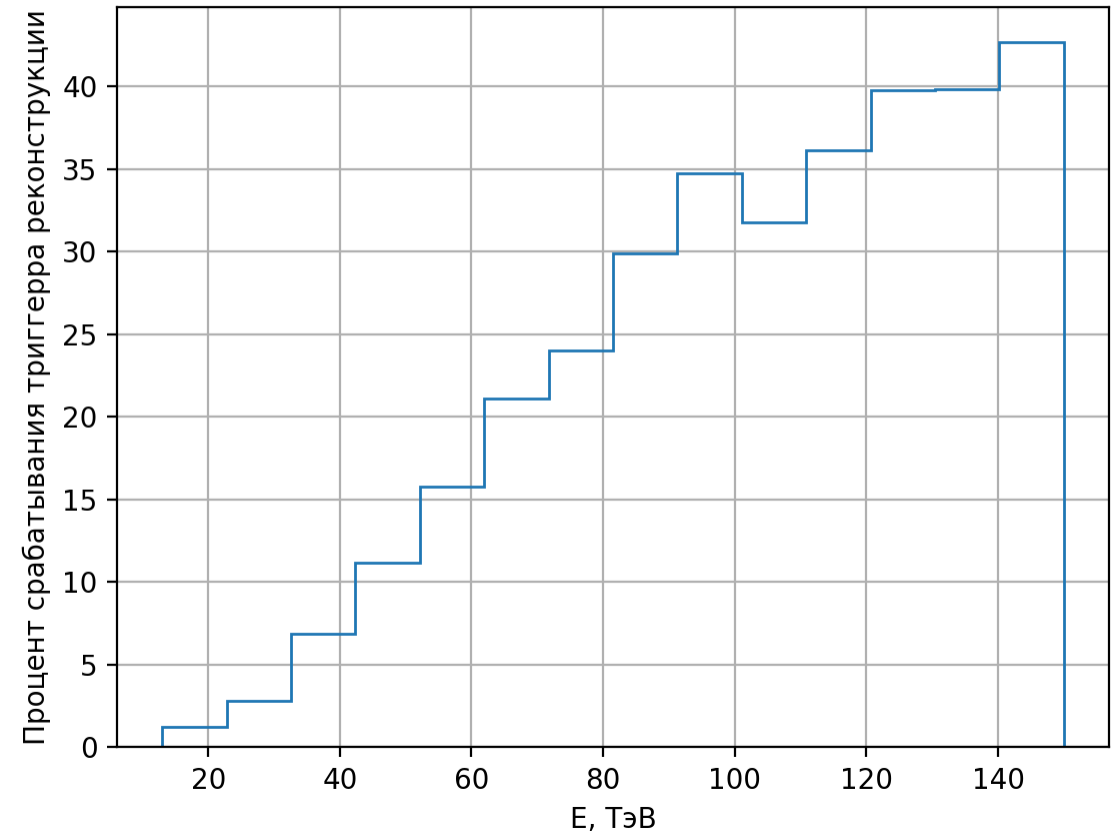
- ❖ Суммарное энерговыделение в центральном «Ковре» превышает 15 р.ч.
- ❖ С порогом 0,5 р.ч. сработали 4 ОСНОВНЫХ ВЫНОСНЫХ ПУНКТА
- ❖ Суммарное энерговыделение в центральном «Ковре» превышает 15 р.ч.
- ❖ С порогом 0,5 р.ч. сработали 4 ОСНОВНЫХ ВЫНОСНЫХ ПУНКТА
- ❖ Количество сработавших с порогом 0,5 р.ч. детекторов превышает 50
- ❖ Ось ливня восстановлена внутри центрального «Ковра»
- ❖ Восстановленный зенитный угол не превышает 40 градусов

Оценка эффективности срабатывания триггеров

Фотонные ливни

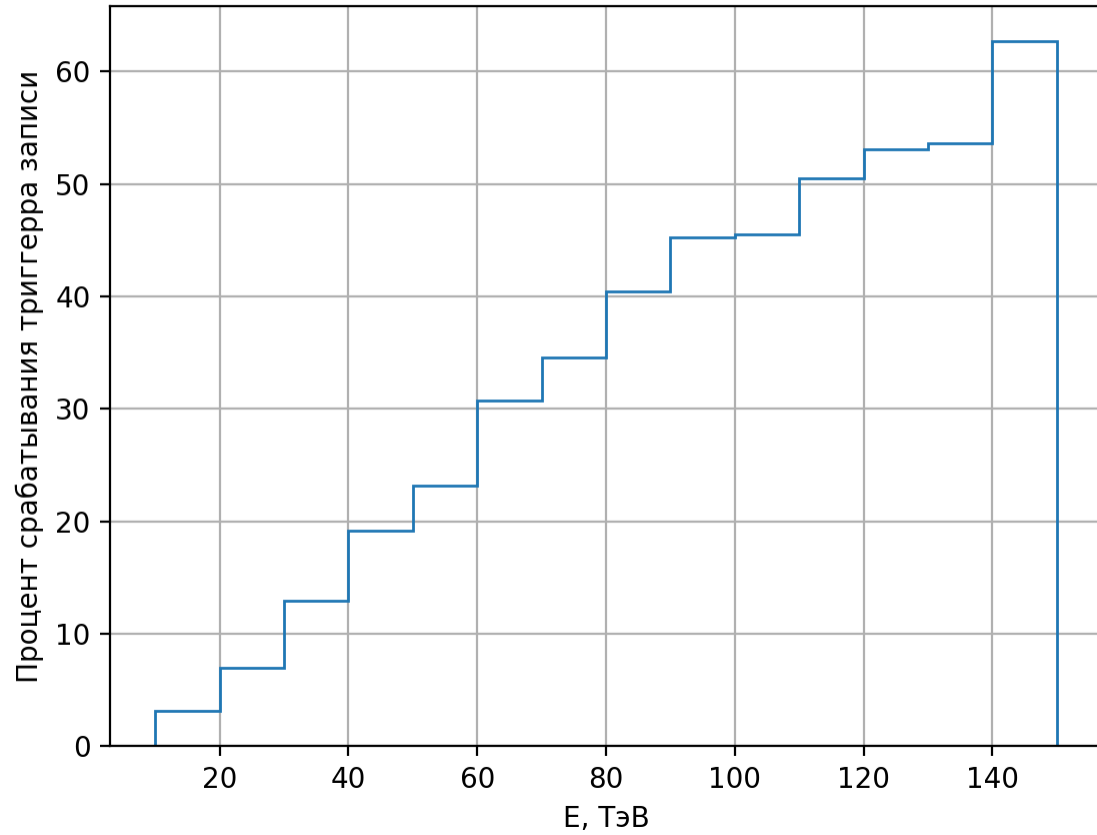


Фотонные ливни

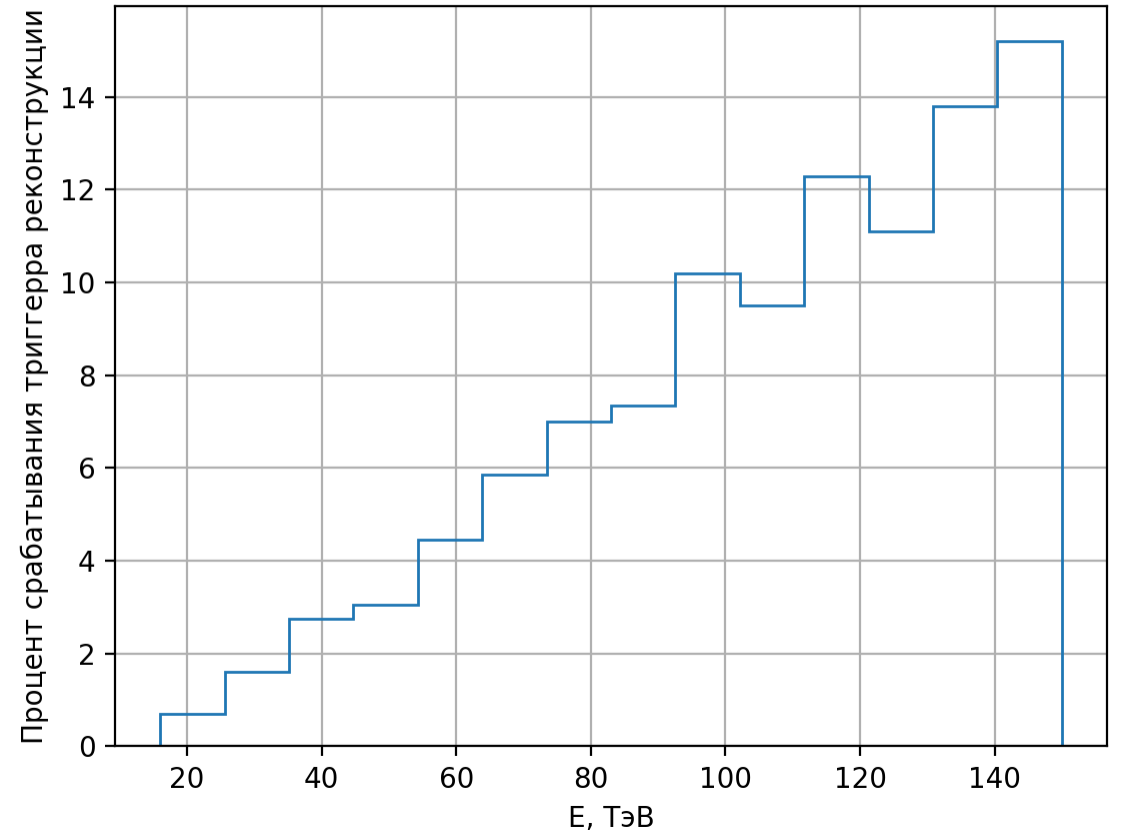


Оценка эффективности срабатывания триггеров

Протонные ливни

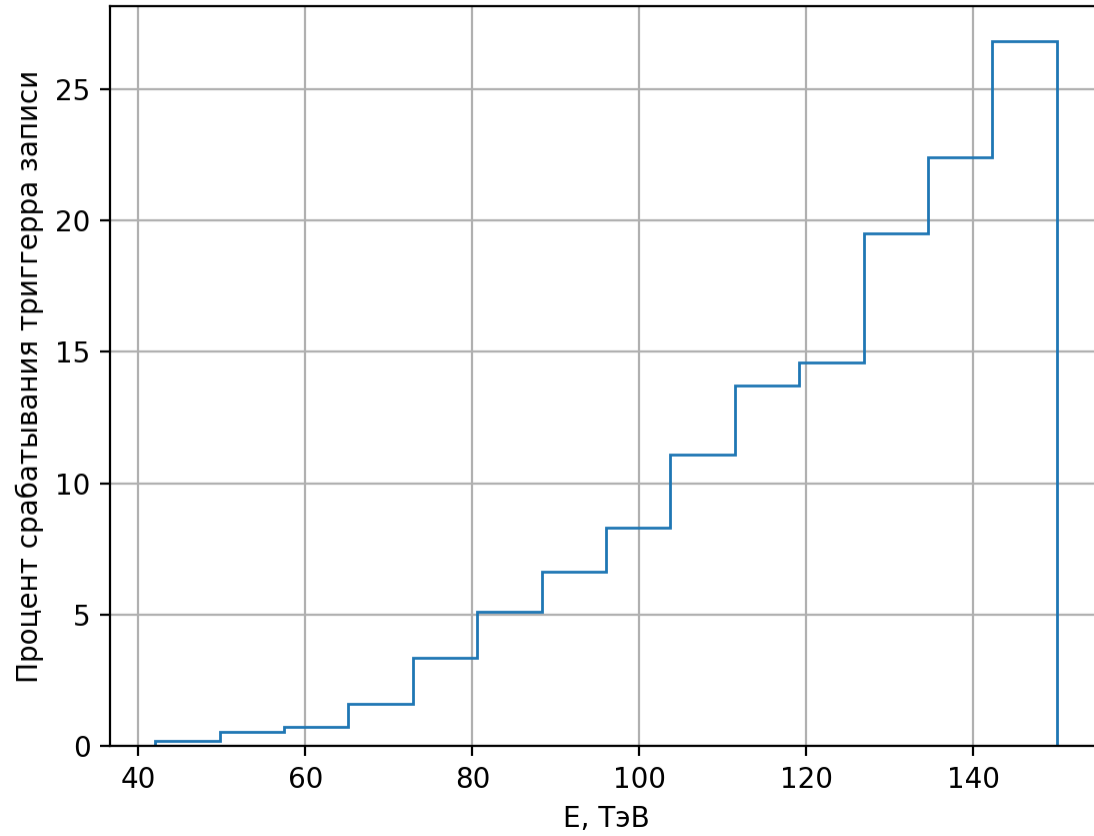


Протонные ливни

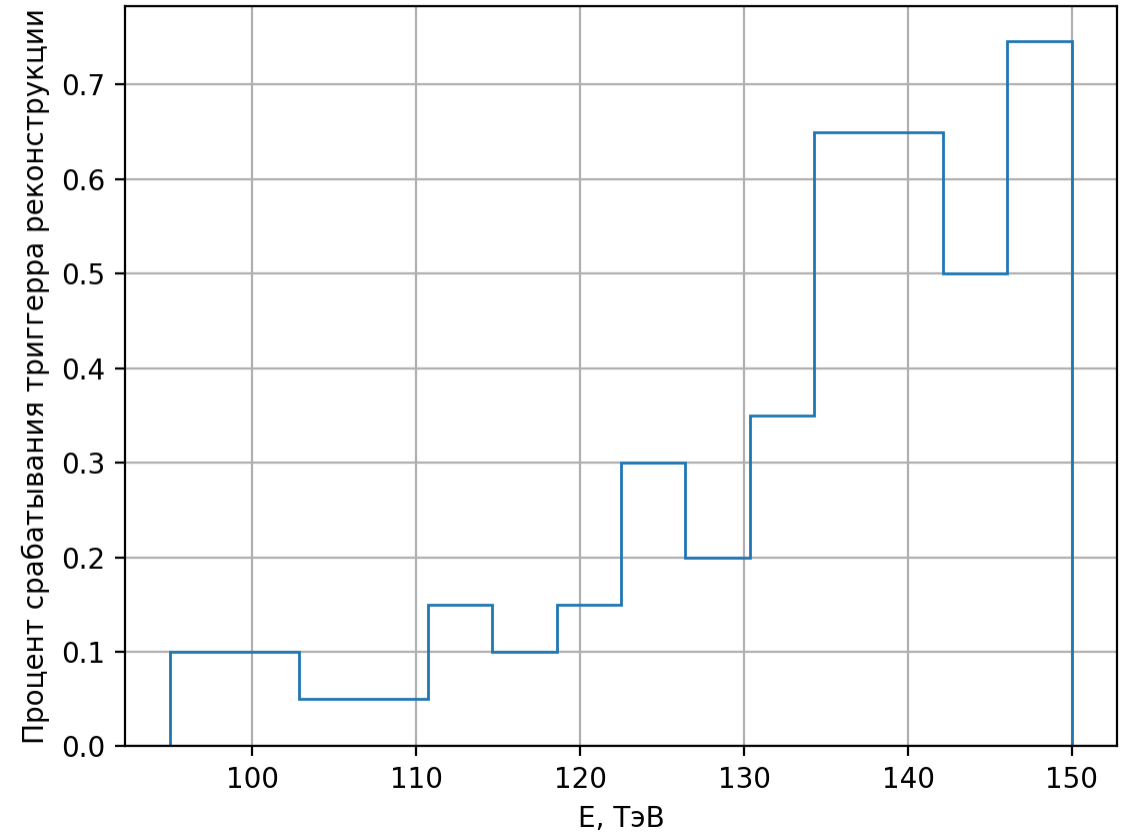


Оценка эффективности срабатывания триггеров

Железные ливни

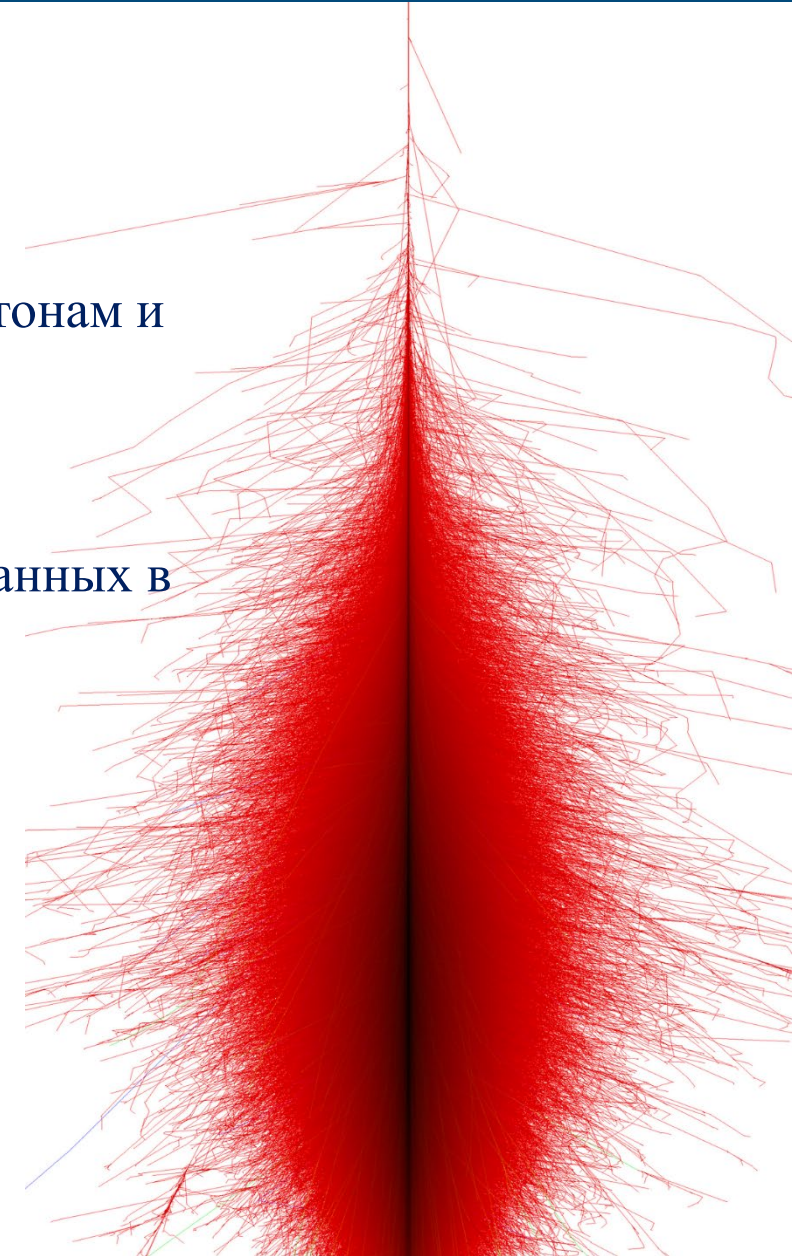


Железные ливни



Заключение

- ❖ Представлена детальная модель установки «Ковёр-3»
- ❖ Показана эффективность триггеров установки «Ковёр-3» к γ -квантам, протонам и железу с энергией **10-150 ТэВ**
- ❖ На данный момент происходит дальнейшая обработка ливней, сгенерированных в CORSIKA, для оценки параметров установки
- ❖ В ближайшие планы входит разработка более совершенных методов реконструкции параметров ШАЛ на основе результатов моделирования



Спасибо за внимание!

Коллаборация «Ковер-3»

В.С. Романенко^{a,b}, И.А. Вайман^a, Н.А. Васильев^c, Е.А. Горбачева^a, Д.Д. Джаппуев^a, Т.А. Джатдоев^{a,c}, И.М. Дзапарова^a,
К.В. Журавлева^a, И.С. Карпиков^a, Н.Ф. Клименко^a, А.У. Куджаев^a, А.Н. Куреня^a, А.С. Лидванский^a, О.И. Михайлова^a, В.В. Петков^a,
Е.И. Подлесный^d, Н.А. Позднухов^a, Г.И. Рубцов^a, С.В. Троицкий^{a,c}, И.Б. Унатлоков^a, М.М. Хаджиев^a, А.Ф. Янин^a.

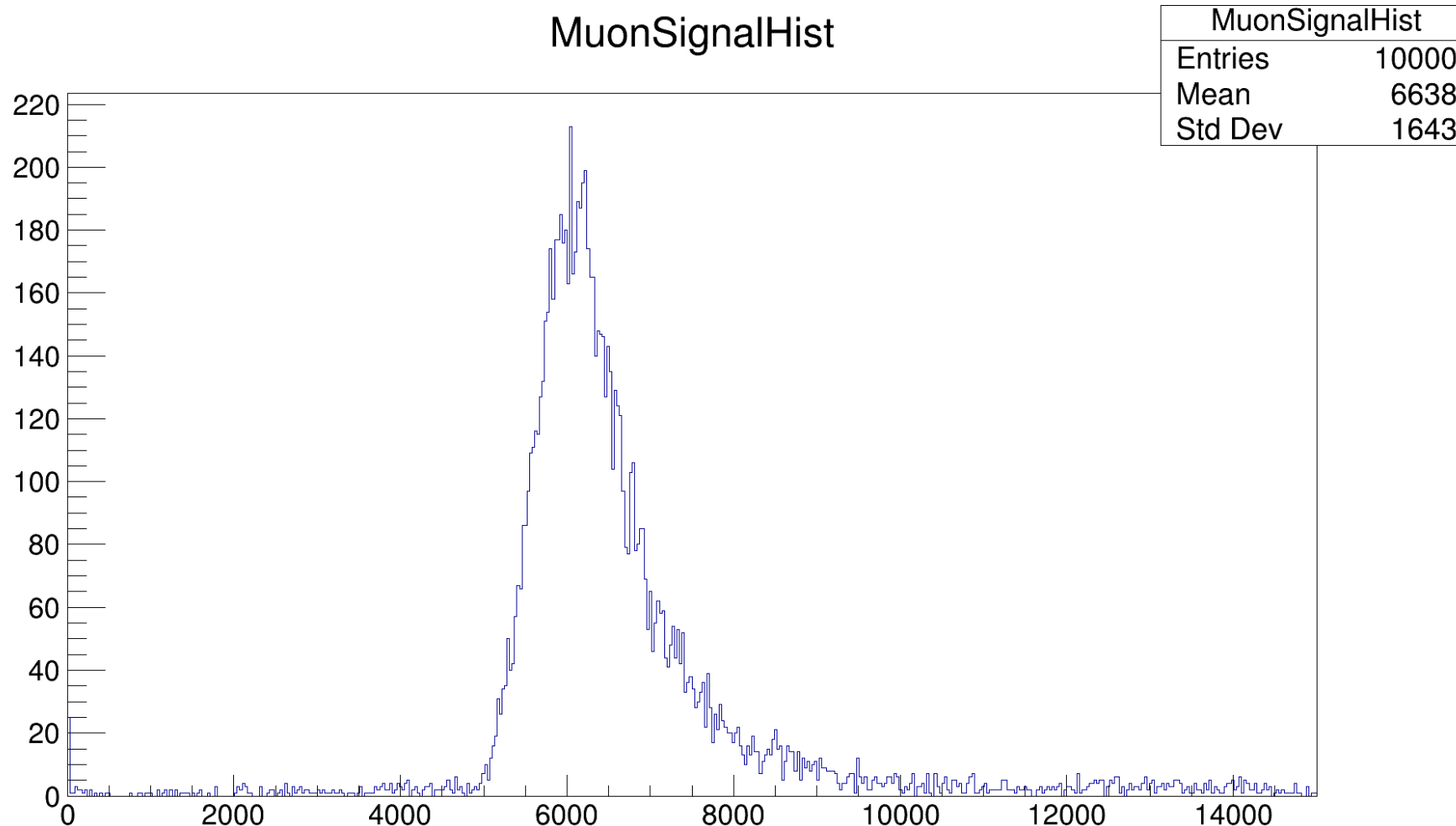
^a Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва

^b Адыгейский Государственный Университет, Майкоп

^c Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

^d Норвежский университет науки и технологий, Тронхейм, Норвегия

Результат 10^4 симуляций в GEANT4 для 1000 фотонов на МэВ ионизации



Восстановление направления прихода ШАЛ в приближении плоскости

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m (n_x x_i + n_y y_i - c(t_i - t_0))^2$$

$$n_x = \frac{\langle xy \rangle (\langle yt \rangle - \langle y \rangle \langle t \rangle) + \langle x \rangle (\langle y^2 \rangle \langle t \rangle - \langle y \rangle \langle yt \rangle) + \langle xt \rangle (\langle y \rangle^2 - \langle y^2 \rangle)}{\langle x^2 \rangle \langle y \rangle^2 + \langle x \rangle^2 \langle y^2 \rangle - 2 \langle x \rangle \langle y \rangle \langle xy \rangle + \langle xy \rangle^2 - \langle x^2 \rangle \langle y^2 \rangle} c,$$

$$n_y = \frac{\langle xy \rangle (\langle xt \rangle - \langle x \rangle \langle t \rangle) + \langle y \rangle (\langle x^2 \rangle \langle t \rangle - \langle x \rangle \langle xt \rangle) + \langle yt \rangle (\langle x \rangle^2 - \langle x^2 \rangle)}{\langle x^2 \rangle \langle y \rangle^2 + \langle x \rangle^2 \langle y^2 \rangle - 2 \langle x \rangle \langle y \rangle \langle xy \rangle + \langle xy \rangle^2 - \langle x^2 \rangle \langle y^2 \rangle} c,$$

Чертёж мюонного детектора

