

Содержание мюонов в широких атмосферных ливнях по измерениям на Якутской установке

А. В. Глушков, К. Лебедев, А. Сабуров

Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН им. Ю. Г. Шафера

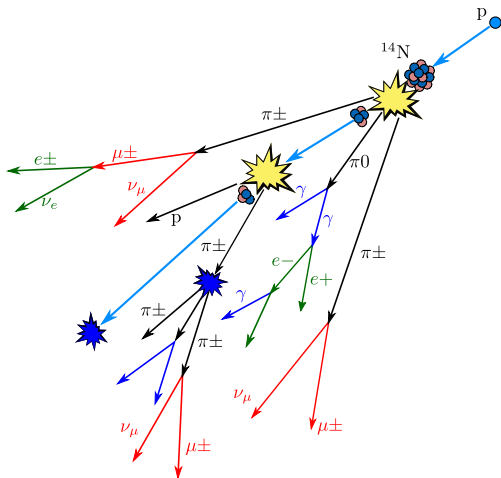
**37 Всероссийская конференция по космическим лучам
МИФИ, Москва, 28 июня 2022 г.**

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

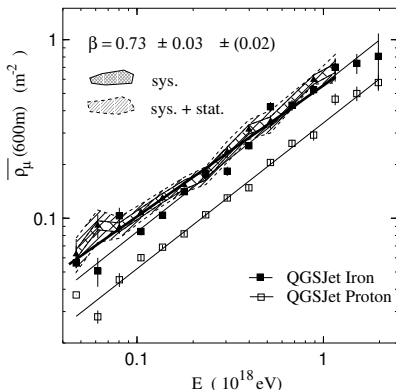
Значительная доля мюонов на уровне наблюдения — потомки адронов, рожденных в первых актах развития ШАЛ: параметры адронных взаимодействий сверхвысоких энергий

- Характеристики первичных частиц КЛСВЭ (массовый состав)



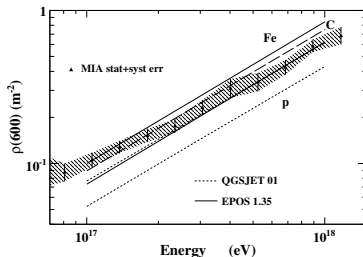
Избыток мюонов в ШАЛ

Abu-Zayyad et al, PRL **84** 4276 (2000)

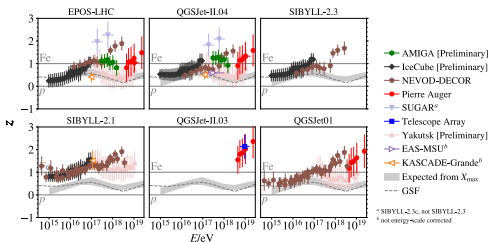


Ни одна из имеющихся моделей не дает адекватного описания мюонной компоненты ШАЛ в экспериментальных данных.

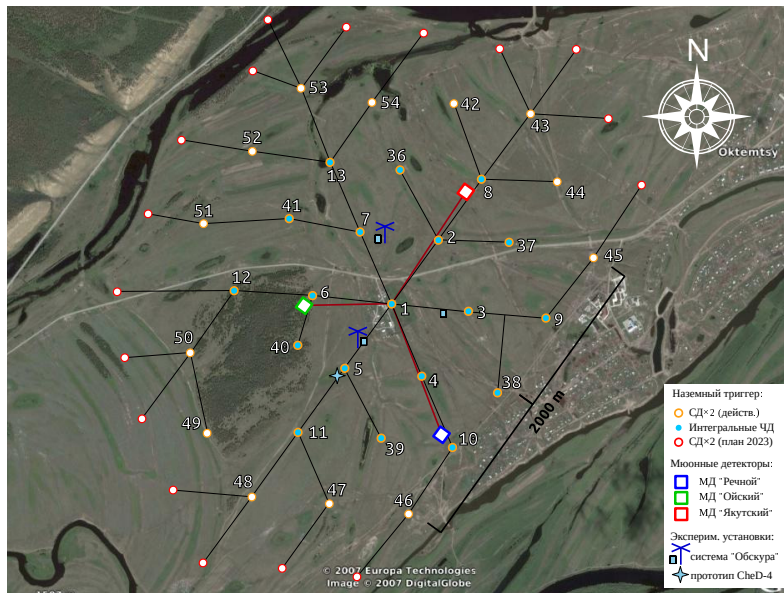
Pierog & Werner, PRL **101** 171101 (2008)

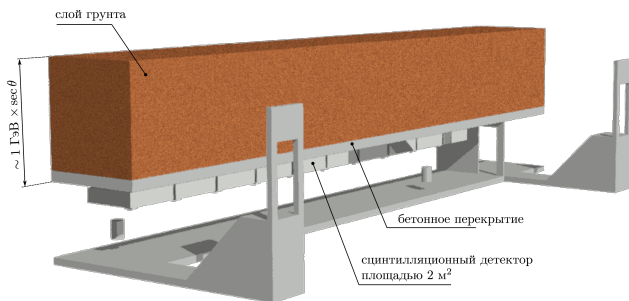


Kazon for WHISP, PoS(ICRC2021)214



Измерение мюонной компоненты ШАЛ на Якутской установке



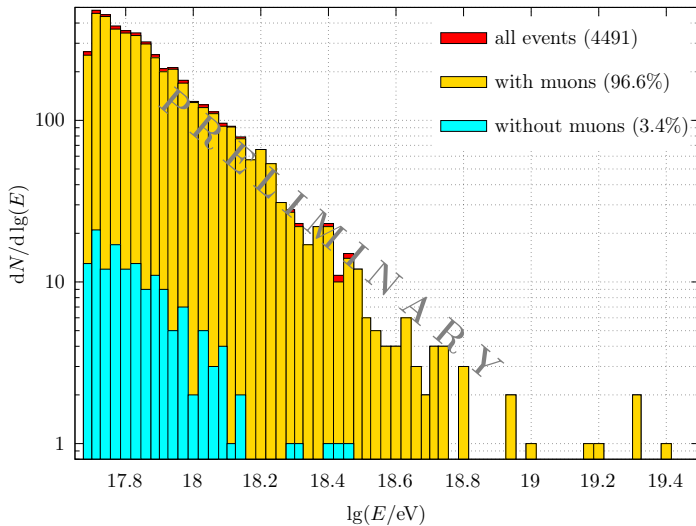


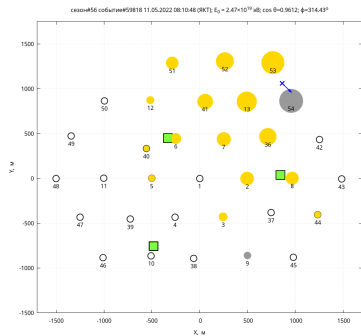
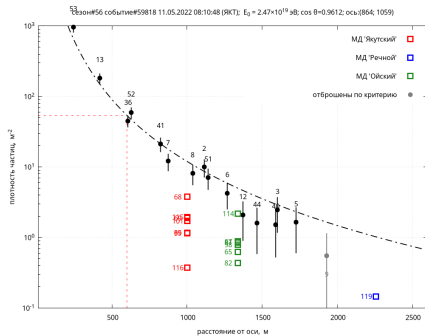
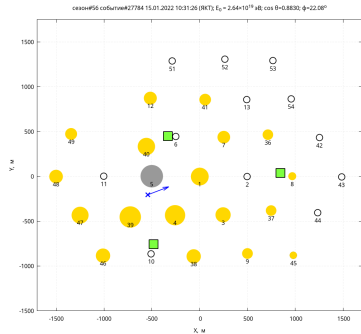
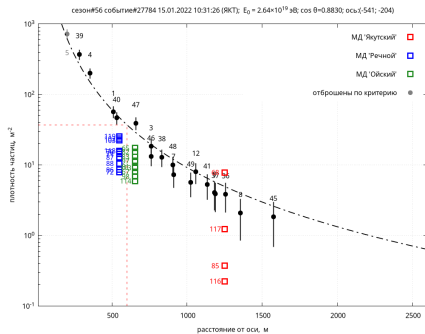
Отклик в 5-см пластике:

$$\rho_{\mu}(r) = \frac{\Delta \varepsilon_{\mu}(r)}{\Delta \varepsilon_1};$$

$$\Delta \varepsilon_1 = 11.75 \text{ МэВ}.$$

- $10 \times 2 - \text{м}^2$ сцинтилляционных детекторов
- до 2019 г: по 2 детектора на 1 *LC*
- после 2020 г: 1 детектор на 1 *RC* $\rightarrow$ 10 амплитудных каналов





Предварительная оценка энергии:

$$E_{\text{est.}} = (4.8 \pm 1.6) \times 10^{17} \cdot \rho_s(600, 0^\circ)^{1.0 \pm 0.02},$$
$$\rho_s(600) = \rho_s(600, \theta) \cdot \exp \frac{(\sec \theta - 1) \cdot 1020}{\lambda},$$
$$\lambda = (450 \pm 44) + (32 \pm 15) \cdot \lg \rho_s(600, 0^\circ).$$

Разбиение выборки событий на бины по E :

$$\lg E_{\text{est.}} = (17.6 - 19.3)/\text{эВ},$$
$$\Delta \lg E_{\text{est.}} = 0.02/\text{эВ}.$$

Разбиение по расстоянию в каждом бине:

$$\Delta \lg r = 0.04 \text{ м}$$

Нормировка плотностей в индивидуальном событии:

$$\rho_\mu(r_i) = \rho_\mu^{\text{exp.}} \times \frac{\langle E_{\text{bin}} \rangle}{E_{\text{est.}}}$$

Средняя плотность на расстоянии r_i :

$$\langle \rho_\mu(r_i) \rangle = \sum \frac{\rho_\mu(r_i)}{N_1 + N_0},$$

- N_1 — число сработавших детекторов в i -м интервале расстояний;
- N_0 — число нулевых показаний.

$$\sigma^2(\rho_\mu(r_i)) = \frac{\frac{(\sum_k \rho_\mu^k(r_i))^2}{N_i} - \langle \rho_\mu(r_i) \rangle^2}{N_i \times (N_i - 1)},$$

$$\delta(\rho_\mu(r_i)) = \frac{\sigma(\rho_\mu(r_i))}{\langle \rho_\mu(r_i) \rangle}.$$

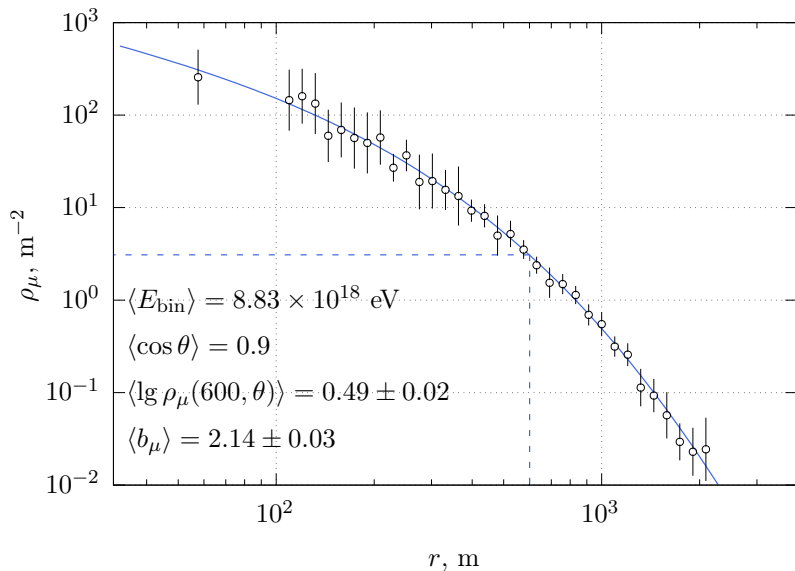
Аппроксимация:

$$\rho_\mu(r, \theta) = f_\mu(r, \theta) \times \left(\frac{2000 + 600}{2000 + r} \right)^{6.5},$$

$$f_\mu(r, \theta) = \rho_\mu(600, \theta) \cdot \left(\frac{600}{r} \right)^{0.75} \cdot \left(\frac{r_0 + 600}{r_0 + r} \right)^{b_\mu - 0.75},$$

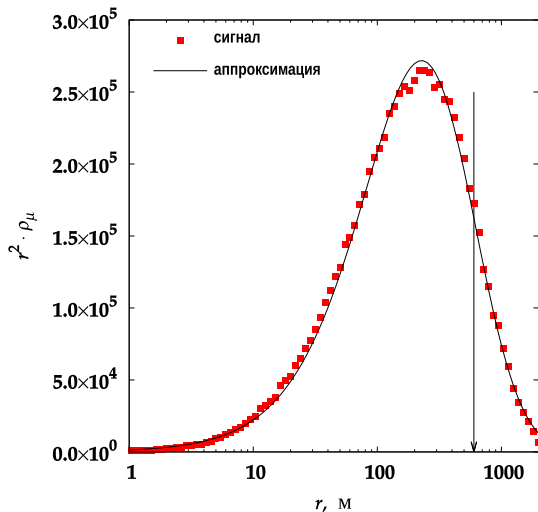
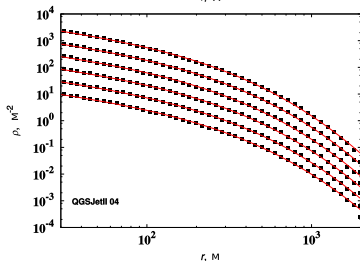
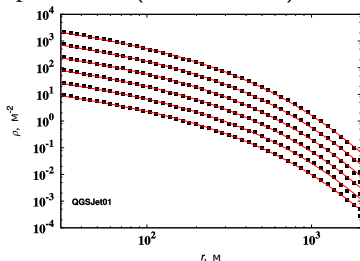
- $r_0 = 280$;
- $\rho_\mu(600, \theta)$, b_μ — свободные параметры.

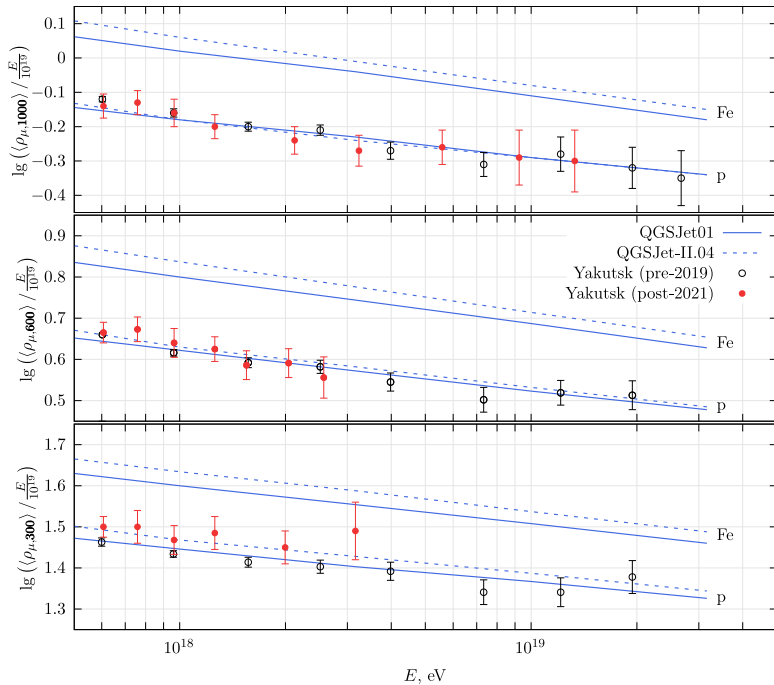
Среднее пространственное распределение мюонов ШАЛ



CORSIKA-7.3700, QGSJet01, QGSJet-II.04 (FLUKA, $\varepsilon_{\text{trans}} = 80$ ГэВ)

p, Fe, $E = (10^{17} - 10^{19.5})$ эВ, $\theta = 0^\circ - 60^\circ$.





- Измерены плотности потока мюонов в ШАЛ с энергиями $10^{17.6} - 10^{19.2}$ эВ на расстояниях от оси 600 м и 1000 м.
- Полученные значения согласуются с протонным составом КЛ с энергией выше 10^{18} эВ, оценка которого ранее была получена по плотности на расстоянии 300 м от оси в рамках моделей QGSJet01 и QGSJet01-II.04
- На всех трех расстояниях от оси (300, 600, 1000 м) не наблюдается избытка мюонов ШАЛ относительно модельных предсказаний.
- Показания мюонных детекторов в обновленной (10-канальной) конфигурации совместимы с оценками доли мюонов ШАЛ, полученными ранее.
- ...уточнение отклика мюонных детекторов —? (работа сейчас ведется).

Спасибо за внимание!

