

36-я Всероссийская конференция по космическим лучам - 2020

Статус эксперимента НЕВОД-ДЕКОР по исследованию энерговыделения групп мюонов

Е.А. Юрина,
Национальный исследовательский ядерный университет
“МИФИ”, от сотрудничества НЕВОД-ДЕКОР

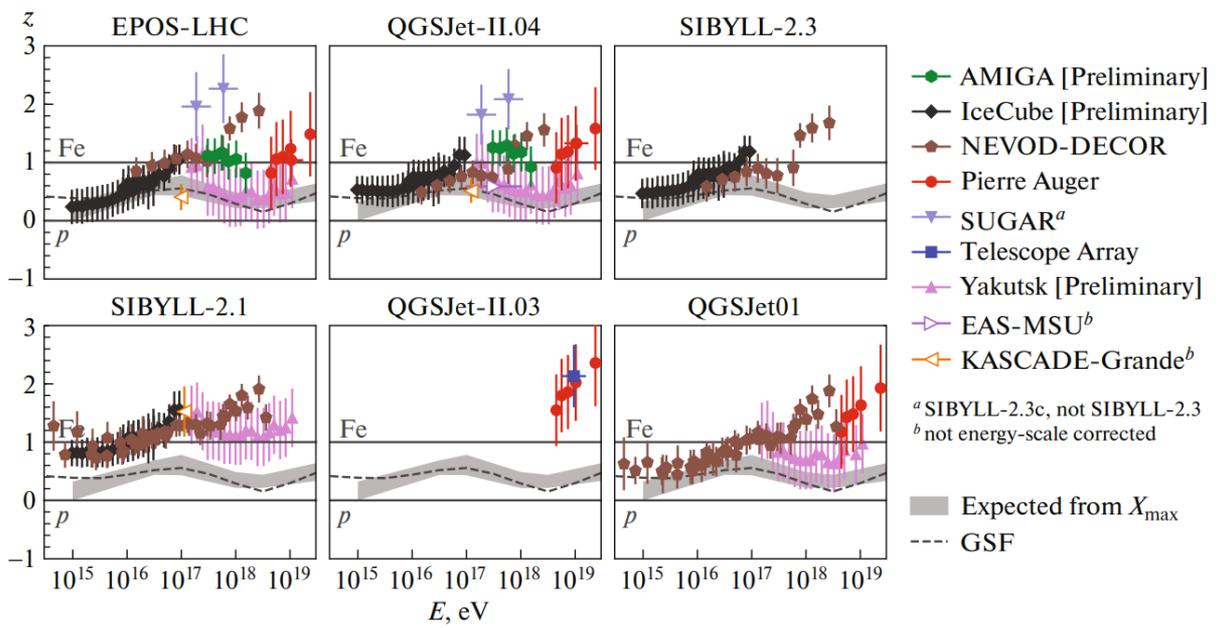
eaayurina@mephi.ru

30 сентября 2020

“Мюонная загадка” в космических лучах

Объединение результатов измерений мюонной компоненты ШАЛ

Dembinski H.P. et al. Physics of Atomic Nuclei, 2019, Vol. 82, No. 6, p. 644



$$z = \frac{\ln N_{\mu} - \ln N_{\mu p}^{sim}}{\ln N_{\mu Fe}^{sim} - \ln N_{\mu p}^{sim}}$$

$z=0$ для p ; $z=1$ для Fe

Подход к решению “мюонной загадки”

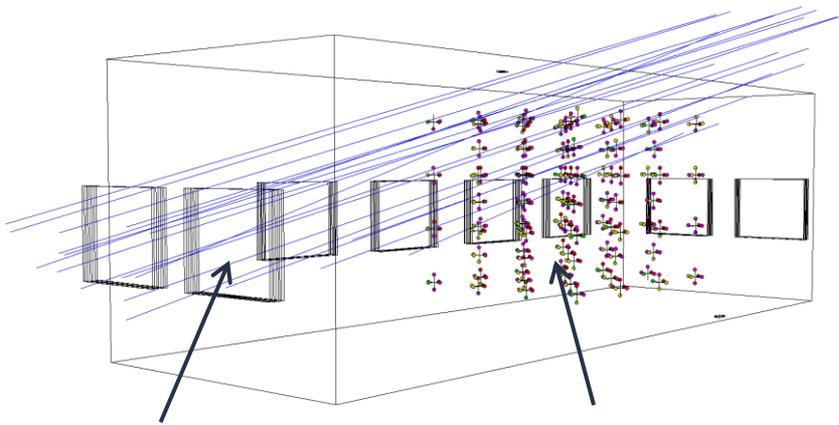
Поскольку различные механизмы появления избытка мюонных событий (космофизической либо ядерно-физической природы) должны по-разному сказываться на энергии мюонов, одним из возможных подходов к решению проблемы является исследование энергетических характеристик мюонной компоненты ШАЛ. С этой целью в эксперименте НЕВОД-ДЕКОР проводятся измерения энерговыделения групп мюонов в веществе детектора.

Средние энергетические потери мюонов в веществе практически линейно зависят от энергии мюонов:

$$dE_{\mu} / dX \sim a + bE_{\mu} .$$

Если появляется избыток мюонов высоких энергий, это должно отразиться на зависимости энергии мюонов от энергии первичных частиц.

Экспериментальная установка



Координатно-трековый
детектор ДЕКОР (70 м²)

Черенковский водный
калориметр НЕВОД (2000 м³)

Локальная плотность мюонов в событии и направление их прихода измеряются по данным ДЕКОР. Энергия первичной частицы оценивается по этим данным.

Локальная плотность мюонов рассчитывалась по формуле:

$$D = (m - \beta) / S_{\text{дет}}$$

где m – количество мюонов в группе, $\beta = 2.1$ – наклон интегрального СЛПМ, $S_{\text{дет}}$ – эффективная площадь СМ ДЕКОР для заданного направления прихода группы.

Энерговыведение групп мюонов (сумма сигналов всех ФЭУ Σ в фотоэлектронах) измеряется в черенковском водном калориметре НЕВОД.

Суммарное энерговыведение пропорционально локальной плотности мюонов, поэтому в дальнейшем рассматриваем удельное энерговыведение Σ/D (отклик нормированный на плотность мюонов).

Экспериментальные данные

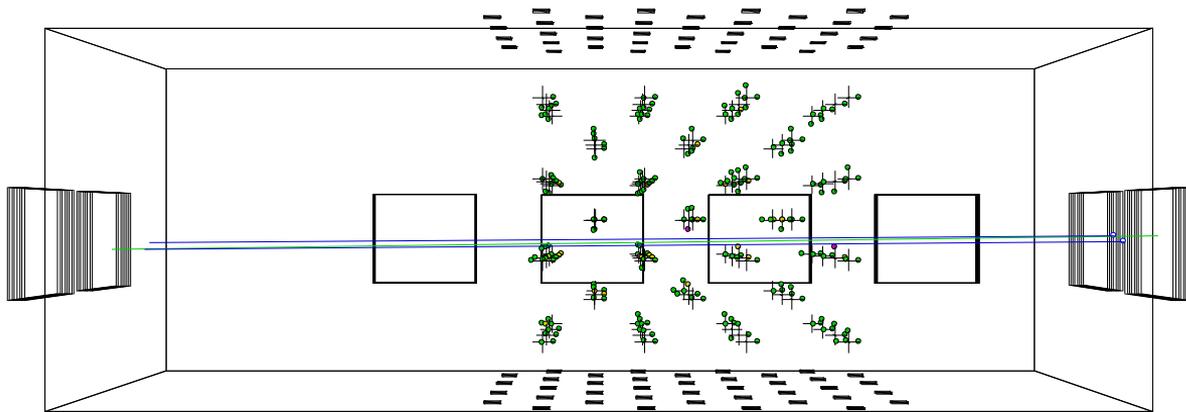
Три серии измерений (с июля 2013 г. по май 2020 г.)
 $m \geq 5$, $\theta \geq 55^\circ$, два 60-градусных сектора по азимуту

Серия	Число событий	“Живое” время, ч (интенсивность соб./ч)
11-я (026-455)	19923	11897 (1.67)
12-я (001-884)	46647	27234 (1.71)
13-я (000-233)	13508	7770 (1.74)
Сумма	80078	46901 (1.71)

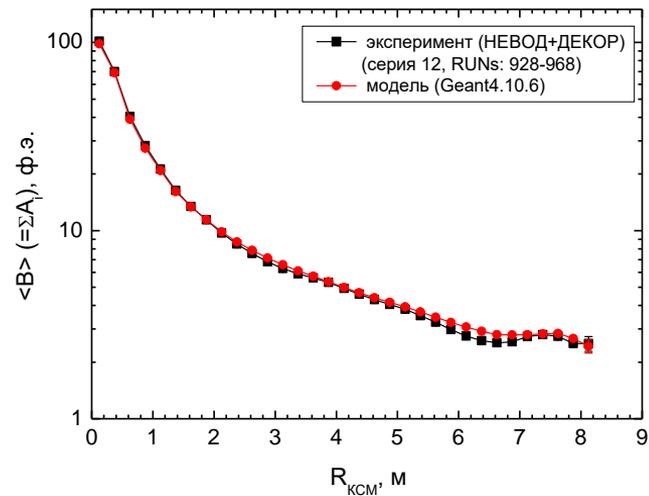
Моделирование отклика установок НЕВОД-ДЕКОР

Проведено моделирование энерговыделения групп мюонов с фиксированными энергиями мюонов 100 ГэВ на установках НЕВОД-ДЕКОР. События с группами разыгрывались по спектру локальной плотности мюонов с наклоном, близким к экспериментальному. В моделировании учтены физические особенности установок и условия аппаратного, программного и операторского отбора событий с группами мюонов. Для событий, удовлетворяющих условиям отбора, рассчитывался отклик черенковского водного калориметра НЕВОД с помощью пакета Geant4. Модель ЧВК НЕВОД была проверена и откалибрована по отклику на одиночные околоразрывные мюоны.

Калибровка модели ЧВК НЕВОД по отклику на одиночные околоразорительные мюоны

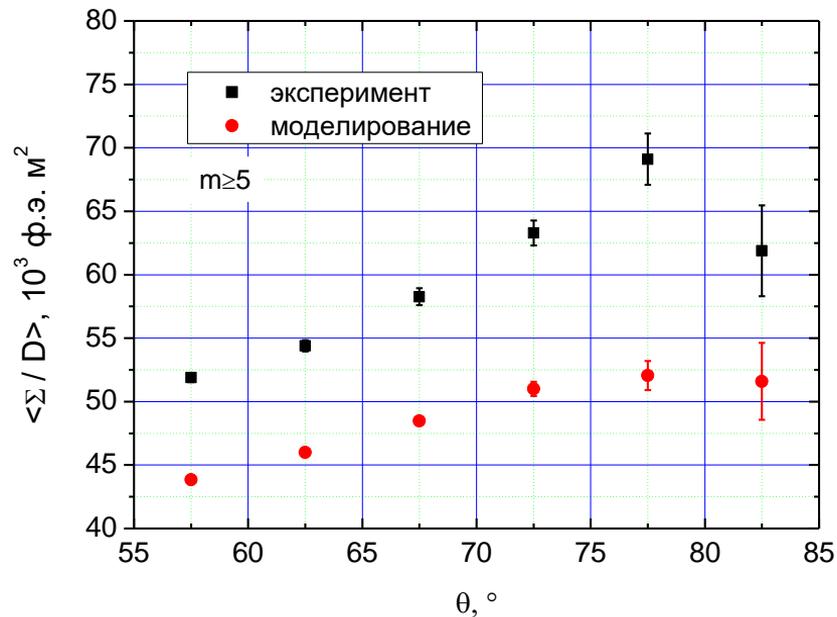


Зависимость среднего отклика КСМ ($B = \sum A_i$) от расстояния до трека мюона



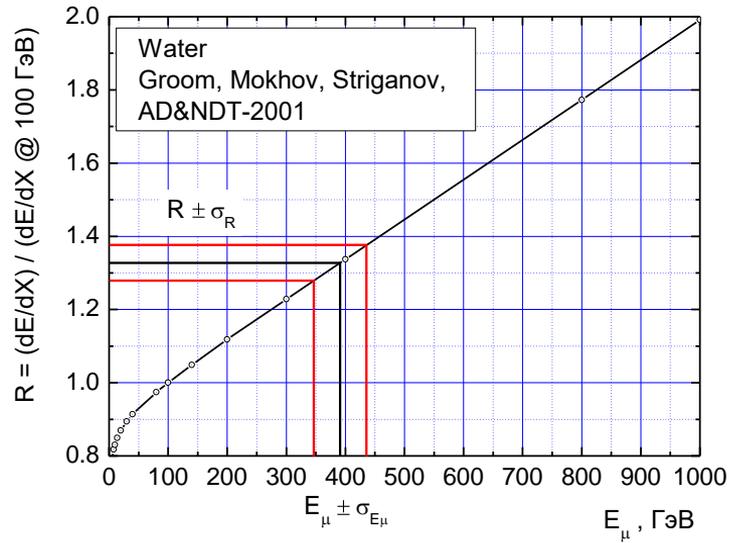
Зависимость среднего удельного энергосвечения от зенитного угла

Черные квадраты - экспериментальные данные. Красные кружки - моделированное удельное энергосвечение групп мюонов с фиксированными энергиями мюонов 100 ГэВ.

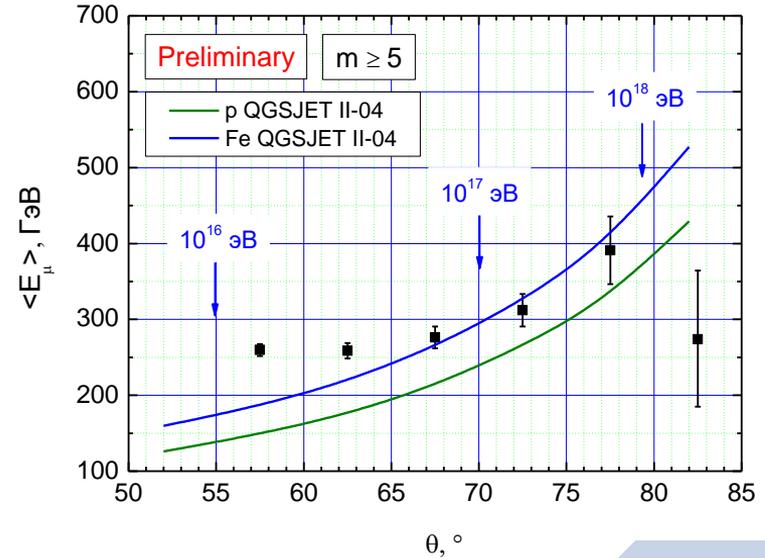


Переход от средних удельных потерь мюонов в воде к энергии мюонов в группах

Средние удельные потери мюонов, нормированные на потери при энергии 100 ГэВ

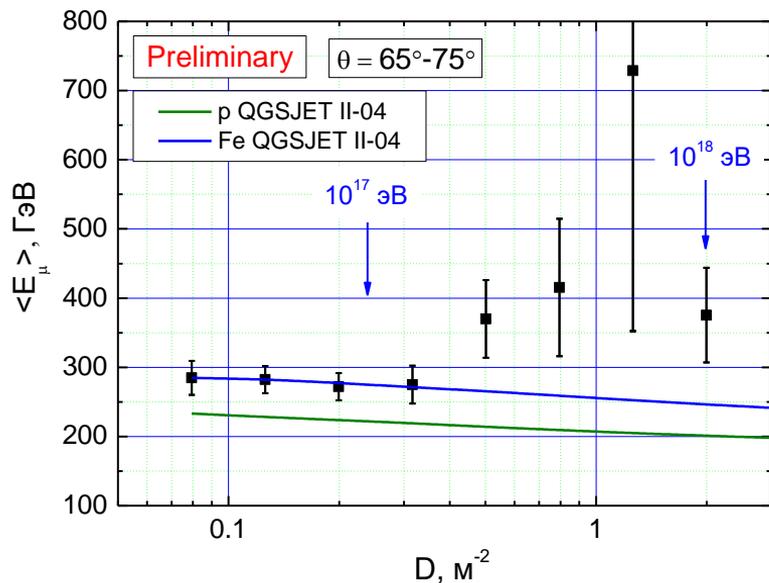


Зависимость средней энергии мюонов в группах от зенитного угла



Зависимость энергии мюонов в группах от локальной плотности мюонов

Данные указывают на увеличение средней энергии мюонов в группах при больших плотностях мюонов (что соответствует эффективным энергиям первичных частиц более 10^{17} эВ).



Заключение

1. Эксперимент по измерению энерговыделения наклонных групп мюонов широких атмосферных ливней в широком диапазоне энергий первичных частиц 10^{16} - 10^{18} эВ проводится на установках НЕВОД-ДЕКОР (набор экспериментальных данных и увеличение статистики по моделированным данным). Продолжается поиск и анализ возможных систематических погрешностей.
2. Впервые получены оценки средней энергии мюонов в группах при разных зенитных углах. Зенитно-угловая зависимость средней энергии мюонов отражает увеличение средней энергии мюонов в группах. В зависимости средней энергии мюонов от их локальной плотности наблюдается указание на рост средней энергии мюонов в группах для первичных энергий более 10^{17} эВ.



Благодарю за внимание!

