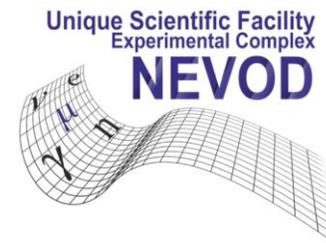


37 Всероссийская конференция по космическим лучам



Влияние образования тяжелых кварков на развитие ШАЛ

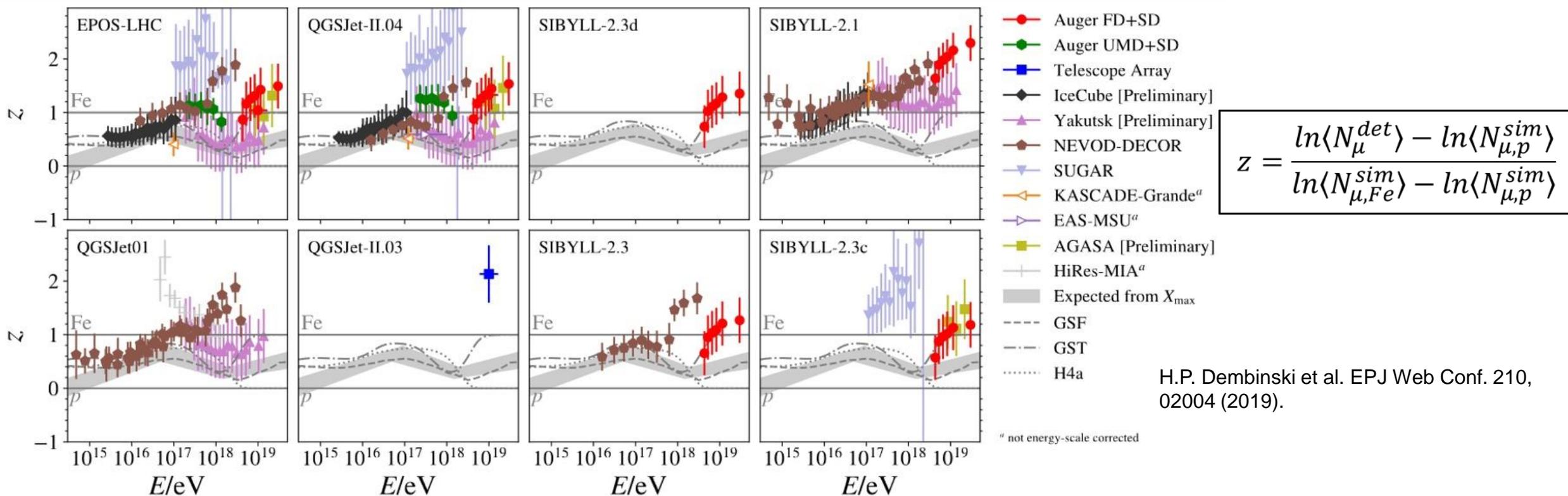
Р.В. Николаенко, А.А. Петрухин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
rvnikolaenko@mephi.ru

27 июня - 2 июля 2022

Введение

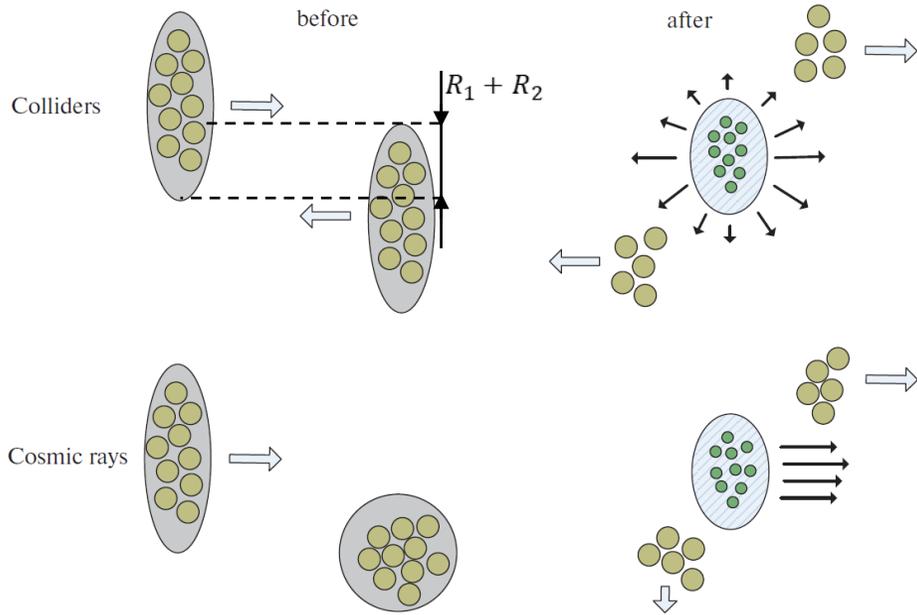
Мюонная загадка – избыток многомюонных событий в ШАЛ сверхвысоких энергий.



- Одним из возможных решений мюонной загадки является введение новой физики в процессы при ядро-ядерных взаимодействиях высоких энергий.
- Структура CORSIKA на данный момент не позволяет пользовательское изменение описания взаимодействий ядер.
- В работе рассматривается возможность использования **PYTHIA8** для расчета столкновений ядер в ходе моделирования ШАЛ в CORSIKA.

Гипотеза об образовании кварк-глюонной материи с большим угловым моментом

При нецентральных столкновениях ядер с большой энергией возможно формирование сгустка кварк-глюонной материи (СКГМ) с высокой поляризацией (большим значением полного углового момента).



Большой угловой момент приводит к появлению центробежного барьера, величина которого обратно пропорциональна массе частицы:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\hbar^2 J(J + 1)}{2mr^2}$$

$$\sigma \sim \pi \lambda^2 \rightarrow \sigma \sim \pi (\lambda + R)^2 \text{ или } \sigma \sim \pi (R_1 + R_2)^2$$

$$J(b) = \frac{1}{2} A \frac{b}{\hbar c} \sqrt{S_{NN}} = \frac{1}{2} A^{4/3} \frac{\zeta}{\hbar c} r_0 \sqrt{S_{NN}}$$

$$\zeta = \frac{b}{R}$$

$$r_0 = (1.25 \pm 0.05) \text{ фМ}$$

$$\sqrt{S_{NN}} = 2m_N \cdot (E_N + m_N)$$

Создаются условия для образования и вылета с поверхности СКГМ тяжелых частиц: t -лептонов, W -, Z -бозонов и b - и даже t -кварков.

РУТНІА как генератор столкновений тяжелых ионов

Fe-N
 $E_0 = 10^{18}$ эВ

Fe-N
 $E_0 = 10^{18}$ эВ

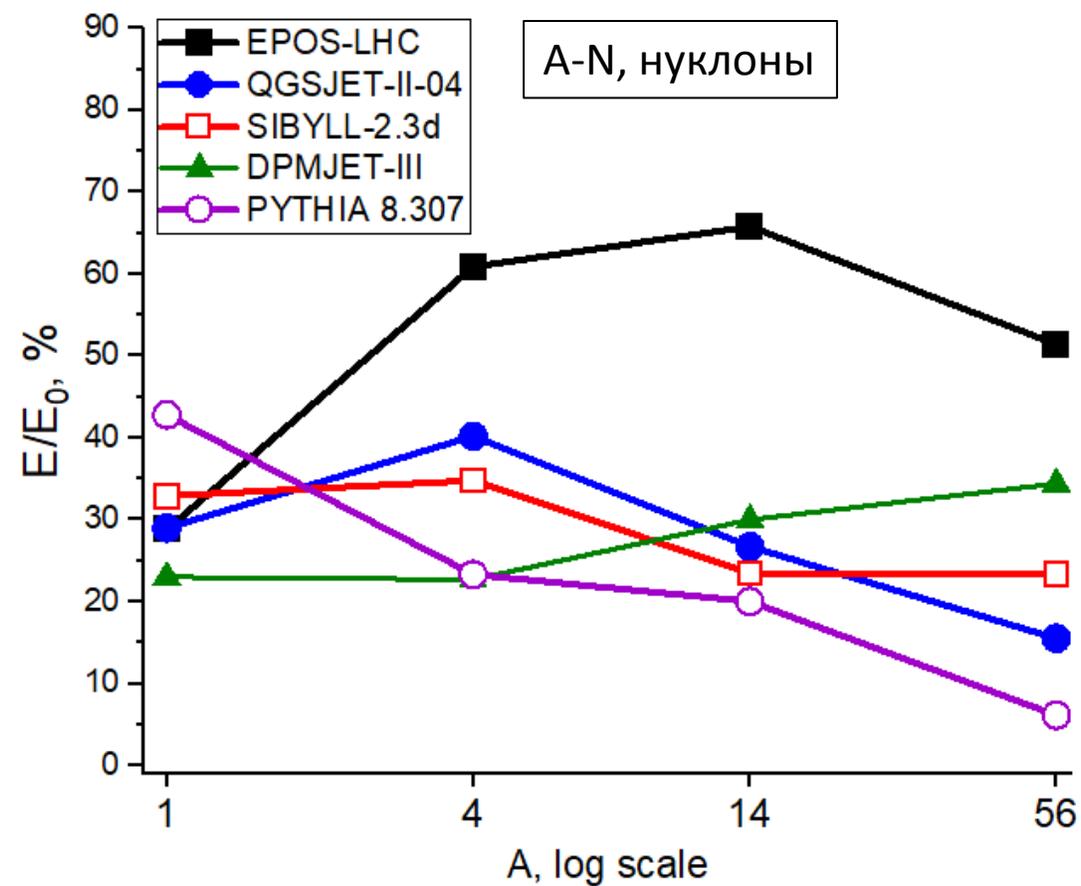
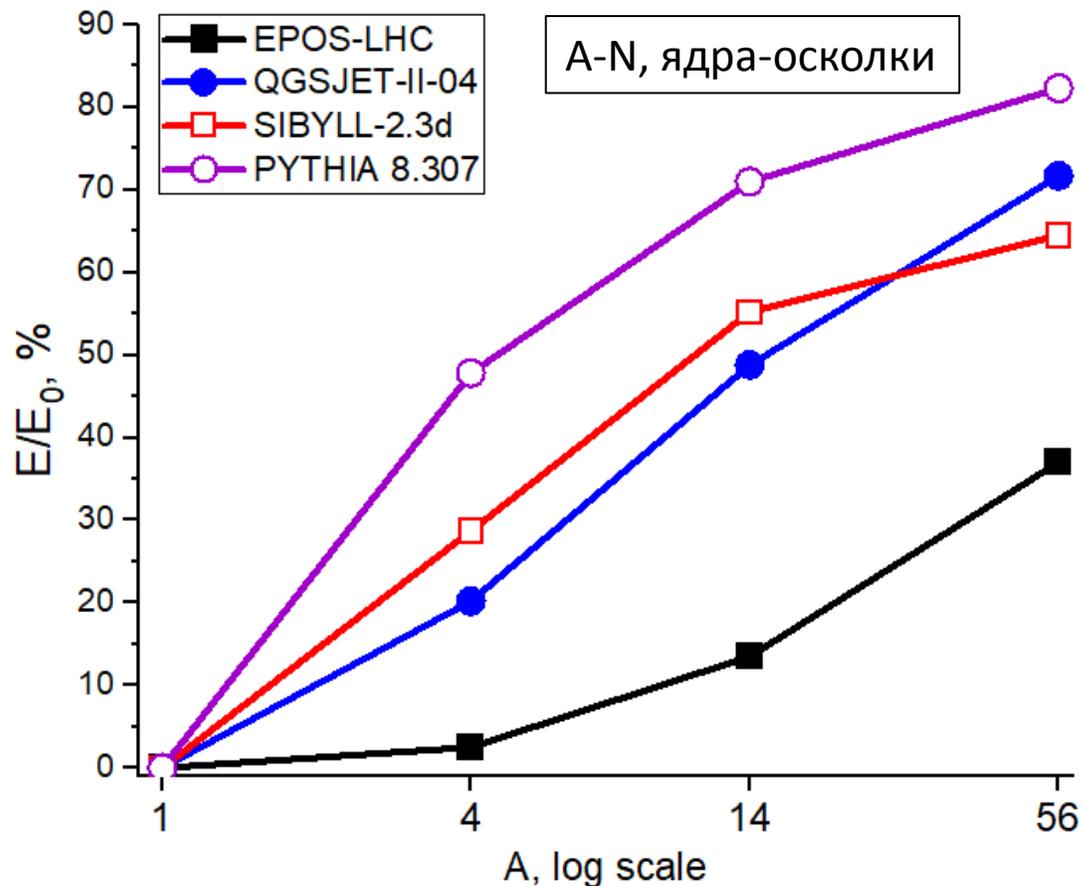
Сравнение распределений по множественности вторичных протонов (слева) и положительных пионов π^+ (справа), образованных в столкновениях железо-азот, $E_0 = 10^{18}$ эВ, согласно РУТНІА (модель Angantyr) и нескольких моделей адронных взаимодействий, используемых в CORSIKA.

РУТНІА как генератор столкновений тяжелых ионов

Столкновения азот-азот (N-N), $E_0 = 10^{18}$ эВ

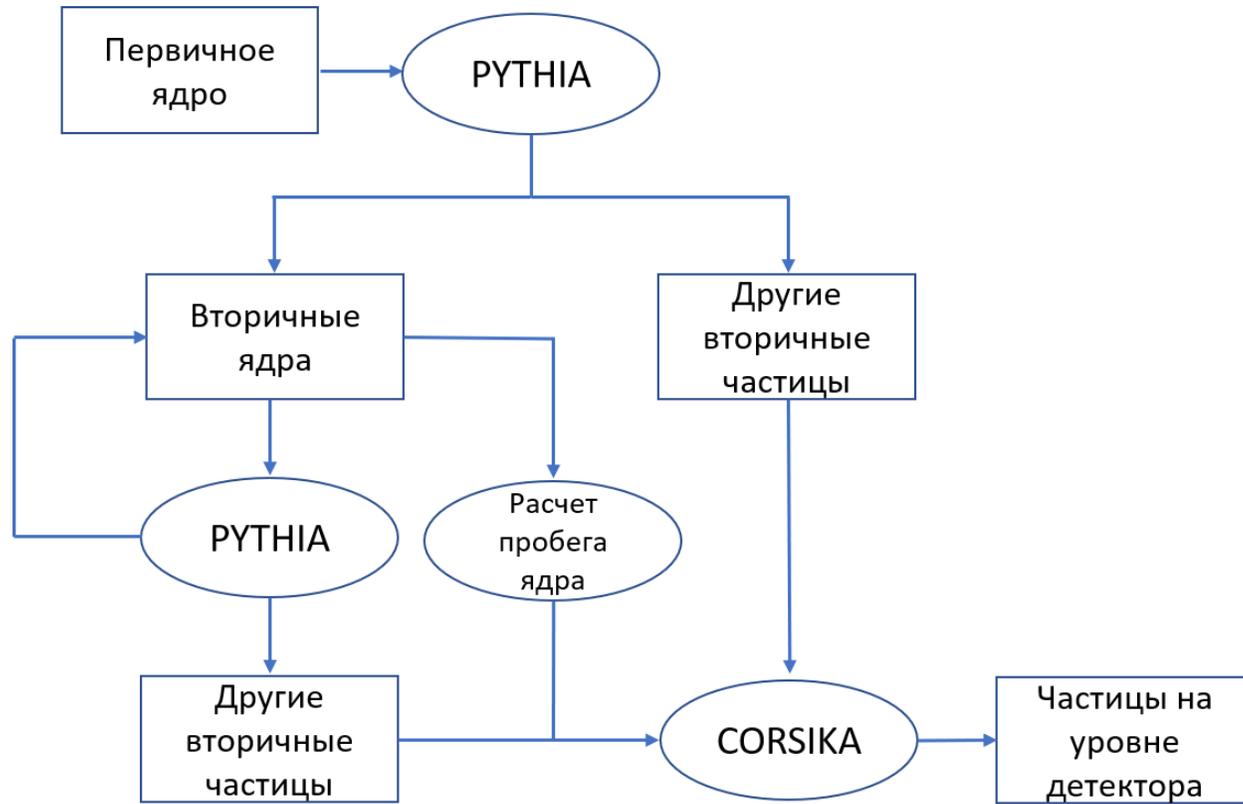
Тип вторичных частиц	Среднее число частиц			
	EPOS-LHC	QGSJET-II-04	SIBYLL-2.3d	РУТНІА
γ от π^0	293	592	153	437
Заряженные пионы	295	571	137	367
Нейтральные каоны	38.7	67.7	28.9	39.6
Заряженные каоны	39.7	68.1	28.9	40.1
Нуклоны	33.6	41.3	38.6	34.1
Антинуклоны	18.6	30.8	26.1	25.6
Ядра ($A \geq 2$)	0.37	1.42	1.03	1.96

РУТНІА как генератор столкновений тяжелых ионов

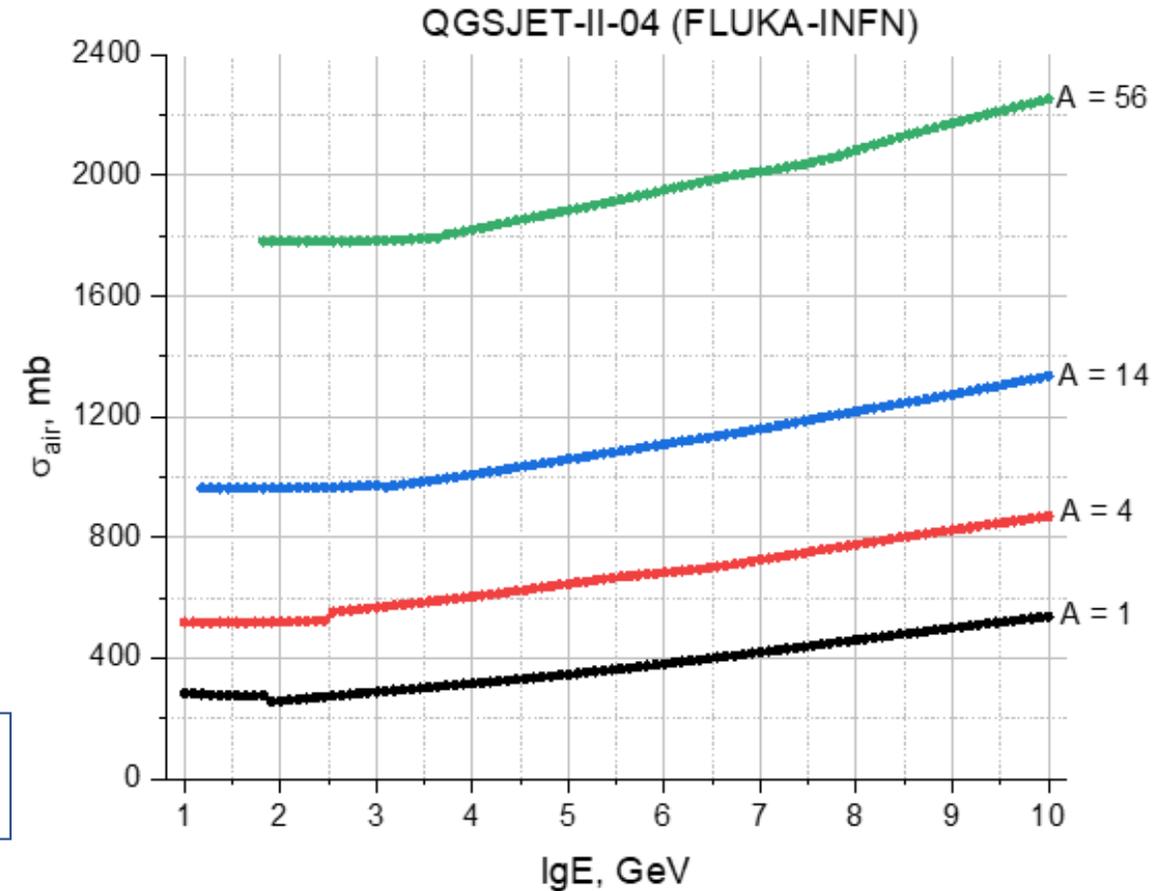


Средние доли энергии, уносимые ядрами-осколками (слева) и вторичными нуклонами (справа) во взаимодействиях первичного ядра с массовым числом A с энергией $E_0 = 10^{18}$ эВ с ядром азота (A-N).

Интерфейс между CORSIKA и PYTHIA



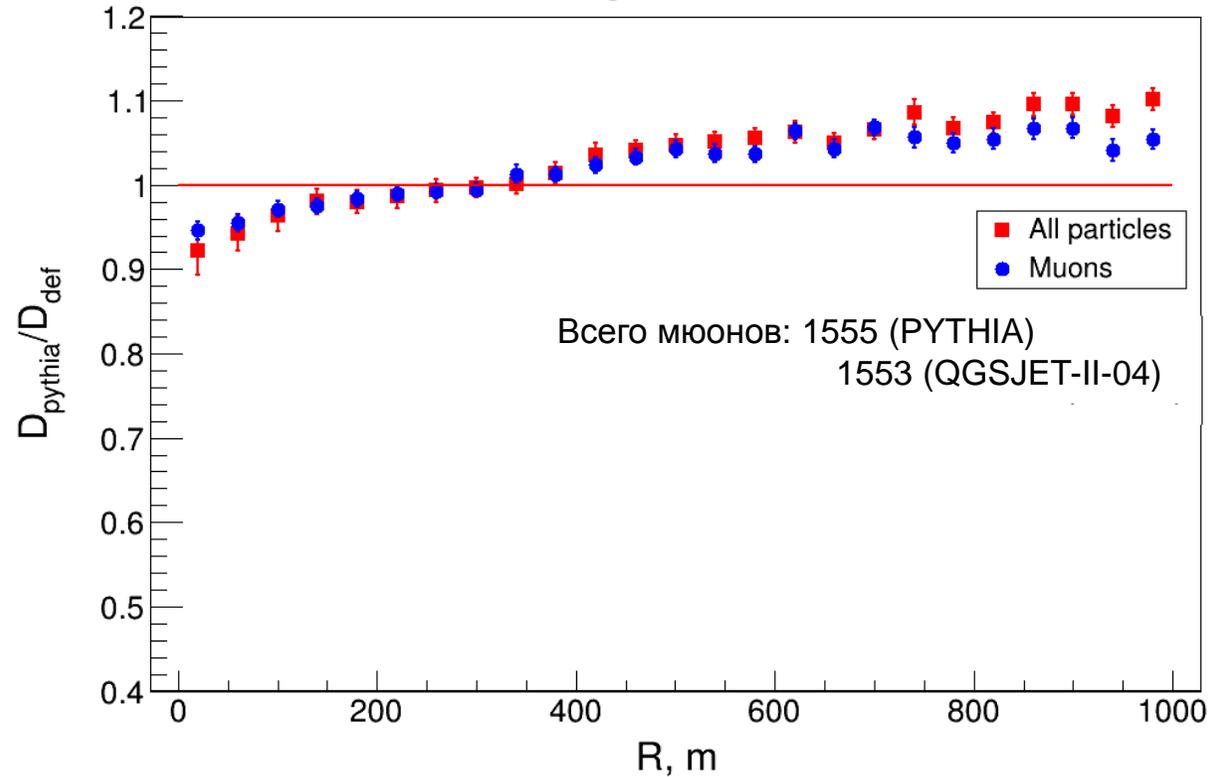
Общая схема интерфейса. Использовалась опция «STACKIN» для моделирования ШАЛ в CORSIKA, по списку частиц первого взаимодействия.



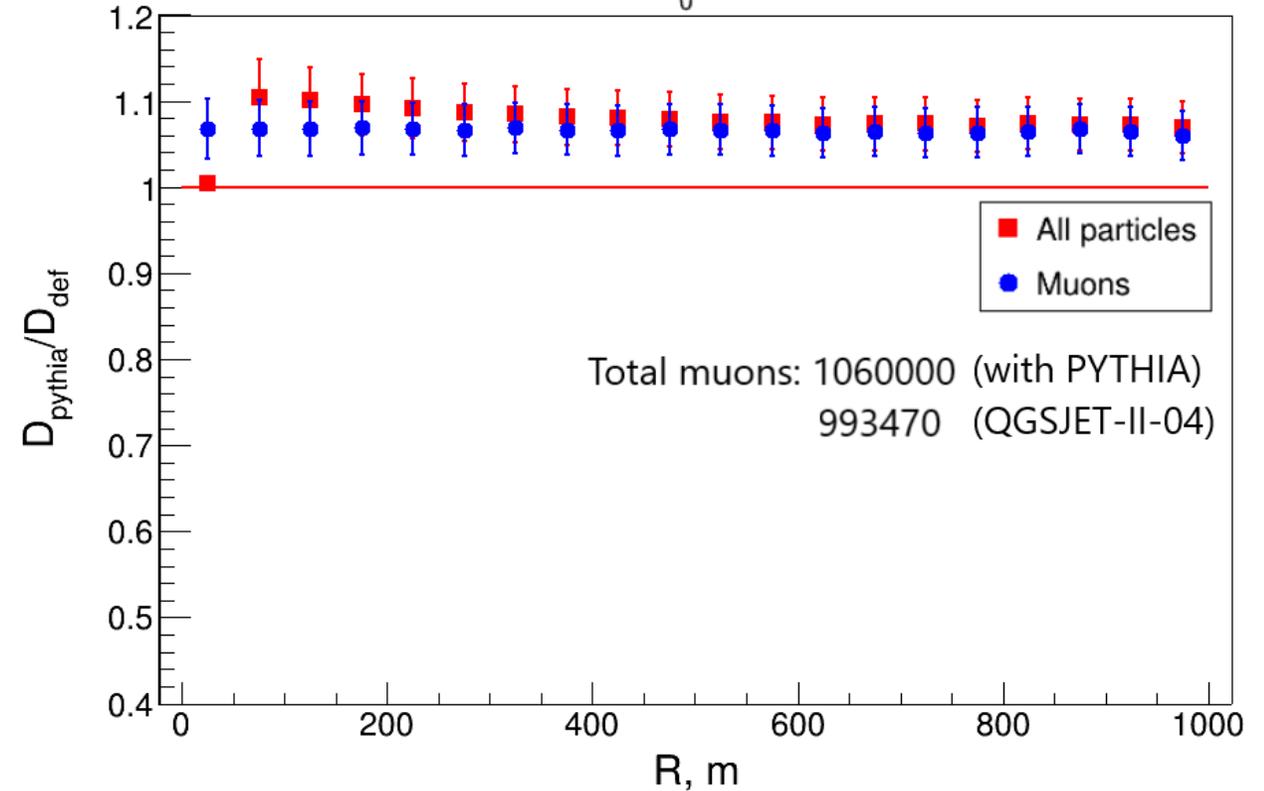
Зависимости полного сечения ядро-воздух от энергии ядра для моделей QGSJET-II-04 и FLUKA-INFN.

Моделирование ШАЛ с использованием интерфейса CORSIKA-PYTHIA

N-N, $E_0 = 10^{14}$ eV



N-N, $E_0 = 10^{17}$ eV



D_{pythia} - плотность частиц на уровне детектора согласно расчету с использованием интерфейса (QGSJET-II-04 и FLUKA-INFN применяются для всех адронных взаимодействий, кроме ядро-ядерных);

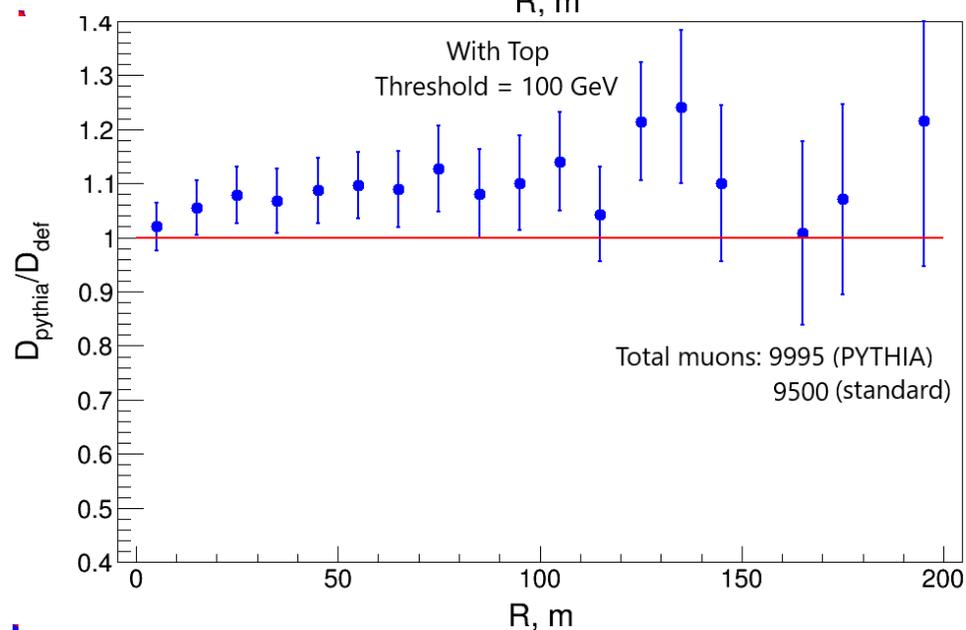
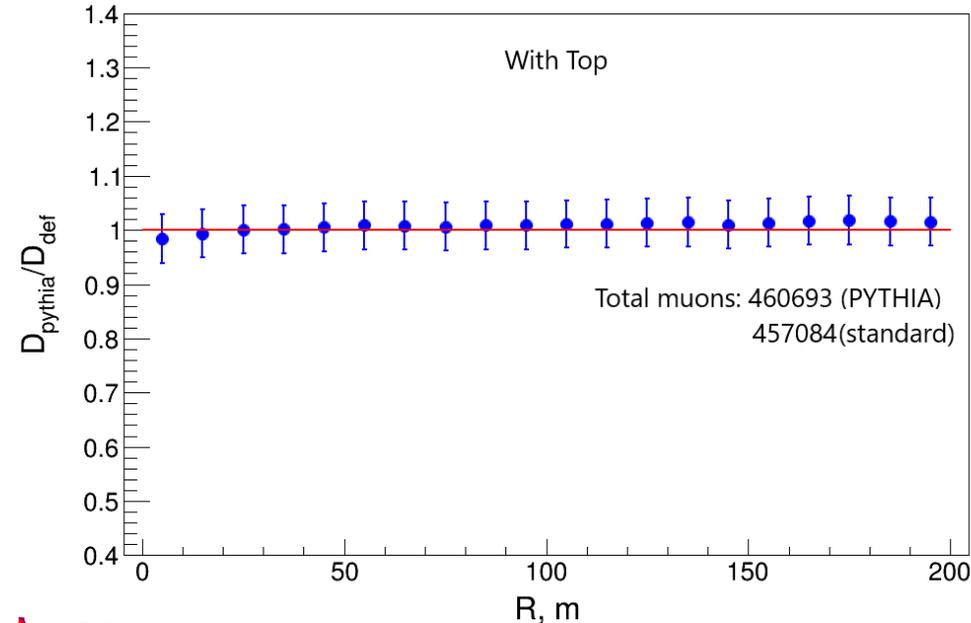
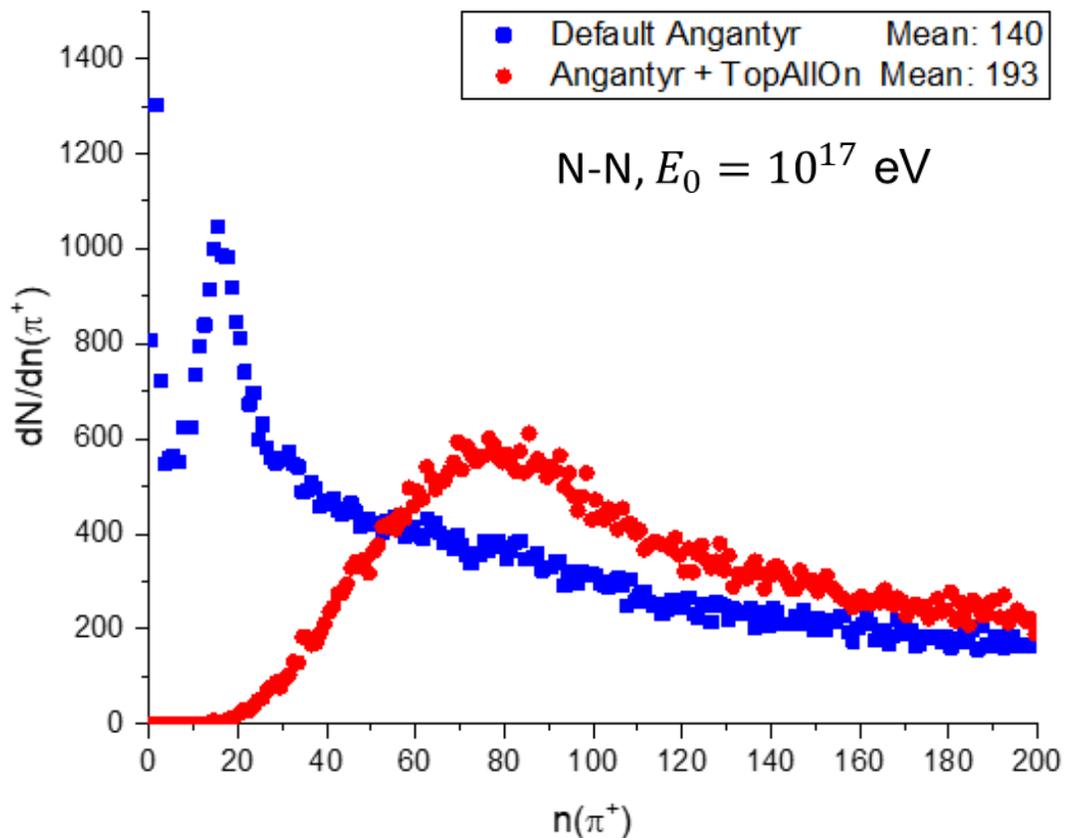
D_{def} - плотность частиц согласно обчному моделированию (QGSJET-II-04 + FLUKA-INFN).

Моделирование ШАЛ с условием образования t -кварков в ядро-ядерных столкновениях

Включение процессов с топ-кварками
через команду:

```
pythia.readString("Top:all = on");
```

Процессы $gg \rightarrow t\bar{t}$, $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$, $qq \rightarrow tq$, и т.д.



Заключение

- Сравнение PYTHIA и моделей, используемых в программе CORSIKA, демонстрирует возможность использования этого генератора для расчет столкновений ядер при моделировании ШАЛ.
- Разработанный интерфейс между CORSIKA и генератором PYTHIA предоставляет необходимую свободу в настройке физических процессов. В принципе, возможно использование любого другого генератора на основании того же программного обеспечения.
- Проведенное моделирование ШАЛ с использованием интерфейса CORSIKA-PYTHIA находится в хорошем согласии с расчетами по стандартным для CORSIKA моделей.
- Моделирование с включением процессов с топ-кваркам показывает, что наличие данных процессов заметно влияет на развитие ШАЛ. Анализ результатов требует подробного исследования процессов и возможности их подключения в программе.

Спасибо за внимание!

Резервные слайды

Моделирование ШАЛ с условием образования t-кварков в ядро-ядерных СТОЛКНОВЕНИЯХ

