



Регистрация нейтронов в жидком аргоне

Выполнил: студент гр. М20-115 Чмыхало Д.А.

Научный руководитель: к.ф-м.н Литвинович Е.А.

Научный консультант: с.н.с. ОФН, НИЦ "Курчатовский институт" Мачулин И.Н.

Москва 2022

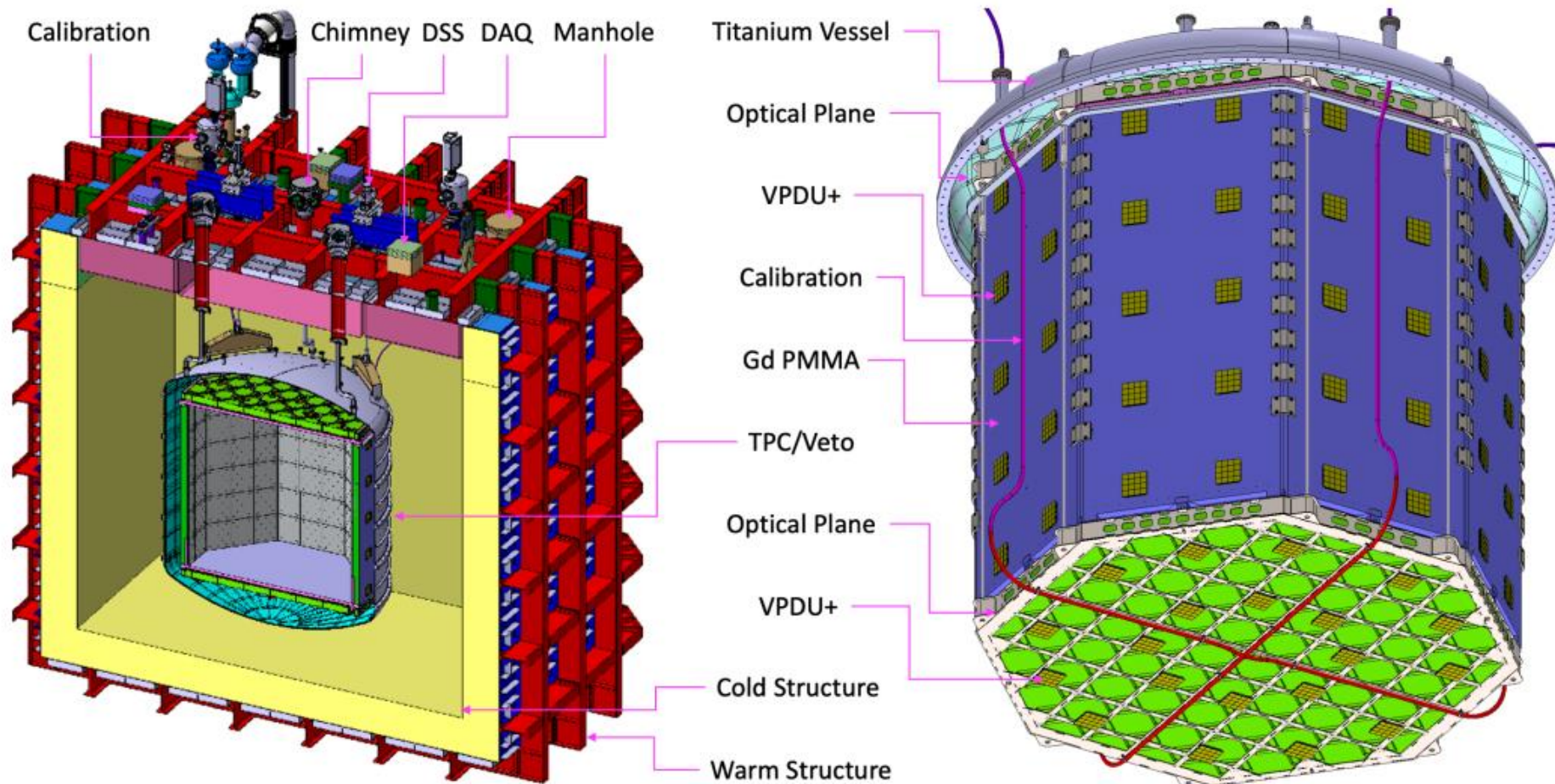
Цели и задачи работы

Цель работы: оценить возможный вклад нейтронов, вызванных космическими мюонами, в общий результат измерений детектора.

Задачи работы:

- Подготовить данные и смоделировать прохождение мюонов и вторичных частиц через объем детектора;
- Определить потоки и спектры нейтронов, попадающих в активный объем детектора;
- Дать оценку возможному количеству событий упругого рассеяния нейтронов на ядрах мишени детектора, имитирующих рассеяние вимпов.

Детектор DarkSide-20k



Происхождение нейтронов в подземных лабораториях

Нейтроны от естественной радиоактивности (энергия нейтронов < 10 МэВ)

Нейтроны от космических лучей (энергия отдельных нейтронов может достигать нескольких ТэВ)

Нейтроны, индуцированные мюонами

Мюоны, попадающие в подземные лаборатории, могут индуцировать нейтроны двумя способами:

- непосредственно при взаимодействии мюонов и ядер с образованием радиоактивных изотопов и процессом скалывания;
- косвенно с мюонами, индуцирующими электромагнитные и адронные ливни

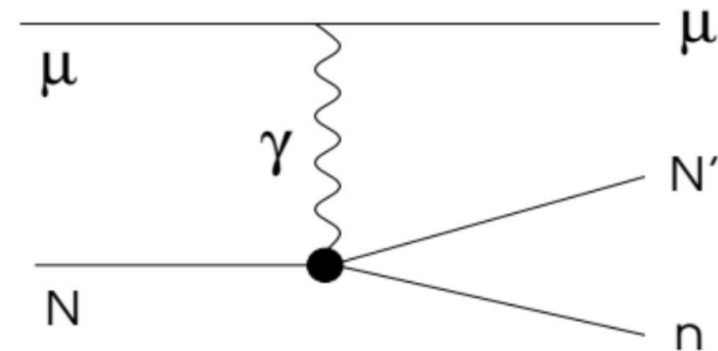
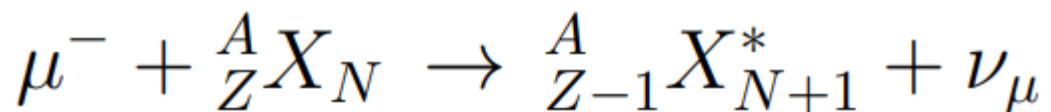
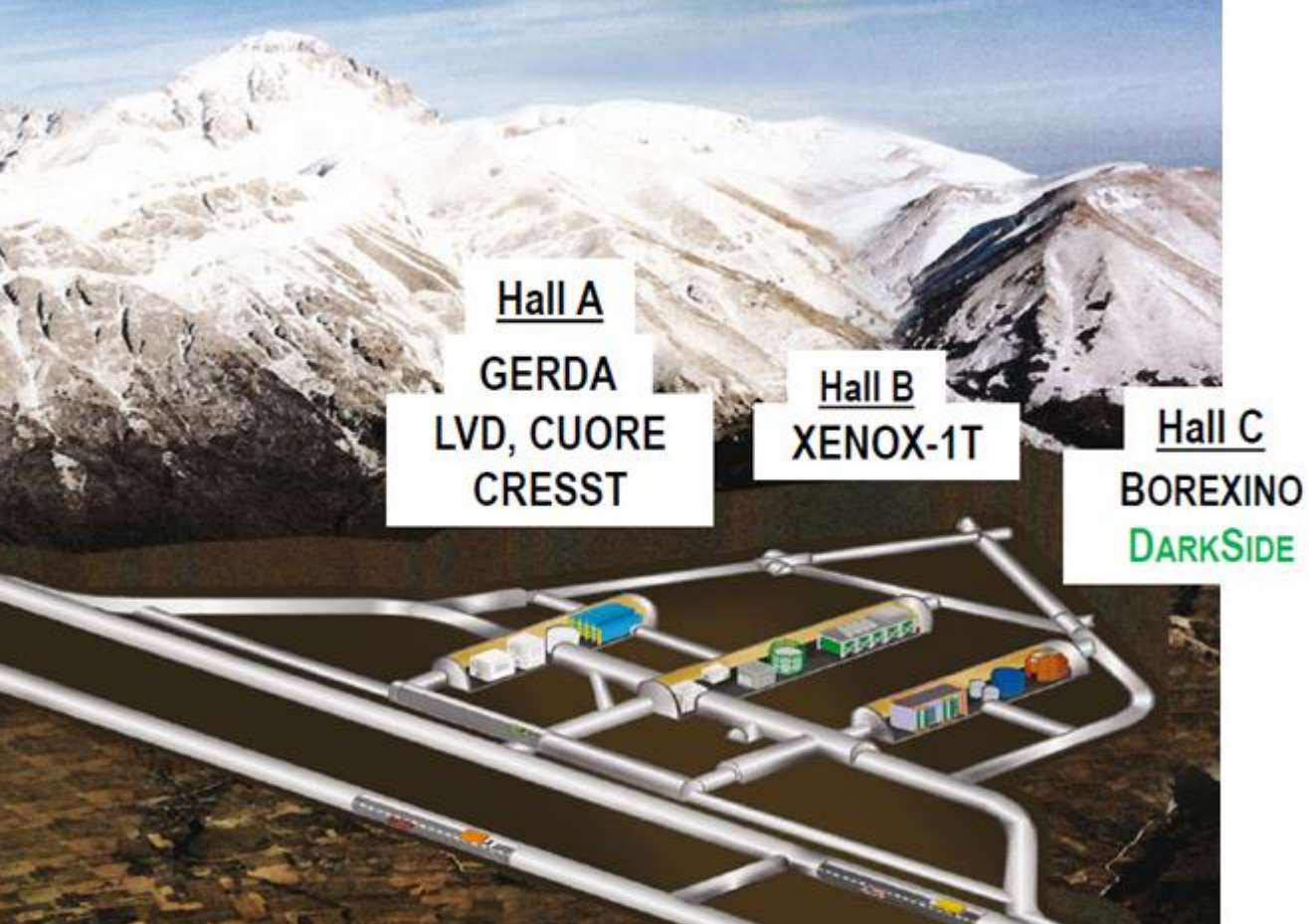


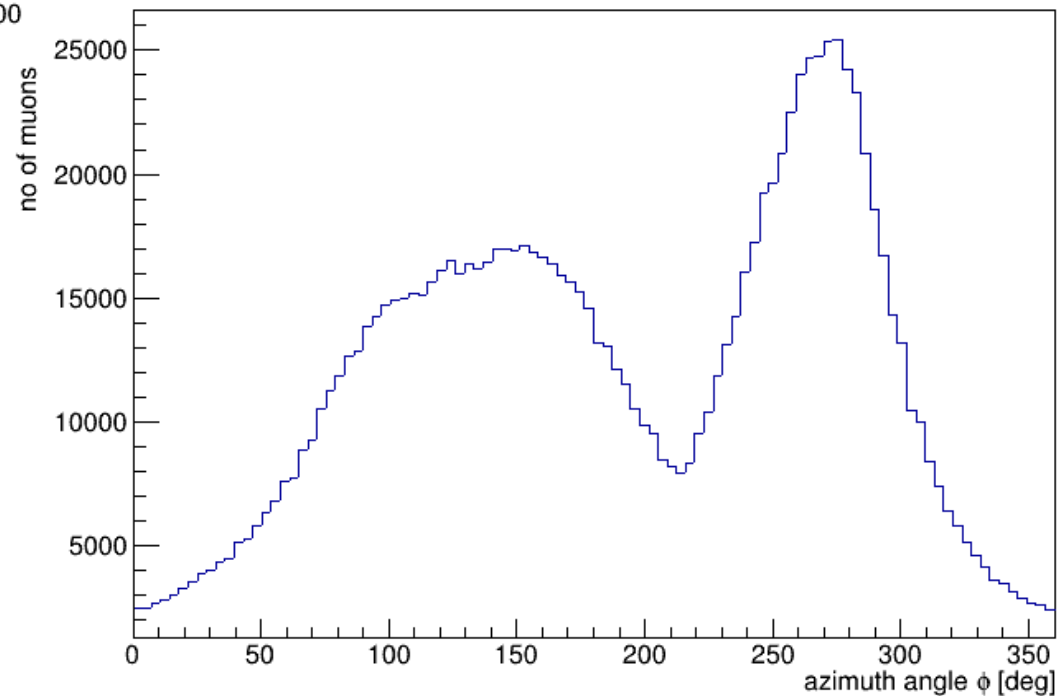
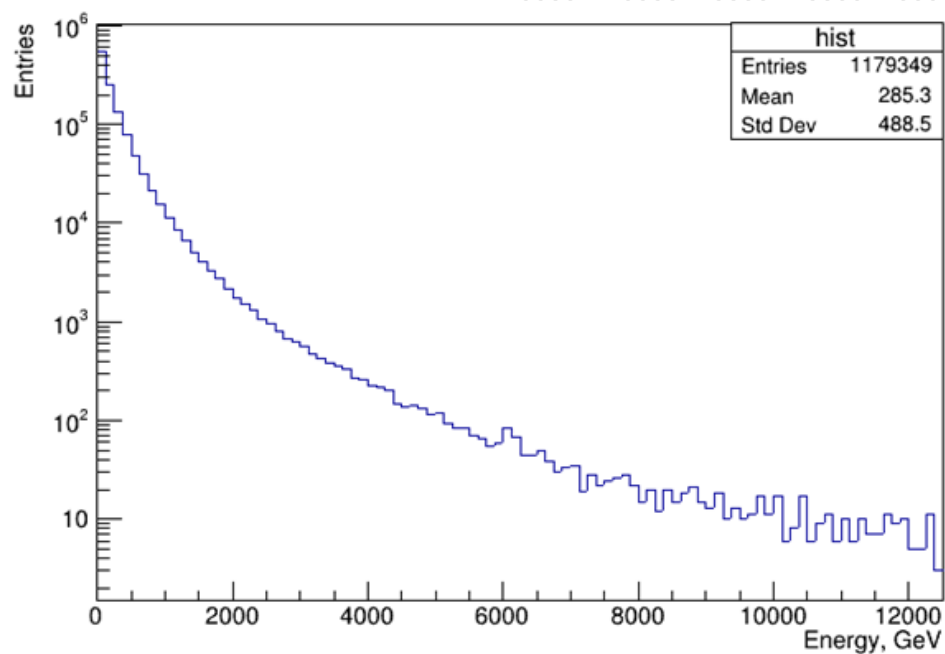
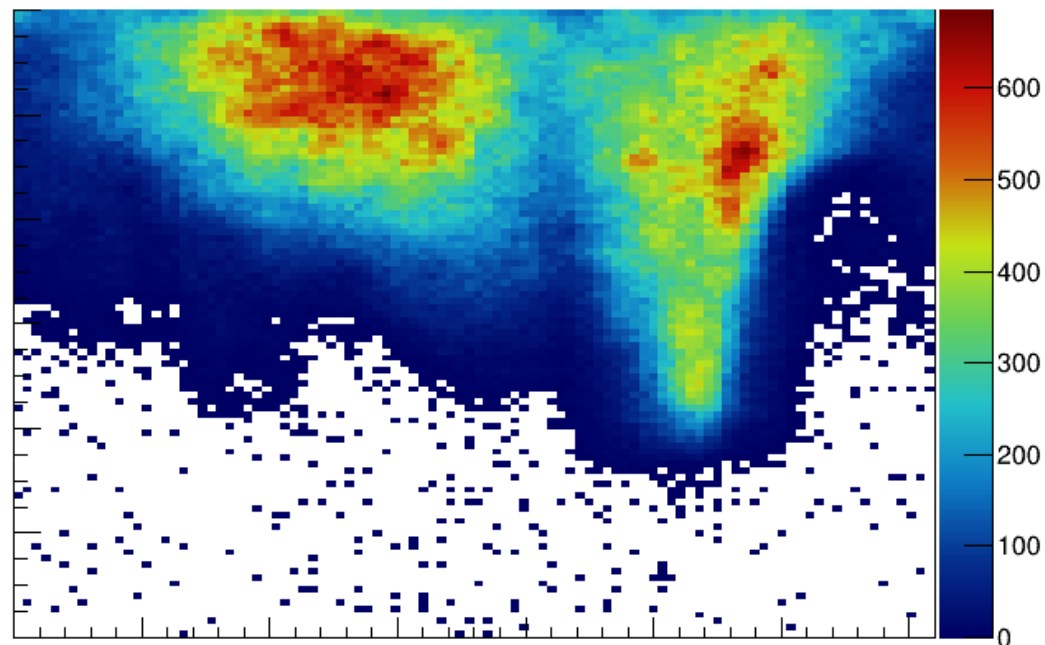
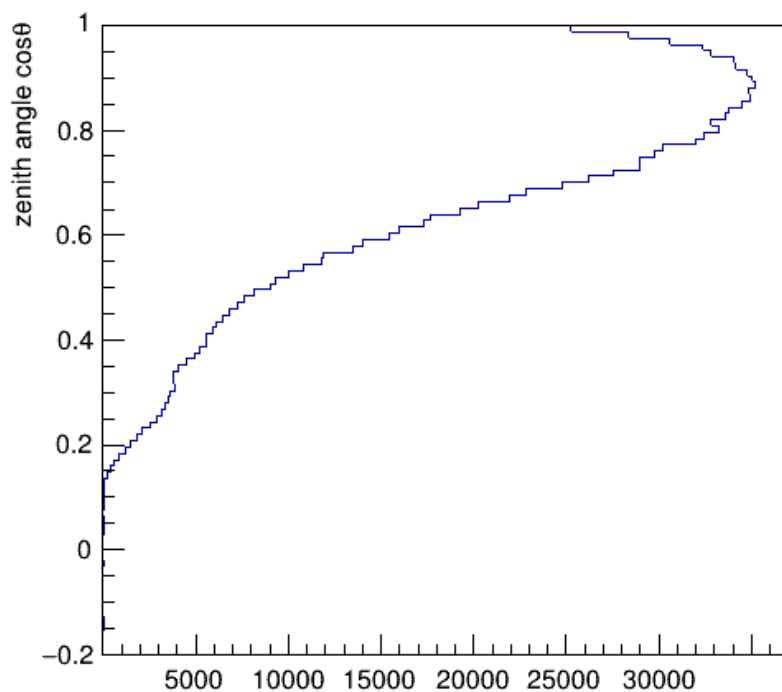
Диаграмма Фейнмана процесса расщепления под действием мюона

Национальная лаборатория Gran Sasso



Поток первичных космических мюонов, приходящий к поверхности Земли ($6,5 \cdot 10^5 \mu/(m^2 \cdot h)$) сильно ослабляется при проникновении в гору над детектором. Остаточный поток мюонов в лаборатории Гран-Сассо составляет около $1,17 \mu/(m^2 \cdot h)$

Угловое распределение мюонов

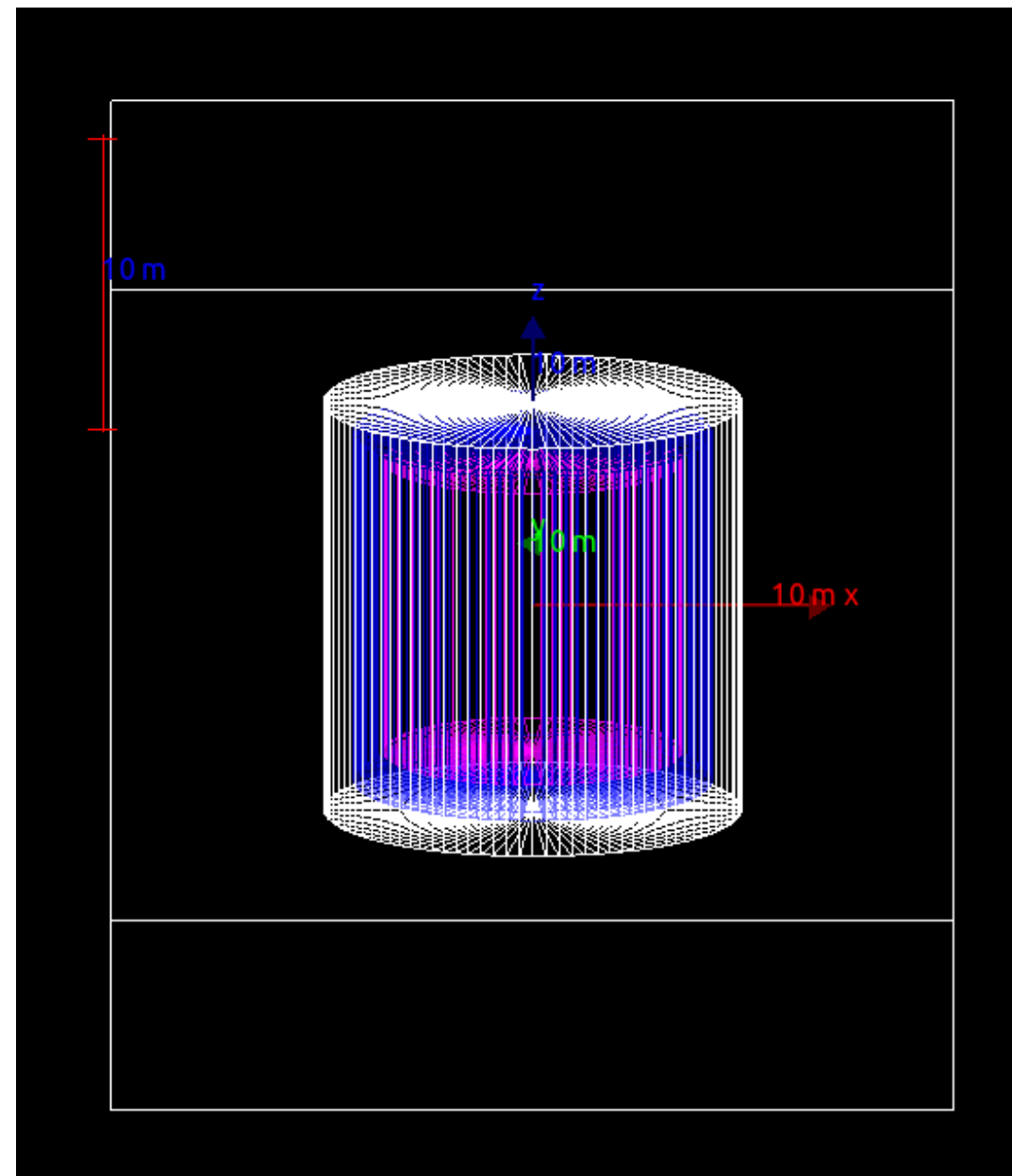


Энергетический спектр мюонов

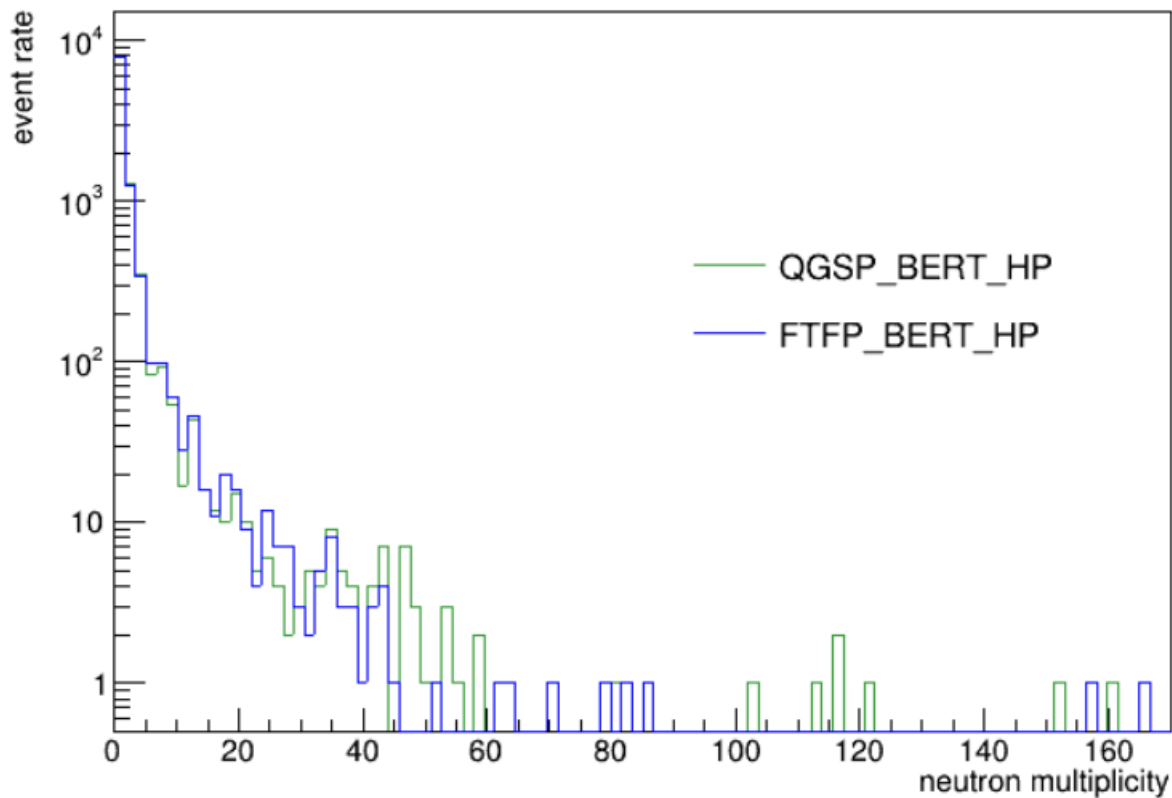
Расчетная модель Geant4

Результаты расчетов в программе

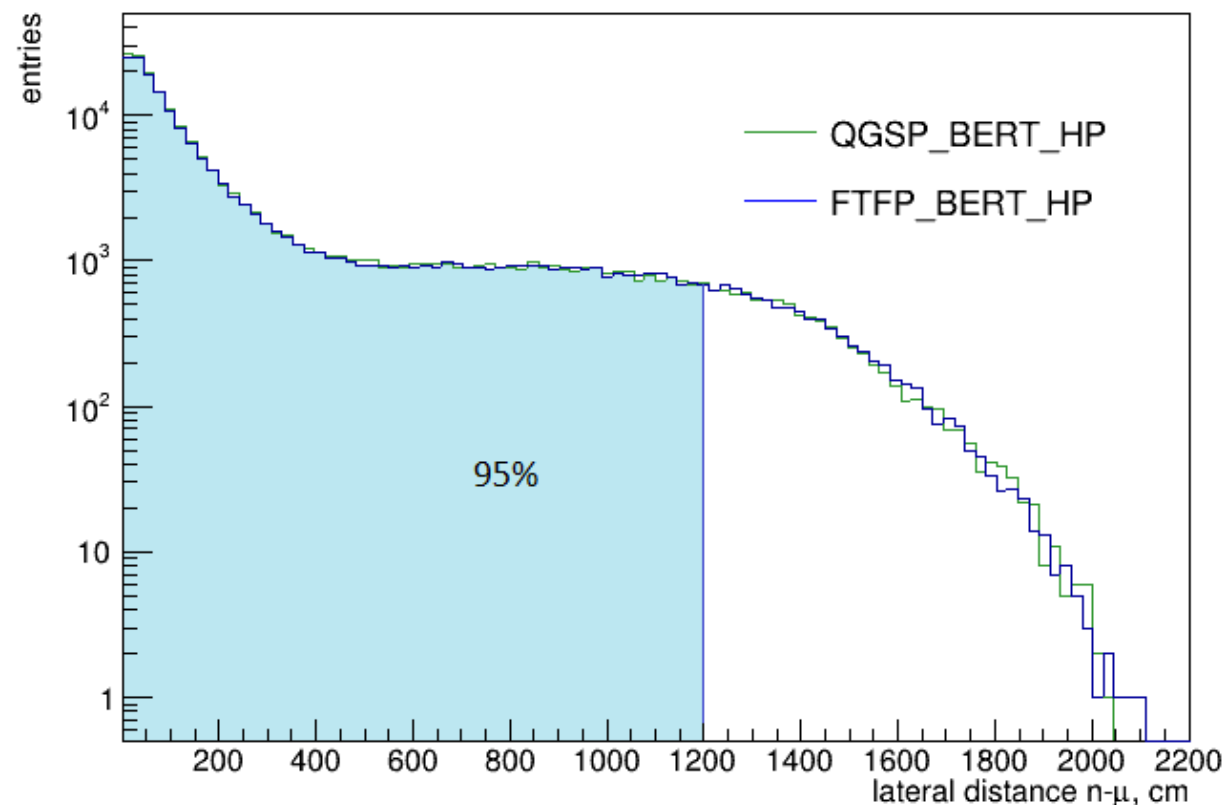
	Расчитанная величина
Время диффузии, мкс	$330,9 \pm 3,3$
Длина диффузии, см	$22,9 \pm 0,2$
Время жизни, мкс	$4017,6 \pm 40,2$
Длина замедления, см	$187,2 \pm 1,9$



Результаты расчетов в программе



Множественность нейтронов



Распределение кратчайшего расстояние от точки радиационного захвата нейтрона до трека родительского мюона

Среднее число рожденных нейтронов на единицу длины пробега мюона:

$$N_n = 0,725 \pm 0,014 \text{ neutrons/m} \quad \text{FTFP BERT HP}$$

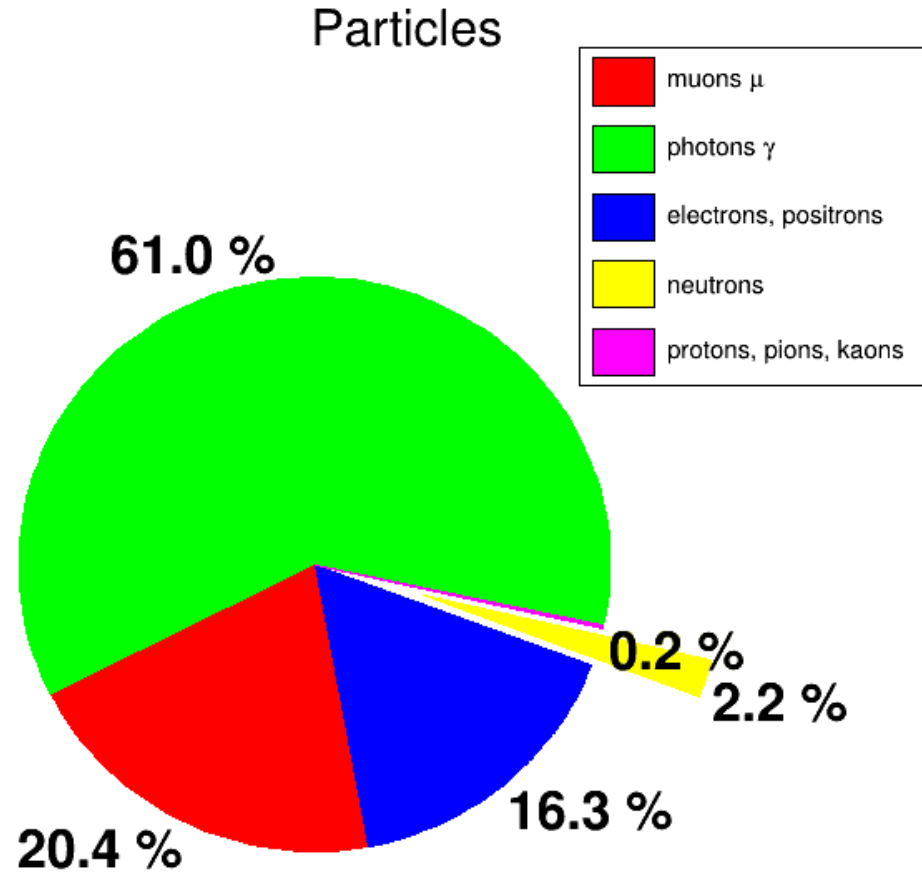
$$N_n = 0,836 \pm 0,056 \text{ neutrons/m} \quad \text{QGSP BERT HP.}$$

Среднее кратчайшее расстояние:

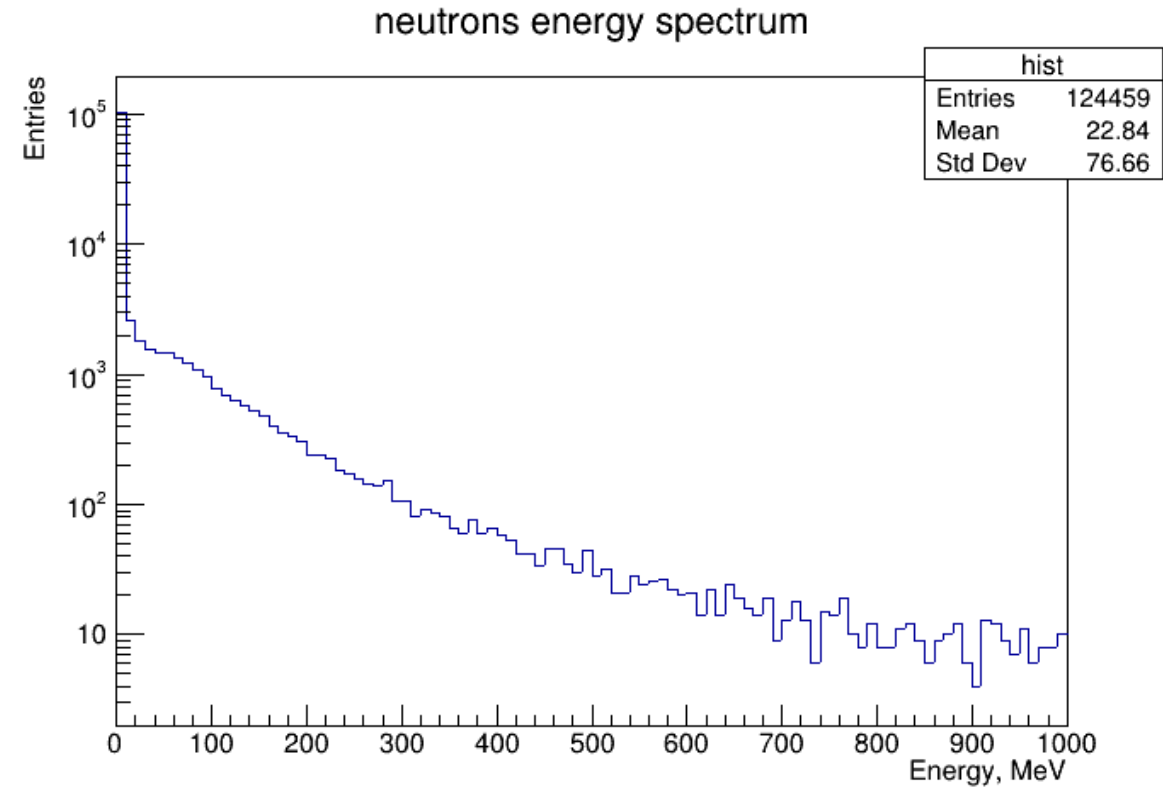
$$\lambda_{short} = 279,0 \pm 3,6 \text{ мм} \quad \text{FTFP BERT HP}$$

$$\lambda_{short} = 279,1 \pm 3,8 \text{ мм} \quad \text{QGSP BERT HP}$$

Подготовительный этап

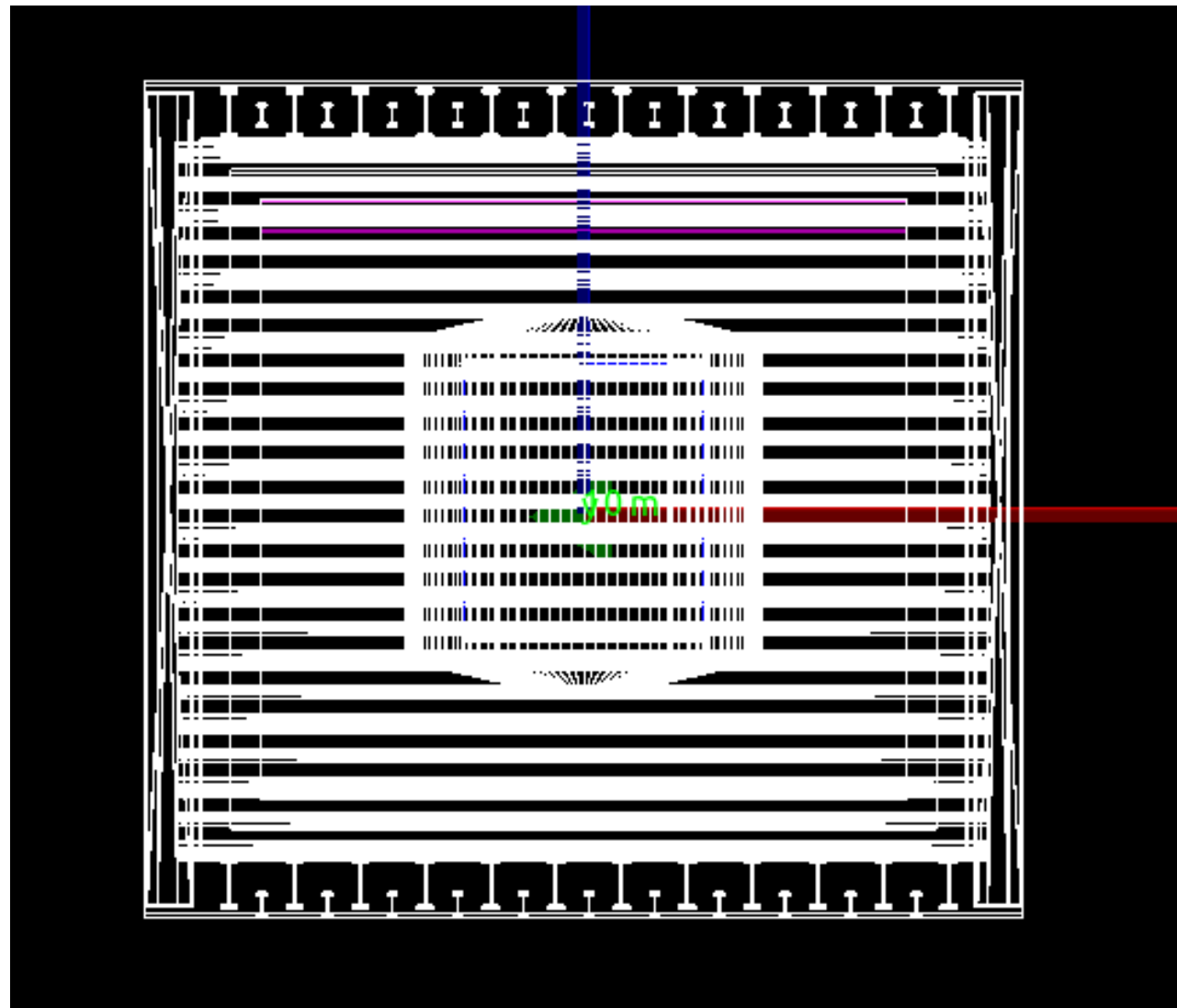


Частицы, попадающие в экспериментальный зал после прохождения мюонами горного массива

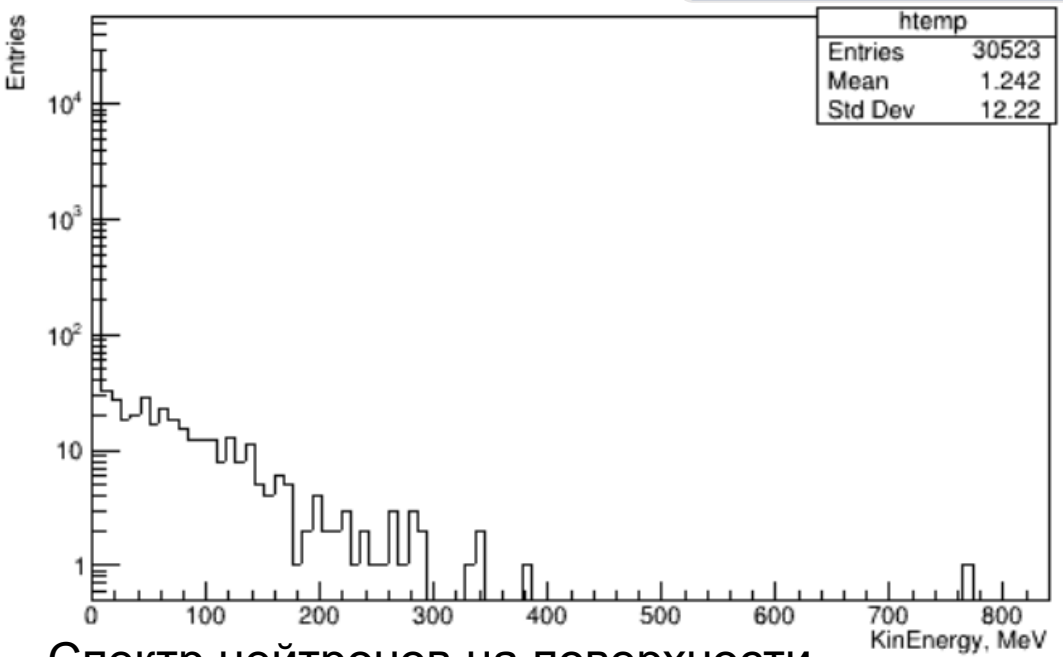


Энергетический спектр нейтронов

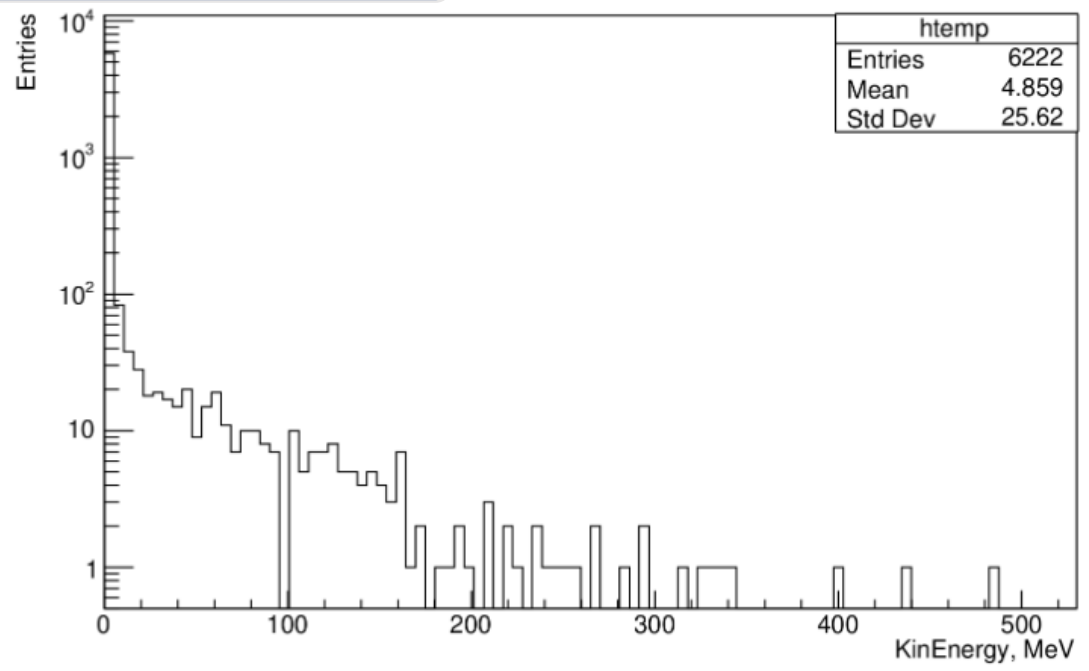
Модель реального детектора DarkSide-20k в Geant4



Результаты расчетов в программе

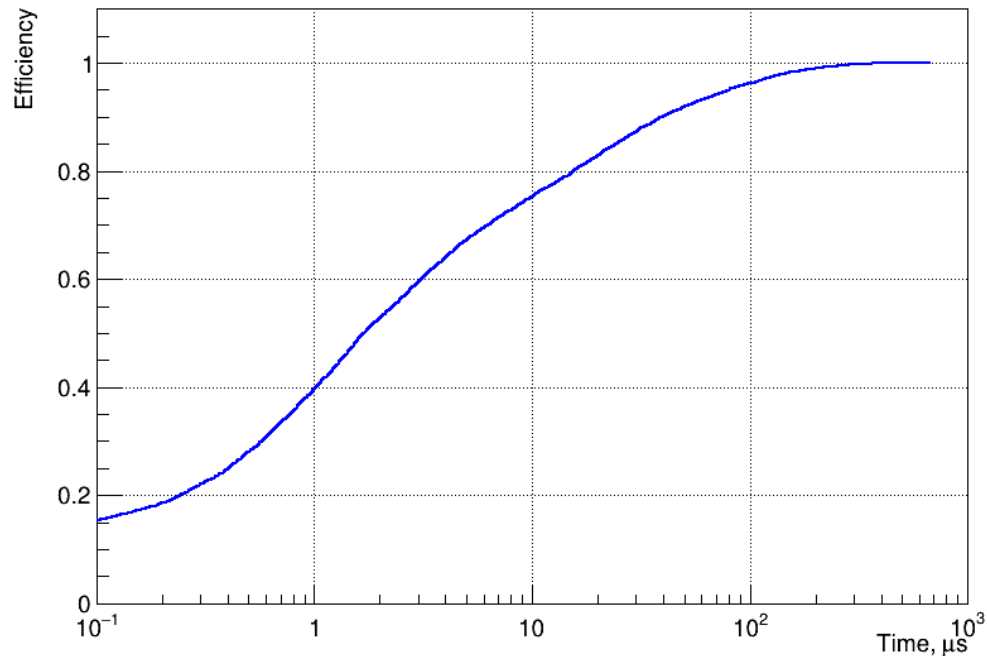


Спектр нейтронов на поверхности титановой оболочки криостата



Спектр нейтронов на поверхности активного объема TPC

Эффективность подавления нейтронов в зависимости от времени



Результаты расчетов потоков нейтронов в экспериментальной установке

	На поверхности титановой оболочки	На поверхности ТРС	На поверхности активного объема ТРС
Поток нейтронов от прохождения мюонов через детектор, $n/(m^2 \cdot h)$	$2,48 \pm 0,31$	$0,97 \pm 0,15$	$0,85 \pm 0,12$
Поток нейтронов от прохождения мюонов через гору, $n/(m^2 \cdot h)$	$0,19 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$
Поток нейтронов от электромагнитных ливней, пришедших от горы, $n/(m^2 \cdot h)$	$0,09 \pm 0,04$	$(0,14 \pm 0,09) \cdot 10^{-1}$	$(0,12 \pm 0,08) \cdot 10^{-1}$
Поток нейтронов от адронных ливней, пришедших от горы, $n/(m^2 \cdot h)$	$0,46 \pm 0,08$	$0,17 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,04$
Суммарный поток нейтронов, индуцированный мюонами и всеми вторичными частицами, $n/(m^2 \cdot h)$	$3,22 \pm 0,48$	$1,22 \pm 0,23$	$0,99 \pm 0,18$

Расчет возможного количества вимп-имитирующих рассеяний нейтронов в детекторе DarkSide-20k

Критерии отбора событий упругого рассеяния нейтронов на ядрах мишени, имитирующих рассеяние вимпов:

- энергия отдачи ядра при поиске вимпов с массами в диапазоне от 10 ГэВ до 10 ТэВ должна лежать в диапазоне от 7,5 кэВ до 50 кэВ ($7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV}$);
- нейтрон должен испытать только одно рассеяние в активном объеме детектора ($N_s = 1$);
- нейтрон не должен поглотиться в защитных и конструкционных материалах детектора ($N_a = 0$);
- ограничение по времени прилета нейтронов на 2 мкс ($T > 2 \text{ мкс}$);
- ограничение по времени прилета нейтронов на 5 мкс ($T > 5 \text{ мкс}$);
- ограничение по времени прилета нейтронов на 10 мкс ($T > 10 \text{ мкс}$);

Результаты расчетов при наложении критериев отбора

Критерии отборов	Количество событий	
	Нейтроны, рожденные в детекторе	Нейтроны, рожденные в горе
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV}$	12563	591
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV} \ \& \ N_s = 1$	1758	81
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV} \ \& \ N_s = 1 \ \& \ N_a = 0$	41	2
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV} \ \& \ N_s = 1 \ \& \ N_a = 0$ & $T > 2 \text{ мкс}$	7	
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV} \ \& \ N_s = 1 \ \& \ N_a = 0$ & $T > 5 \text{ мкс}$	2	
$7,5 \text{ keV} < E_r < 50 \text{ keV} \ \& \ N_s = 1 \ \& \ N_a = 0$ & $T > 10 \text{ мкс}$	< 1	

Заключение

В ходе данной работы при помощи Монте-Карло моделирования в программном пакете Geant4 были произведены важные имитационные исследования, связанные с предсказанием вклада нейтронов, вызванных космическими мюонами, в общий фон экспериментальной установки:

- Было смоделировано прохождение мюонов и вторичных частиц через объем детектора для расчета потоков нейтронов в детекторе. Наибольший вклад в суммарный поток составили нейтроны, индуцированные мюонами, прошедшими через экспериментальную установку ($2,48 \pm 0,31 \text{ n}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$);
- В результате моделирования 10 лет работы детектора, было поставлено ограничение на число событий упругого рассеяние нейтрона, имитирующего рассеяние вимпов.

Спасибо за внимание