

Научно-исследовательская работа

Регистрация нейтронов в жидком аргоне в эксперименте DarkSide

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

Руководитель: старший преподаватель Мачулин И.Н.

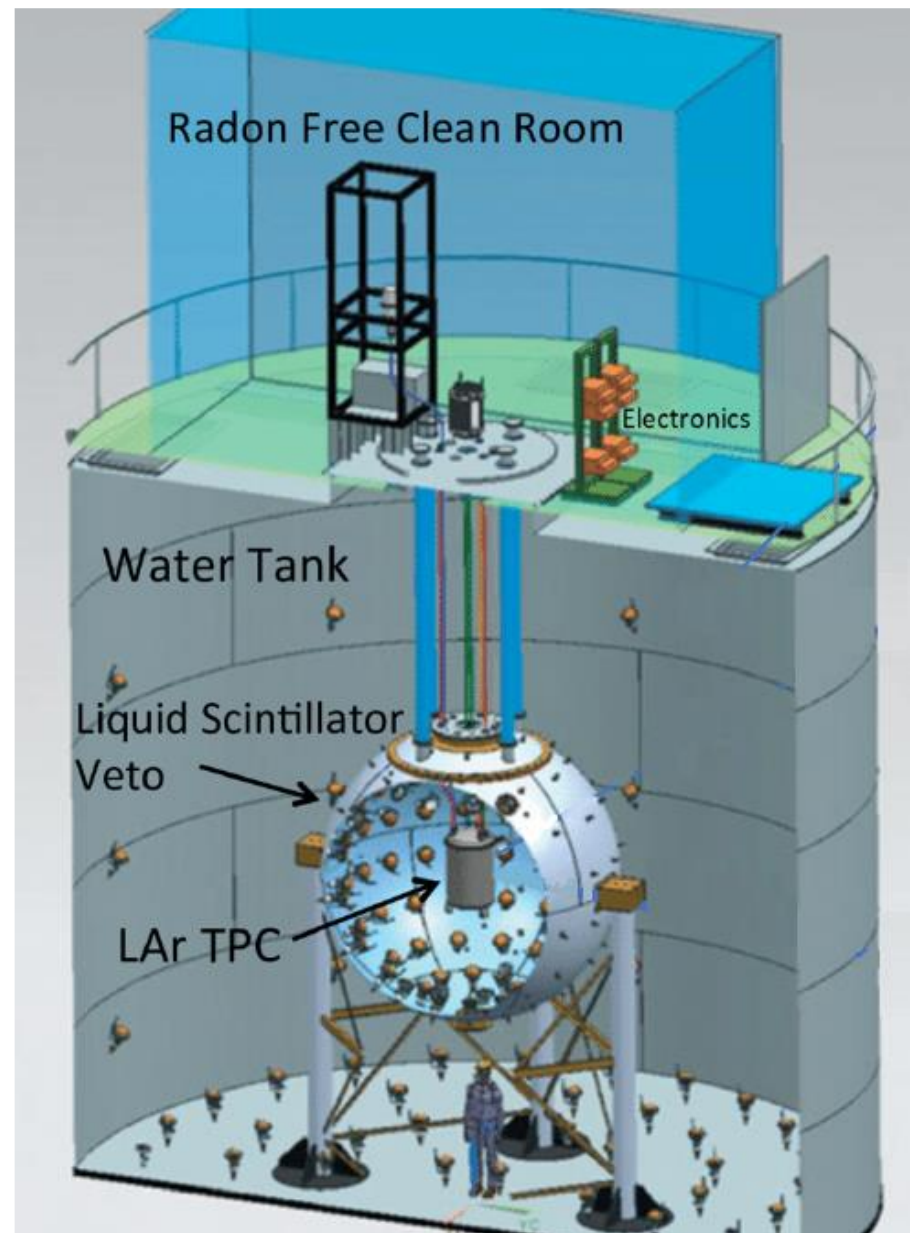
Цели и задачи работы

Цель работы: смоделировать в программном пакете Geant4 прохождение мюонов через объем детектора и рассчитать необходимые нейтронные параметры, а также сравнить некоторые параметры с результатами аналитического расчета.

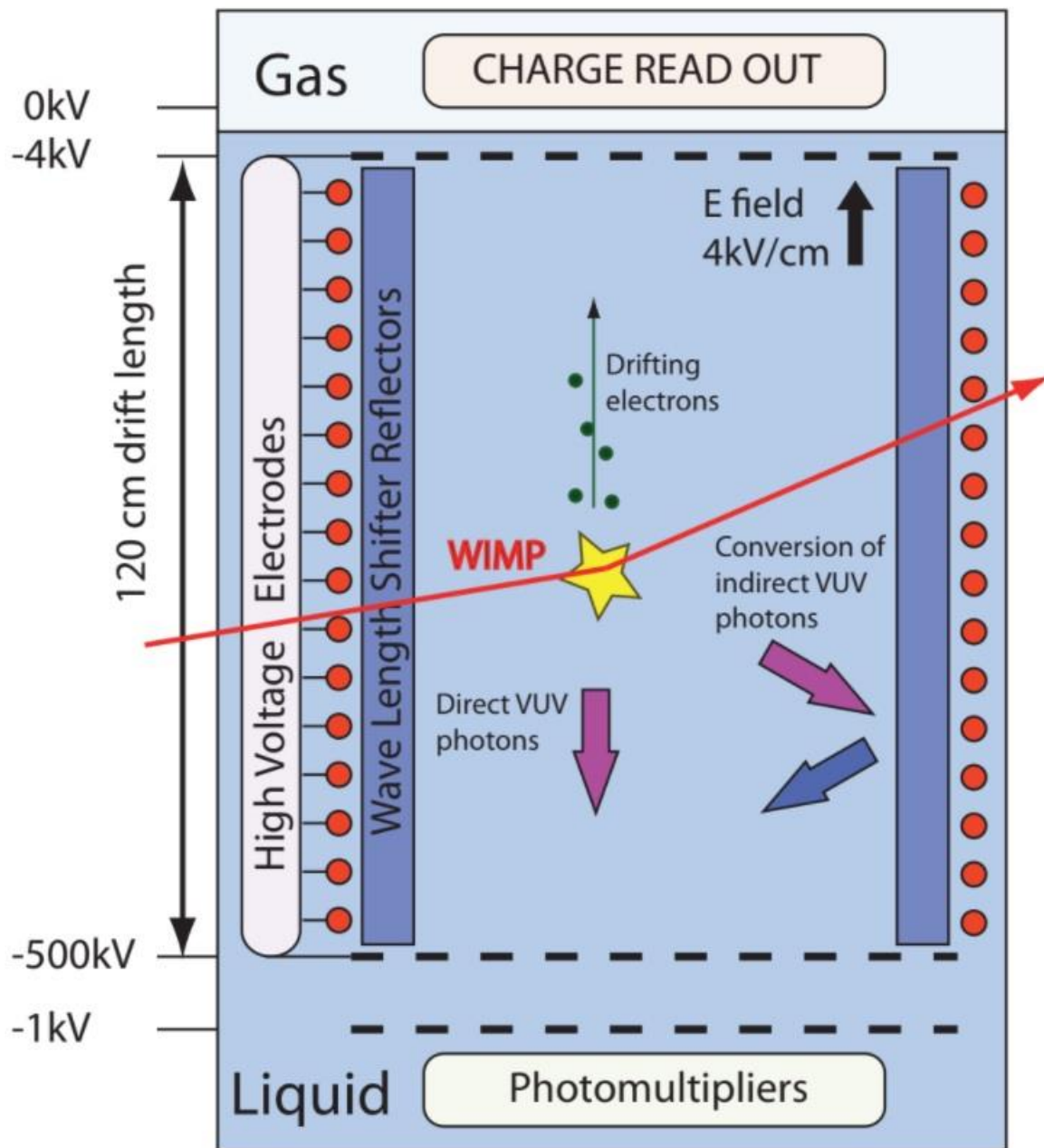
Задачи работы:

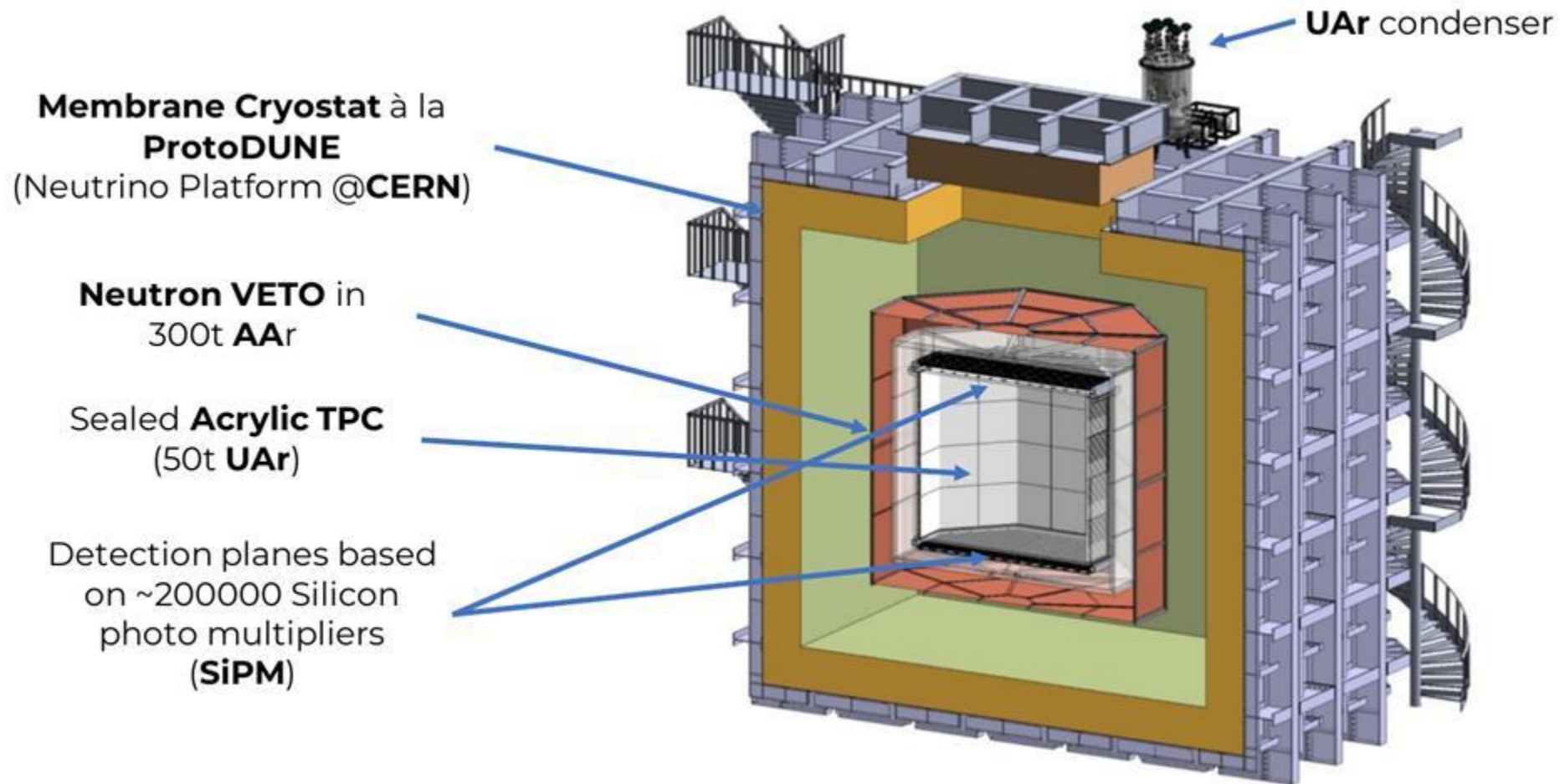
- Провести аналитический расчет необходимых нейтронных параметров
- Смоделировать в Geant4 прохождение мюонов через объем детектора
- Провести Монте-Карло расчеты для параметров, найденных аналитически
- Сравнить полученные данные

Детектор DarkSide-50



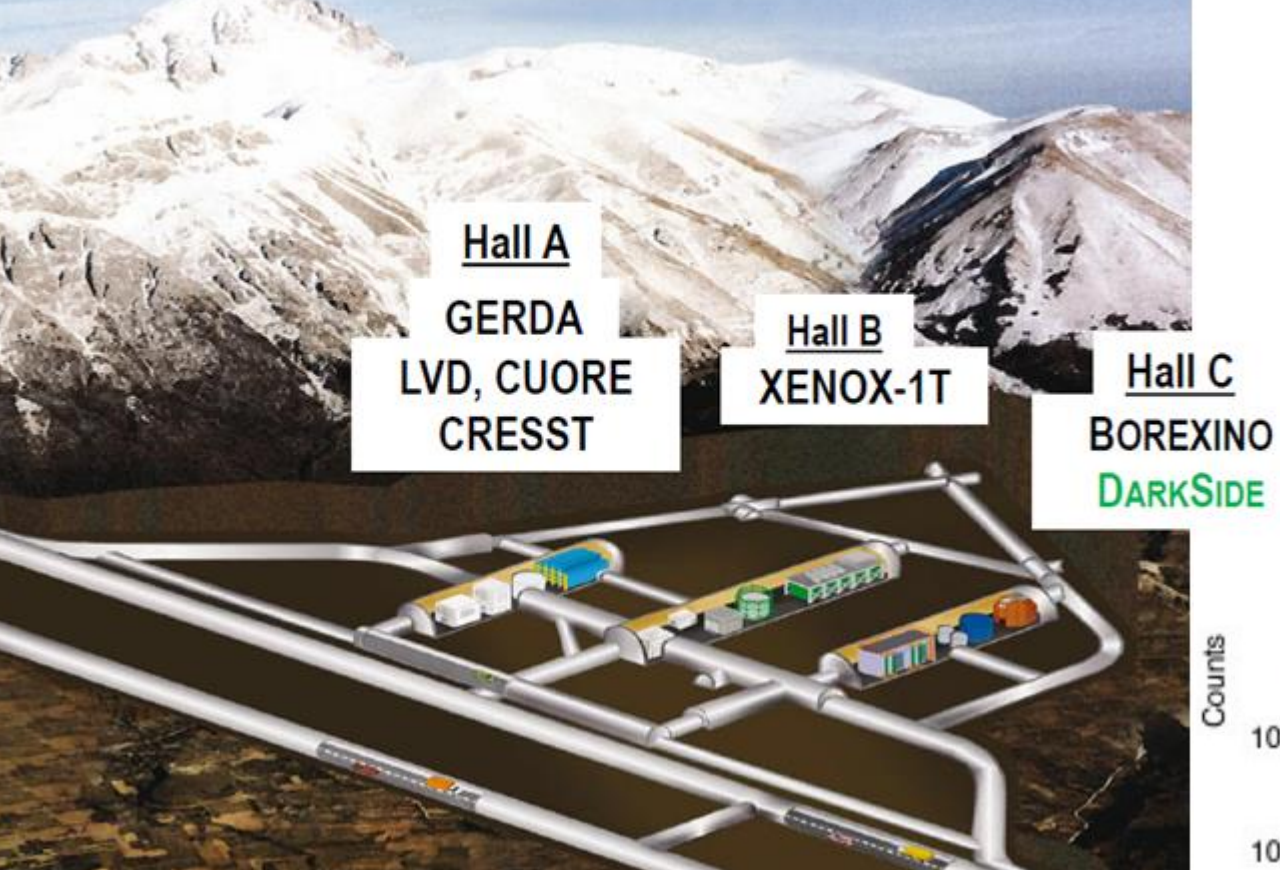
Время-проекционная камера (TPC)



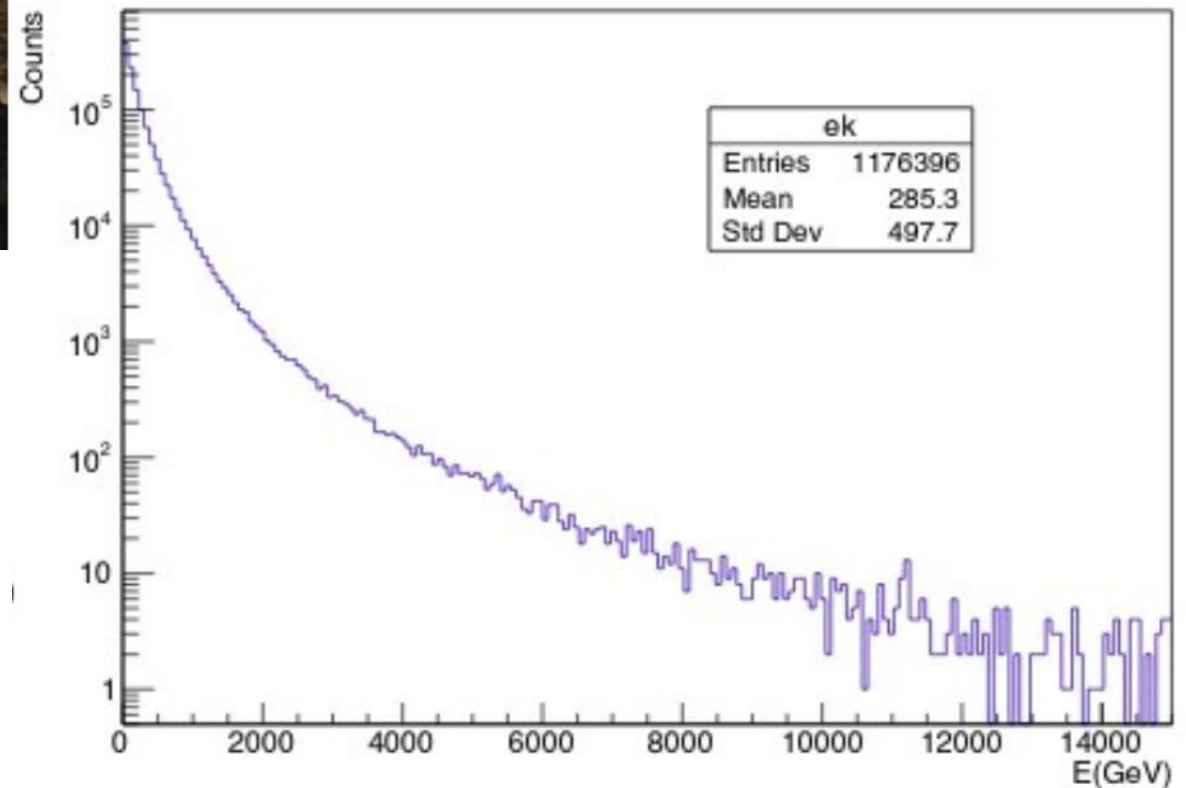


DarkSide-20k

Национальная лаборатория Gran Sasso



muon energy spectrum



Аналитический расчет

Была поставлена задача найти аналитически:

- Время жизни диффузии теплового нейтрона в жидком аргоне (при температуре жидкого азота), длину диффузии
- Время жизни нейтрона с энергией 2,5 МэВ, длину замедления

$$\begin{aligned} t_{\text{диф}} &= \frac{1}{v \Sigma_a} = \frac{1}{v n \sigma_a} = \frac{M_{Ar}}{v \rho_{Ar} N_a \sigma_a} \\ &= \frac{40}{2200 \cdot 10^2 \cdot 1,392 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,664 \cdot 10^{-24}} \\ &= 326,7 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 326,76 \text{ мкс.} \end{aligned}$$

Длина диффузии определяется как:

$$L = \sqrt{\frac{D}{\Sigma_a}}$$

где $D = \frac{1}{3\Sigma_{tr}}$ - коэффициент диффузии, для среды с поглощением
 $\Sigma_{tr} = \Sigma_{str} + \Sigma_a$.

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\frac{1}{3\Sigma_a(\Sigma_s + \Sigma_a)}} = \frac{M_{Ar}}{\rho_{Ar}N_a} \sqrt{\frac{1}{3\sigma_a(\sigma_a + \sigma_s)}} \\ &= \frac{40}{1,392 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-24}} \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 0,664 \cdot (0,664 + 0,655)}} \\ &= 29,45 \text{ см.} \end{aligned}$$

Время замедления нейтрона с энергии E_f до энергии E определяется следующим выражением:

$$t_3(E_f \rightarrow E) = \frac{2}{\xi \Sigma_s v},$$

где E_f - начальная энергия быстрого нейтрона, E - энергия, до которой происходит замедление, ξ - средняя логарифмическая потеря энергии в одном столкновении, Σ_s - макроскопическое сечение рассеяния.

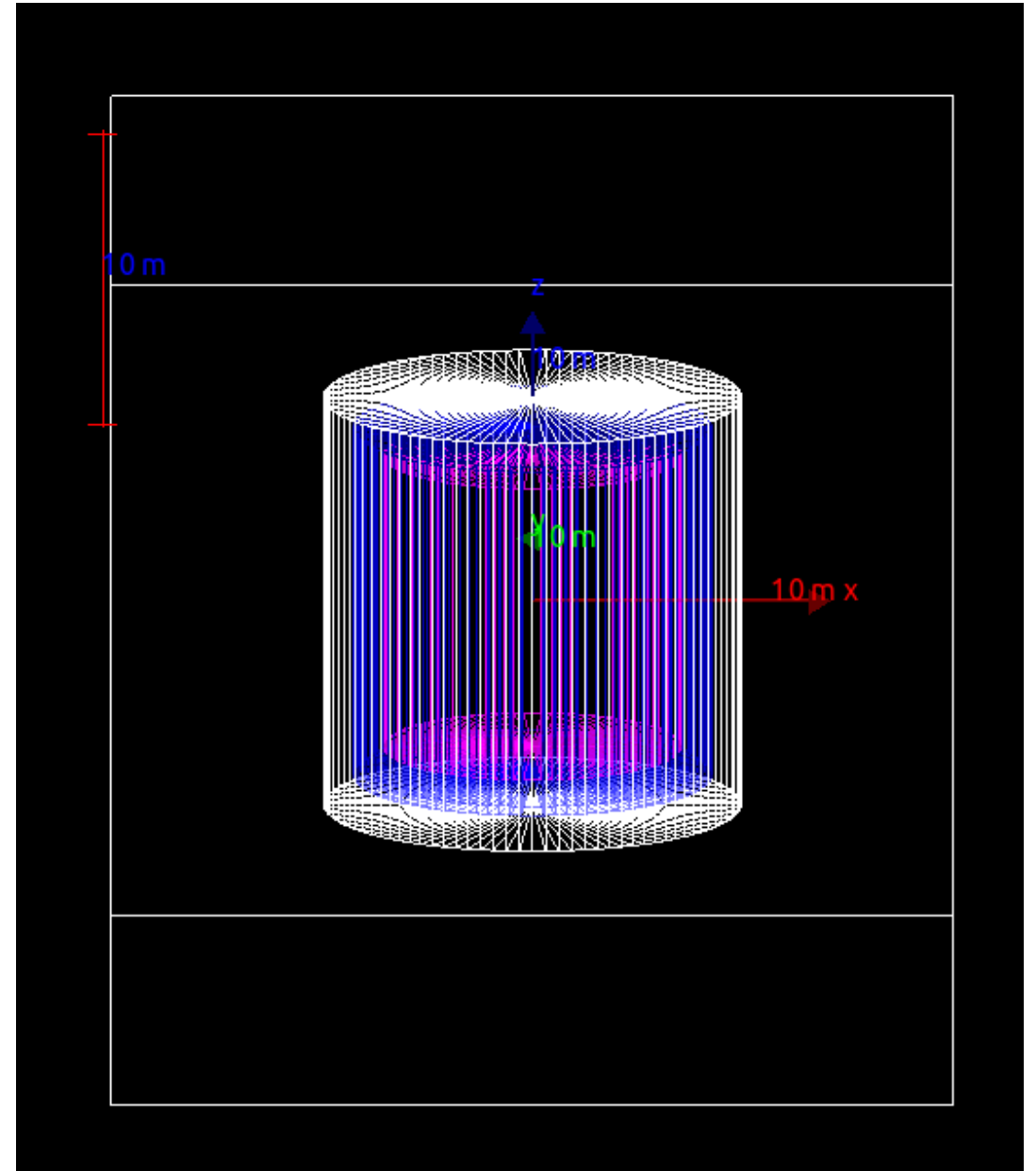
$$\begin{aligned} t_3(E_f \rightarrow E) &= \frac{2}{\xi n \sigma_{s_{Ar}}} = \frac{2M_{Ar}}{\xi \rho_{Ar} N_a \sigma_{s_{Ar}} v} \\ &= \frac{2 \cdot 40}{0,0492 \cdot 1,392 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-24} \cdot 2,3 \cdot 2200 \cdot 10^2} = 0,0038348 \text{ с.} \end{aligned}$$

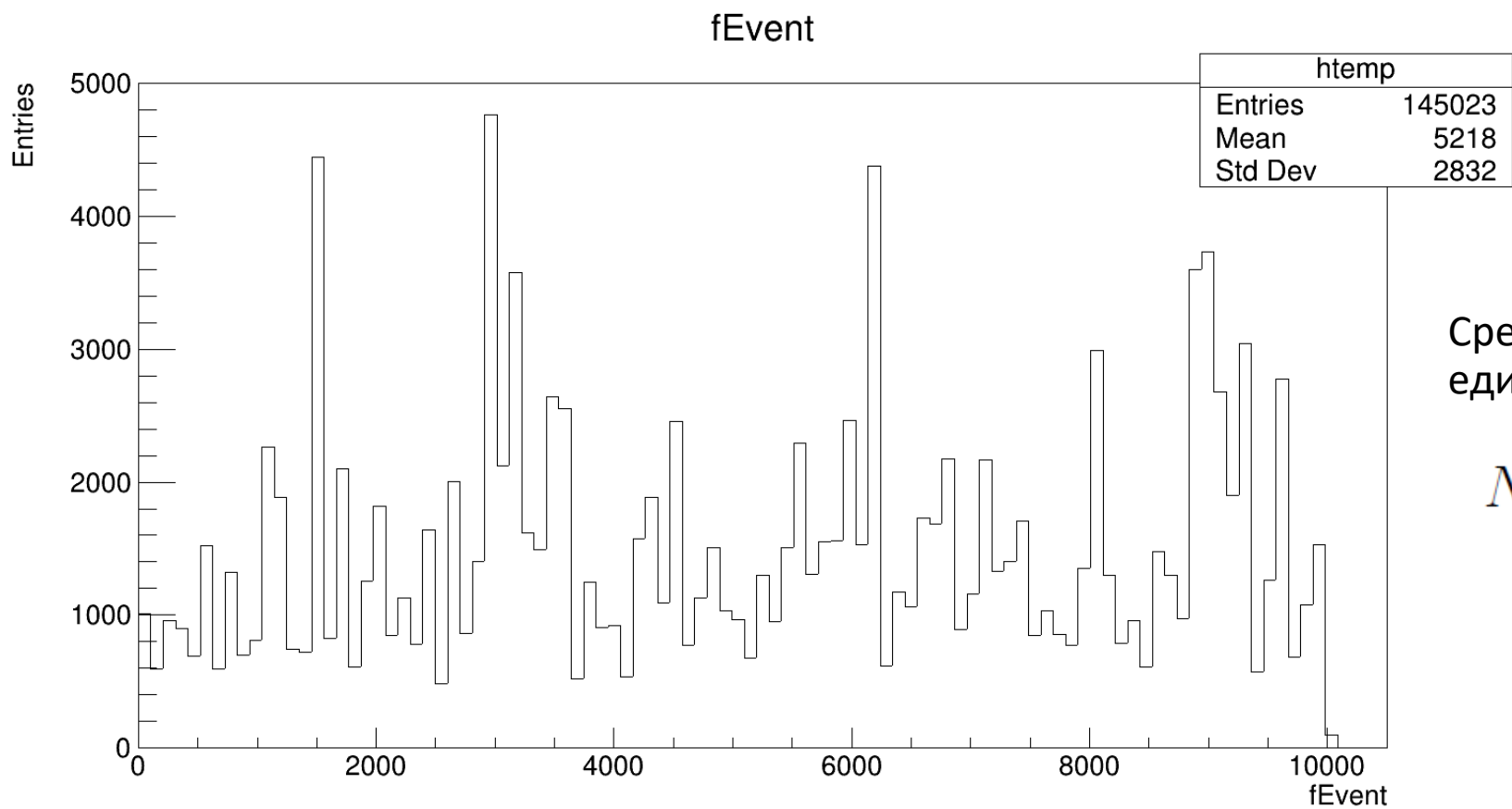
Таким образом время жизни нейтрона, равное $t = t_{\text{диф}} + t_3$, для аргона составляет: $t = 0,0038348 \text{ с} + 0,00032676 \text{ с} = 0,0041617 \text{ с} = 4161,56 \text{ мкс.}$

Теперь найдем длину замедления в аргоне (приняв среднее $\sigma_s = 2,3$ барн):

$$\begin{aligned}\sqrt{\tau(E_f \rightarrow E)} &= \sqrt{\frac{1}{3\xi\Sigma_s(\Sigma_a + \Sigma_s)} \ln \frac{E_f}{E}} = \sqrt{\frac{M_{Ar}^2}{3\xi\rho_{Ar}^2 N_a^2 \sigma_s(\sigma_a + \sigma_s)} \ln \frac{E_f}{E}} \\ &= \sqrt{\frac{40^2}{3 \cdot 0,0492 \cdot 1,392^2 \cdot 6,02^2 \cdot (10^{23})^2 \cdot (10^{-24})^2 \cdot 2,3 \cdot (2,3 + 0,664)} \ln 10^8} \\ &= 204,24 \text{ см.}\end{aligned}$$

Расчетная модель Geant4



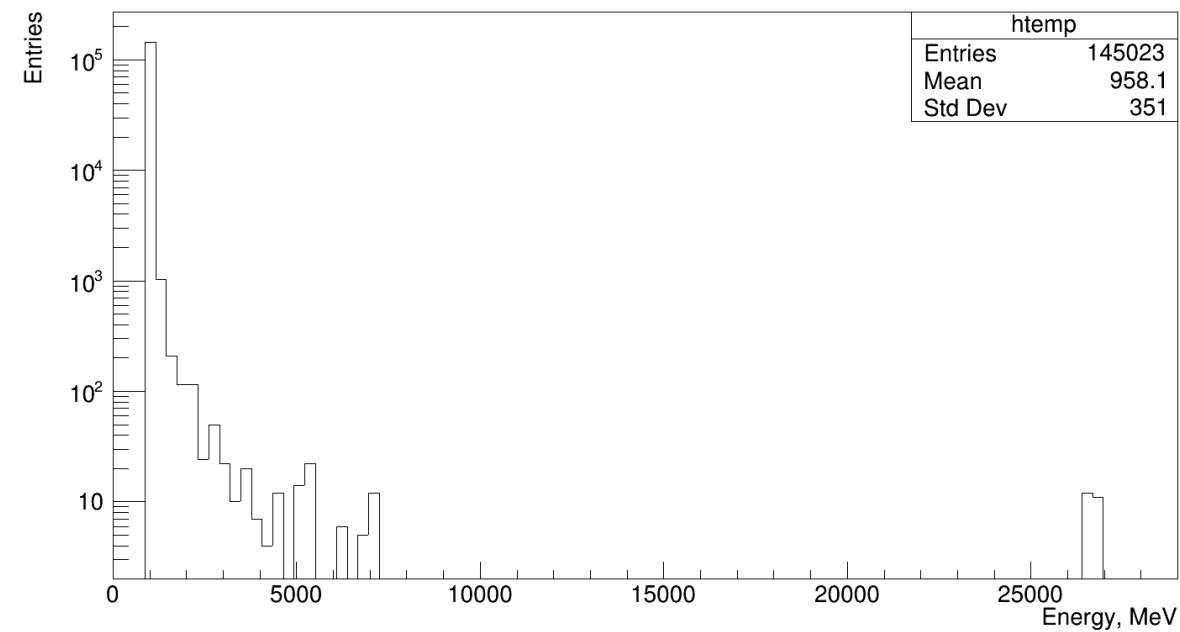


Среднее число рожденных нейтронов на единицу длины пробега мюона:

$$N_n = \frac{N}{N_\mu L_\mu} = 0,725 \pm 0,014 \text{ n/m}$$

Распределение числа рожденных нейтронов по событиям

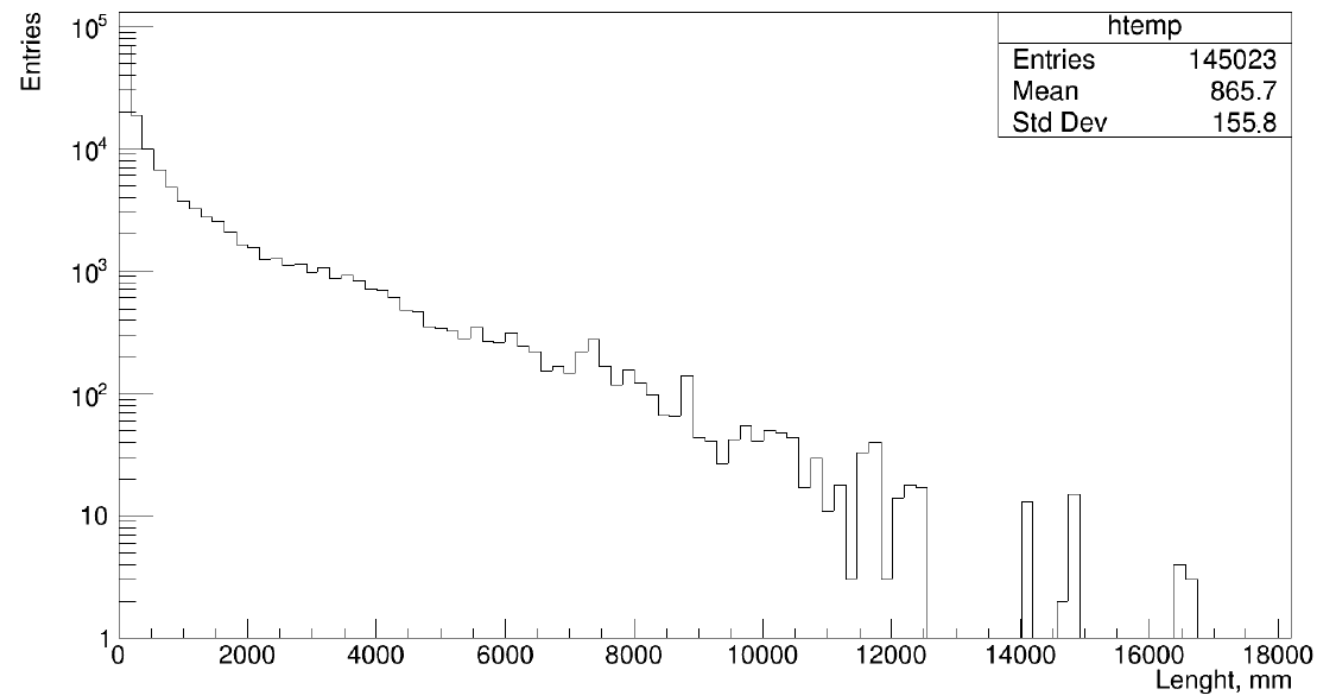
Energy



Энергетический спектр рожденных нейтронов

$$\lambda_{short} = 865,7 \pm 155,8 \text{ mm}$$

trLenght



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

Сравнение полученных результатов

	Аналитический расчет	Расчет в Geant4
Время диффузии, мкс	326,76	330,87±2,75
Длина диффузии, см	29,45	30,94±0,67
Время жизни, мкс	4161,56	4017,61±4,76
Длина замедления, см	204,24	187,18±1,34

Заключение

- Произведен расчет нейтронных параметров для жидкого аргона аналитически, а также с помощью Geant4.
- Было смоделировано в Geant4 прохождение мюонов через объем детектора, построен спектр рожденных нейтронов, определено число нейтронов на единицу длины пробега мюона, а также кратчайшего расстояние от точки радиационного захвата нейтрона до трека родительского мюона.

Спасибо за внимание