

Научно-исследовательская работа по физике элементарных частиц «Моделирование физической установки для изучения сцинтилляций в жидком гелии»

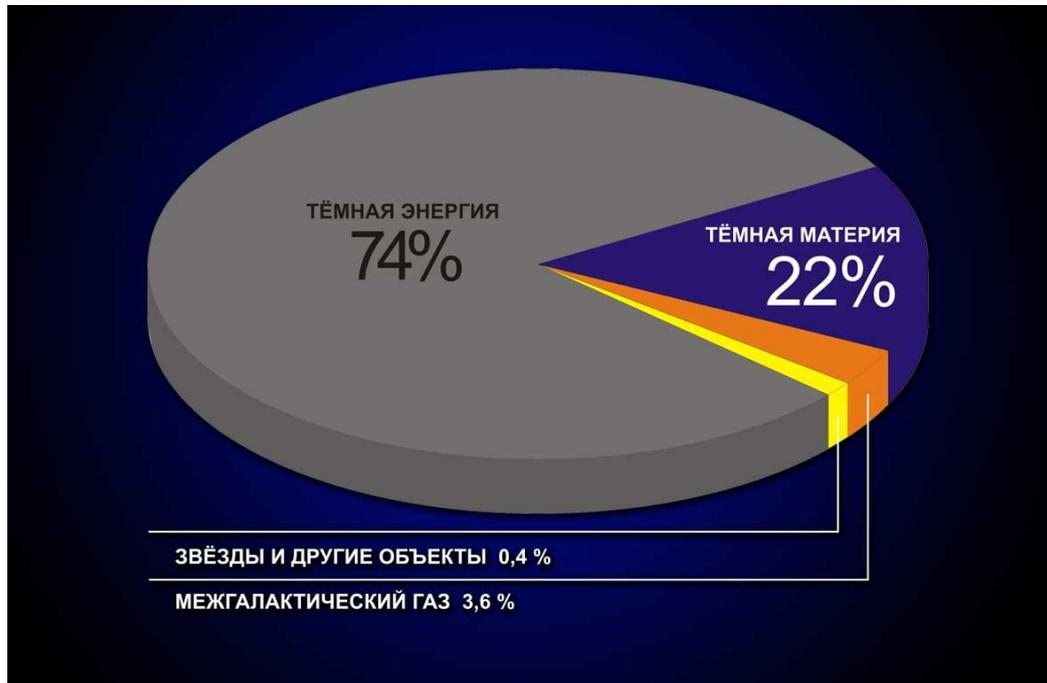
Руководитель НИР, с.н.с. ОФН,
НИЦ «Курчатовский институт»

И. Н. Мачулин

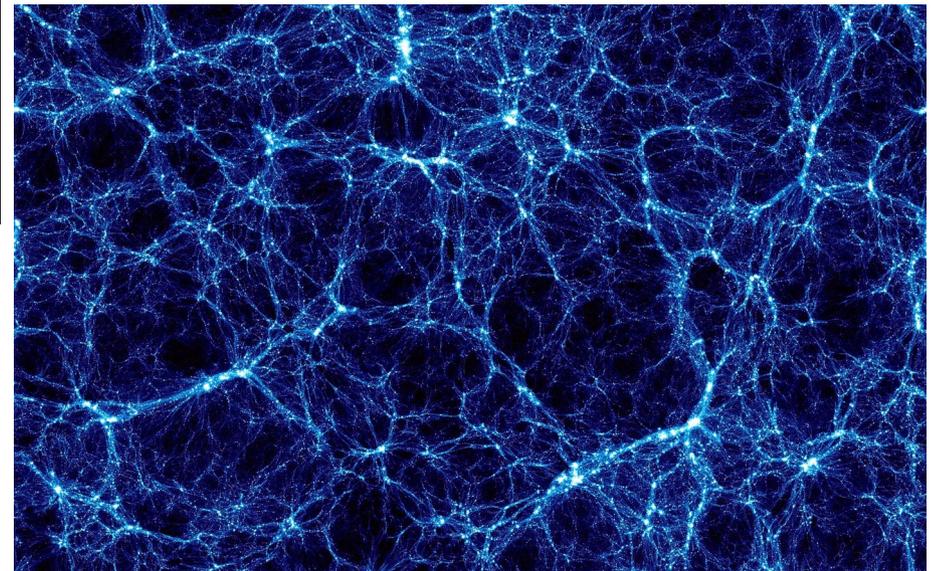
Студент гр. Б16-102

Д. С. Голубков

Введение

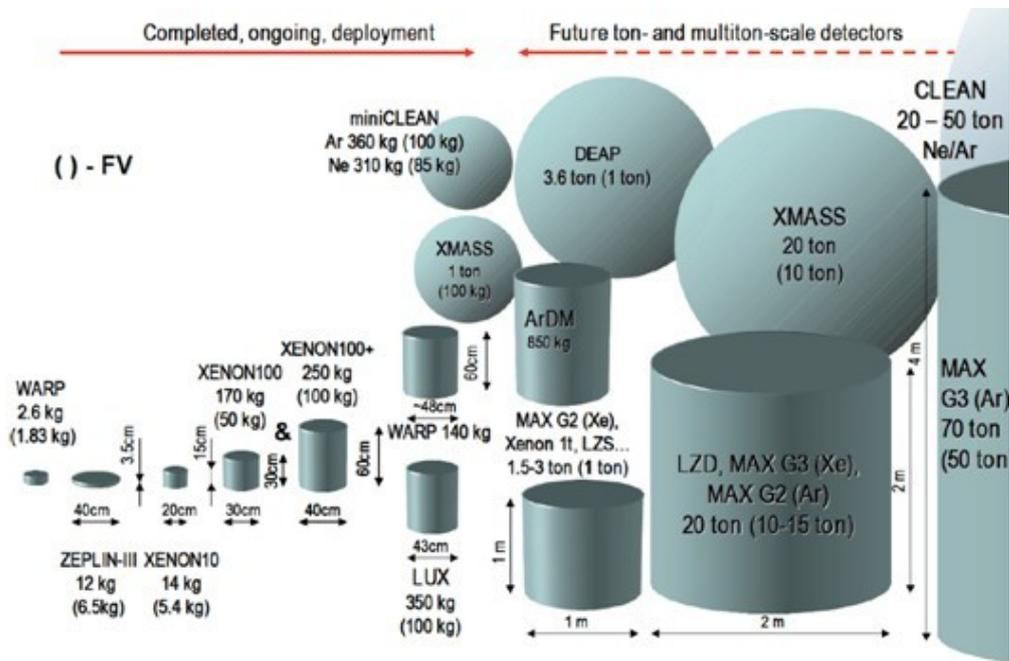


Существует много кандидатов гипотетических частиц тёмной материи. Одним из кандидатов является Weakly Interacting Massive Particles (WIMP).



Наиболее убедительными экспериментальными фактами существования темной материи, полученными из астрономических наблюдений, являются результаты измерения скоростей слоёв галактик

Детекторы на основе жидких благородных газов

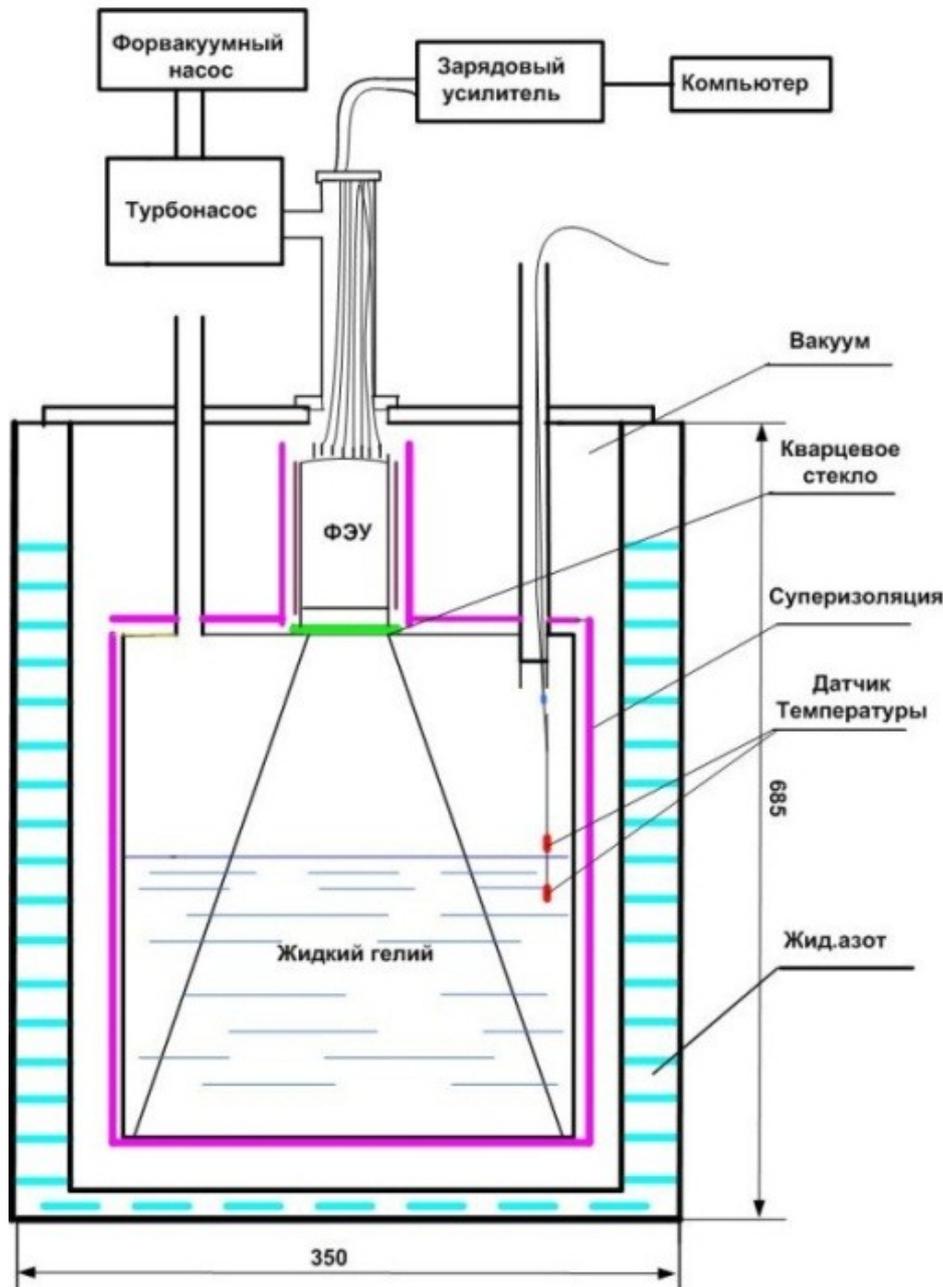


Сцинтиллятор	LHe	LAr	LXe
Плотность	0.147 г/см ³	1.395 г/см ³	2.942 г/см ³
Длина волны излучения	80 нм	128 нм	176 нм
Время высвечивания	10 нс/ 13 с	6 нс/ 1500 нс	4.3 нс/ 27 нс
Световой выход	20000 фотон/ МэВ	50000 фотон/ МэВ	63000 фотон/ МэВ
Коэффициент преломления	1.028	1.45	1.55
Мин. скорость WIMP *	191 км/с	386 км/с	504 км/с

Семейство детекторов темной материи на основе жидких благородных газов

* - порог скорости WIMP массой 1 ГэВ для регистрации детектором с энергетическим порогом 5 кэВ

Экспериментальный стенд



Схематичное изображение стенда

В танк с жидким азотом помещен вакуумный криостат, внутри которого находится гелиевый криостат, окруженный со всех сторон тепловой защитой. В верхнюю крышку гелиевого сосуда вставлено кварцевое стекло, через которое внутренний объем просматривается низкотемпературным фотоумножителем 9939 КВ.

Внутри гелиевого криостата находится светоотражающий конус из тайвека с нанесенным на его внутреннюю поверхность конвертором фотонов вакуумного ультрафиолета (ВУФ) в видимый свет. Жидкий гелий заливался несколько выше середины гелиевого объема, и уровень гелия контролировался двумя температурными датчиками. Объем для заливки гелия составляет около 3.6 л., рабочий объем – 1.2 л.

Цели и задачи

Цель работы: разработать программное обеспечение позволяющее провести расчёты физических параметров для будущих установок по поиску частиц Тёмной материи с гелиевой мишенью.

Задача: разработка программы в пакете Geant4 для моделирования установки с сцинтиллятором в виде жидкого гелия. Моделирование физических параметров детектора и сравнение с экспериментальными данными.

Моделирование в GEANT4

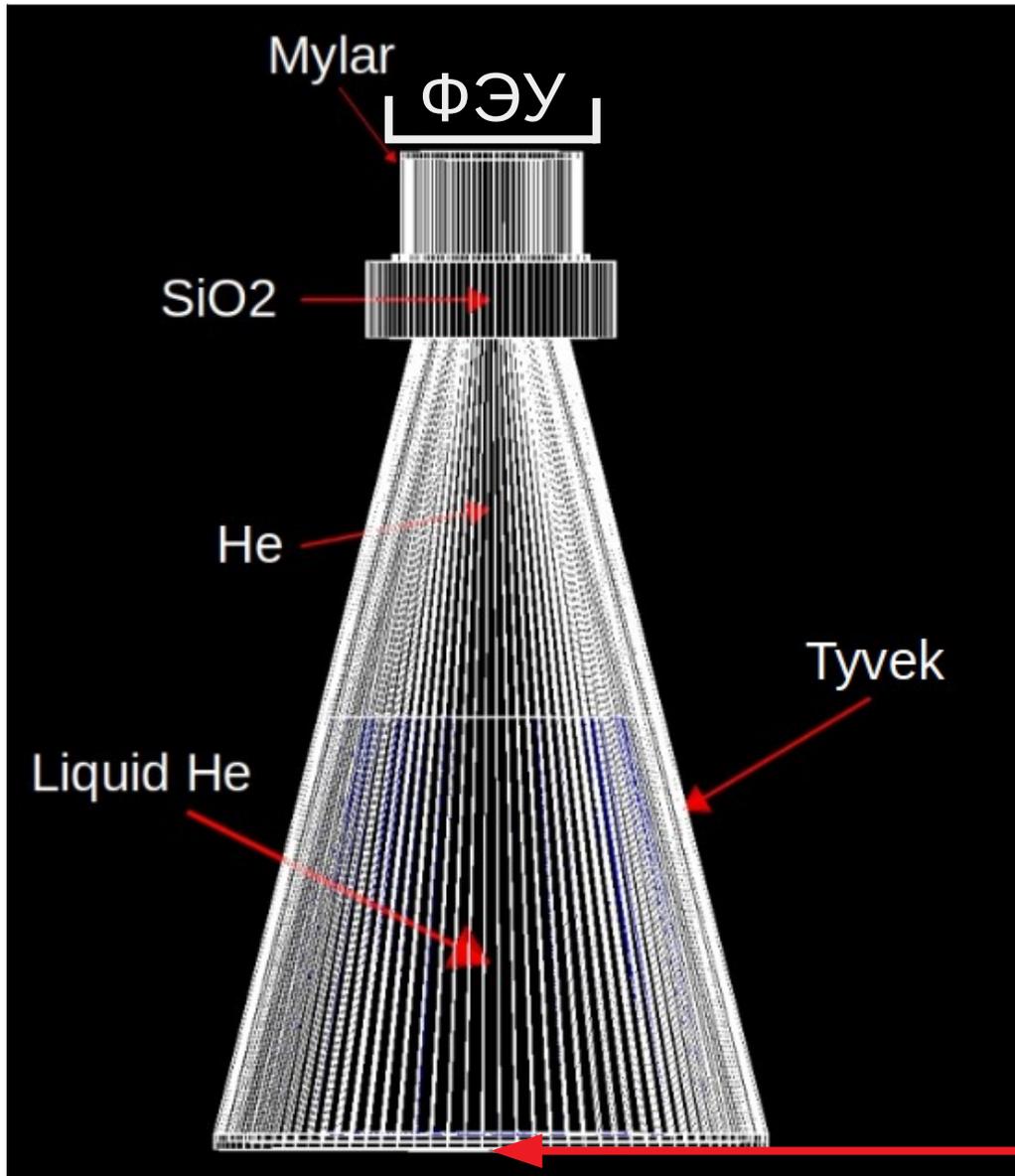
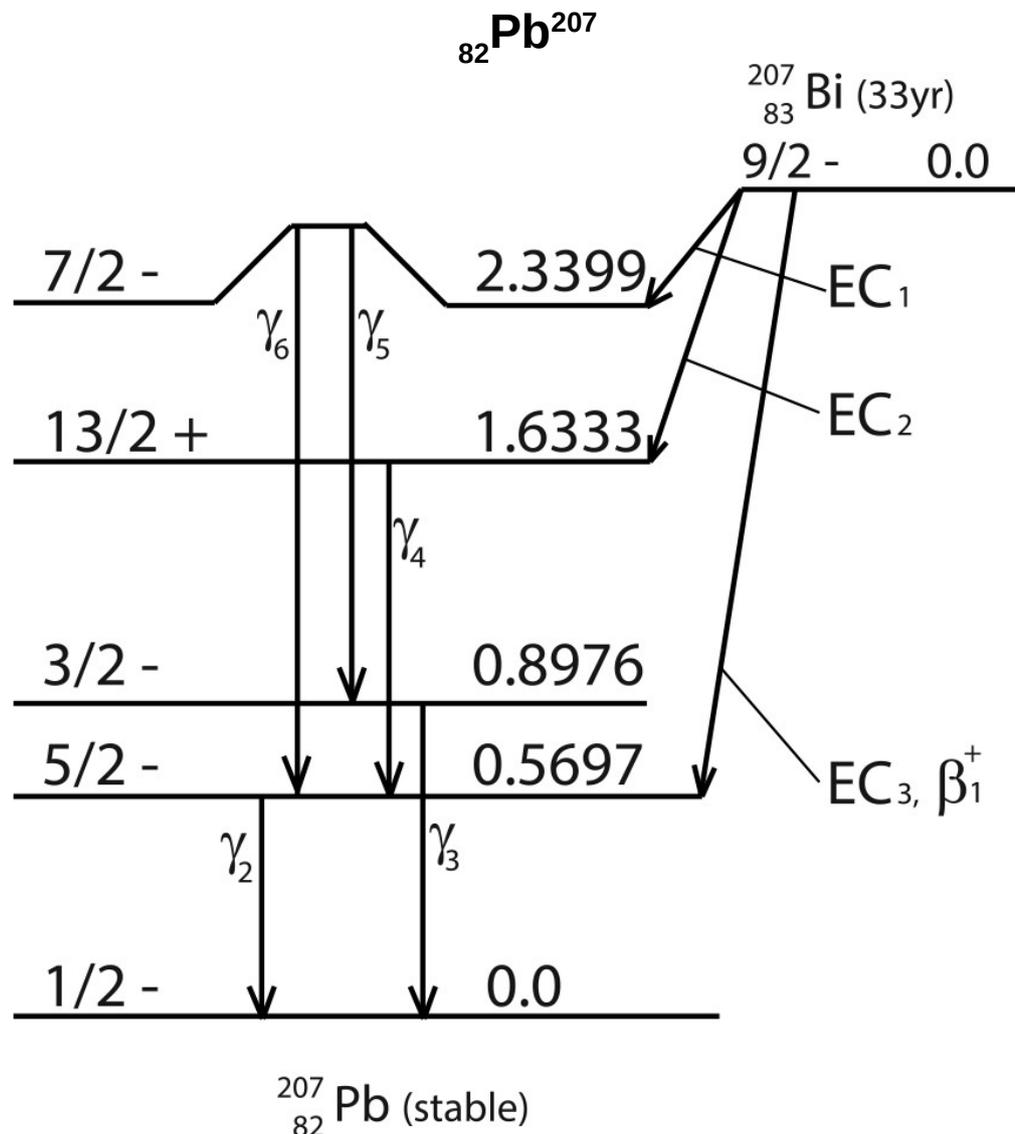


Схема модели для
изучения сцинтилляций в
жидком гелии

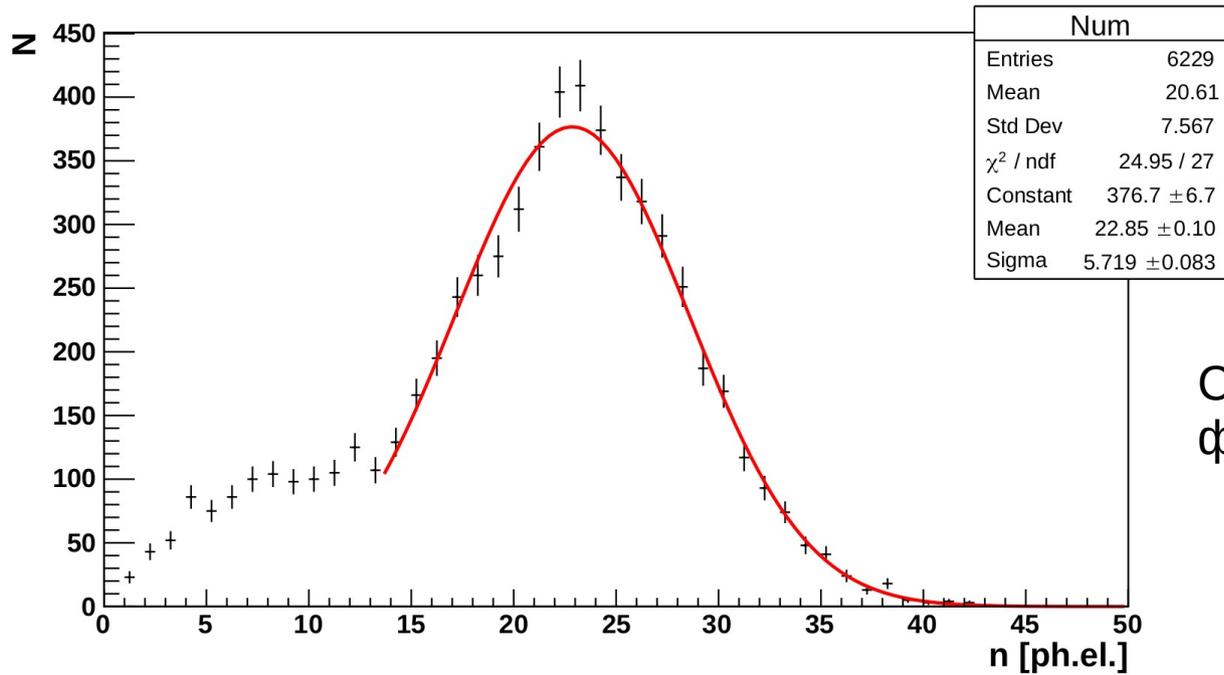
Источник ^{207}Bi

Схема распада ядра ${}_{83}^{207}\text{Bi}$ в результате е-захвата (ЕС) и уровни возбуждения в ядре



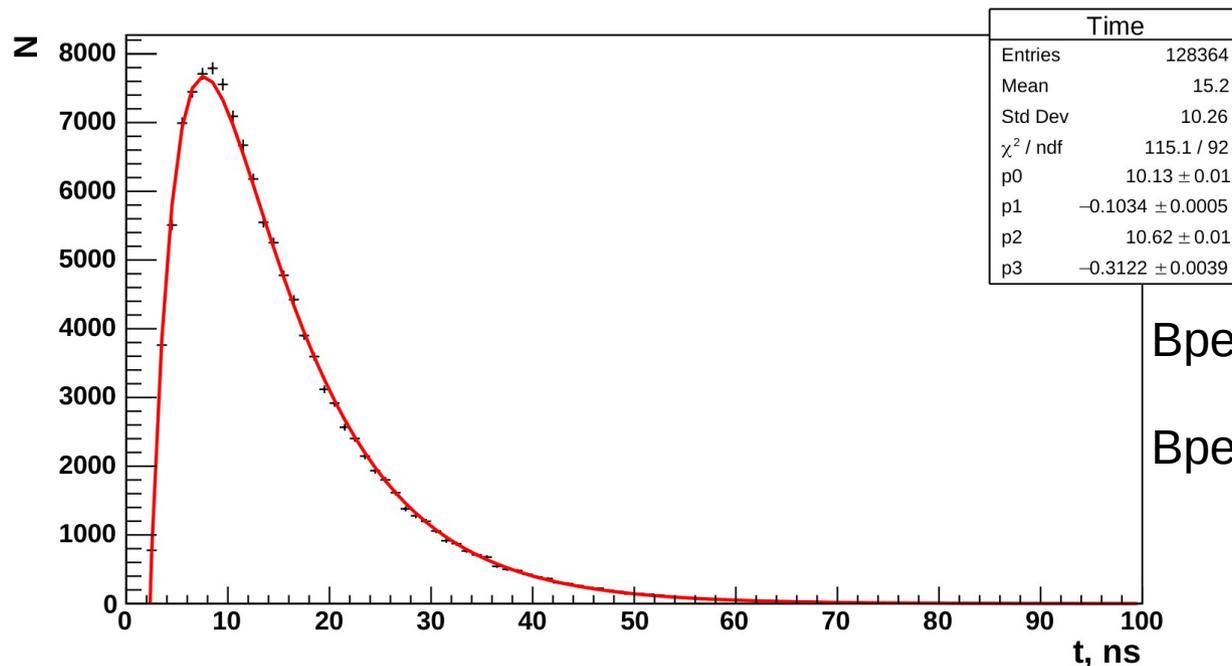
Кроме испускания γ -квантов, снятие возбуждения может происходить путем непосредственной передачи энергии ($E_{\text{перехода}} = E_i - E_f$) одному из электронов атомной оболочки, в результате чего электрон покидает пределы атома.

Регистрация электронов энергией 1 МэВ (коэффициент отражения тайвека = 0.95)



Среднее количество фотоэлектронов ~ 23

Число зарегистрированных фотоэлектронов

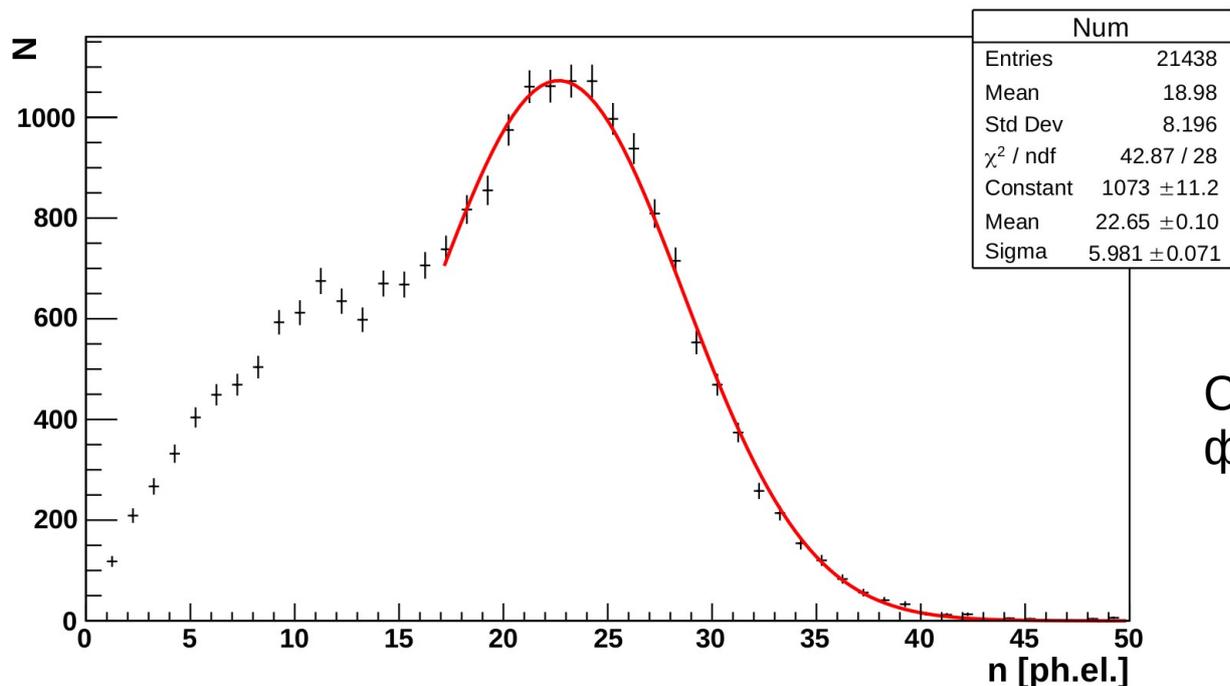


Время нарастания — 3.2 нс

Время спада — 10 нс

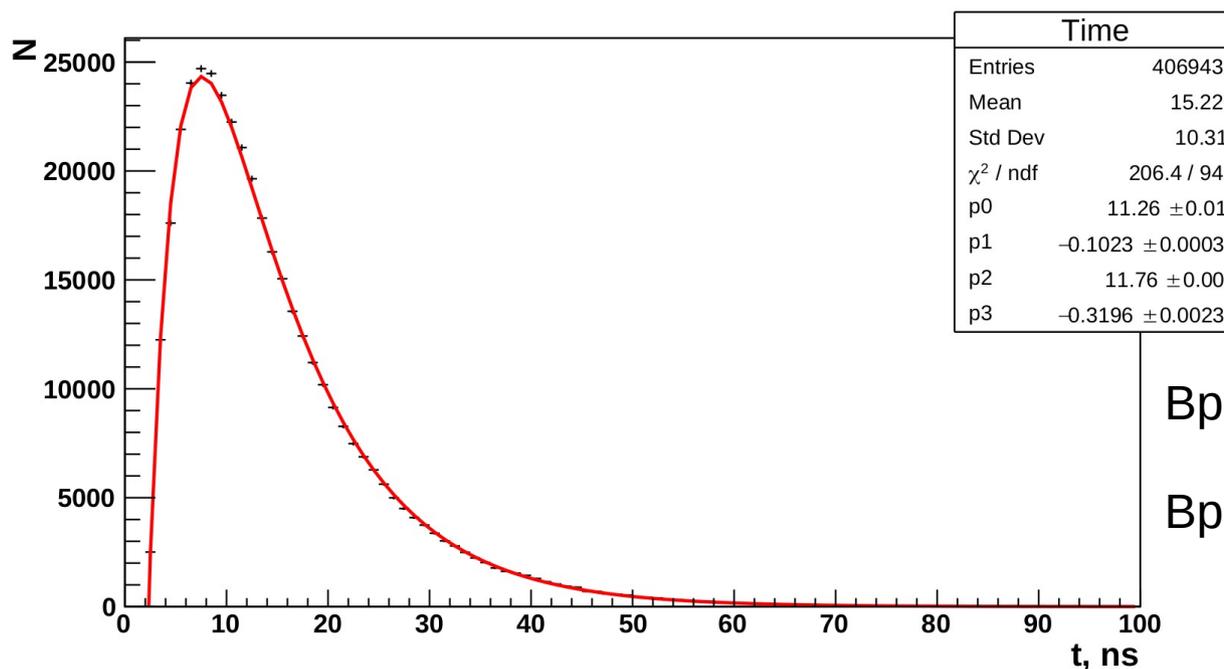
Распределение фотоэлектронов по времени

Регистрация электронов распада ^{207}Bi (коэффициент отражения тайвека = 0.95)



Среднее количество фотоэлектронов ~ 23

Число зарегистрированных фотоэлектронов



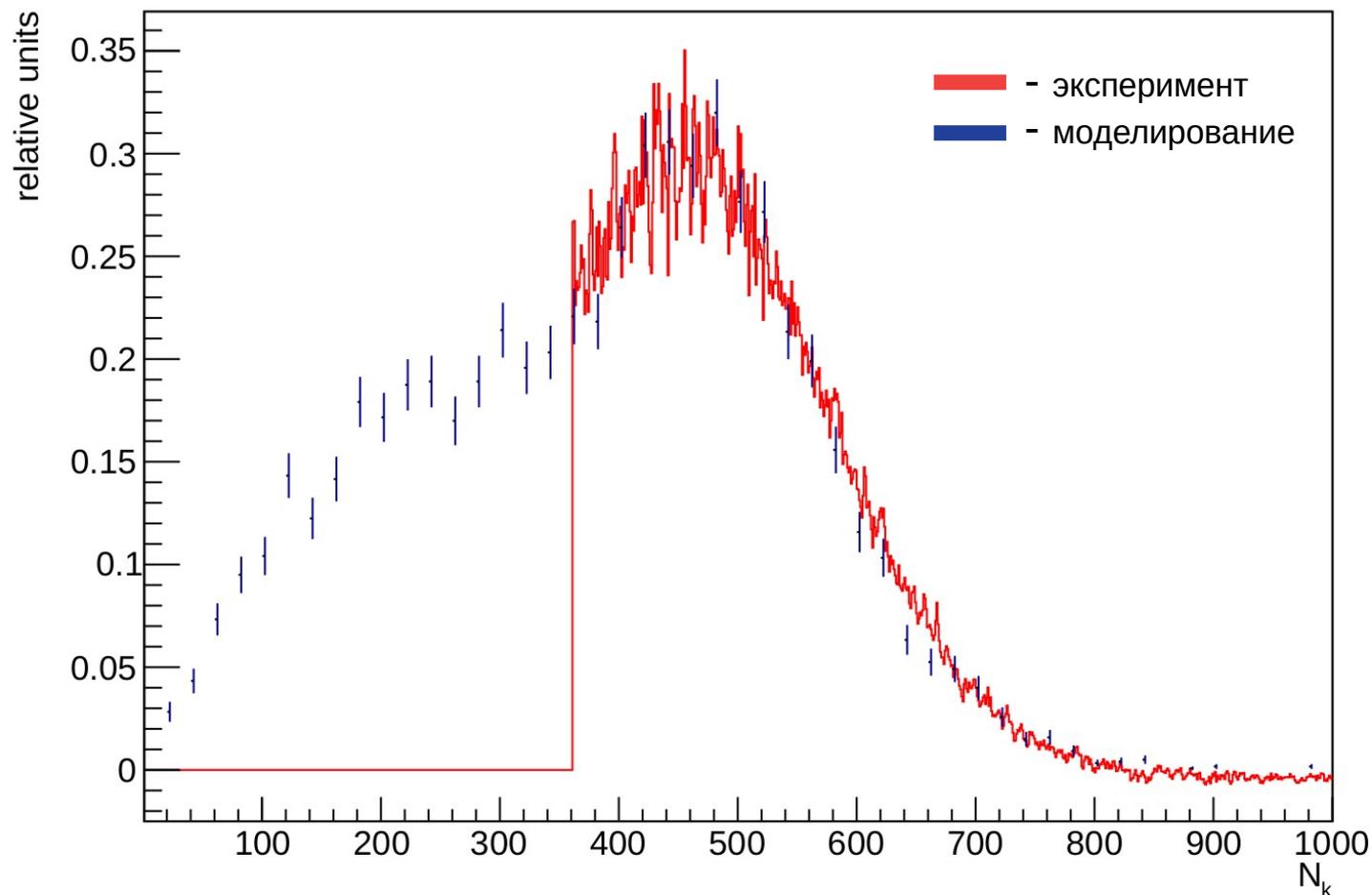
Время нарастания — 3.1 нс

Время спада — 10 нс

Распределение фотоэлектронов по времени

Сравнение спектров

В целях визуального сравнения экспериментального и смоделированного распределений числа фотоэлектронов была проведена нормировка смоделированных данных.



Спектры электронов от радиоактивного источника ^{207}Bi

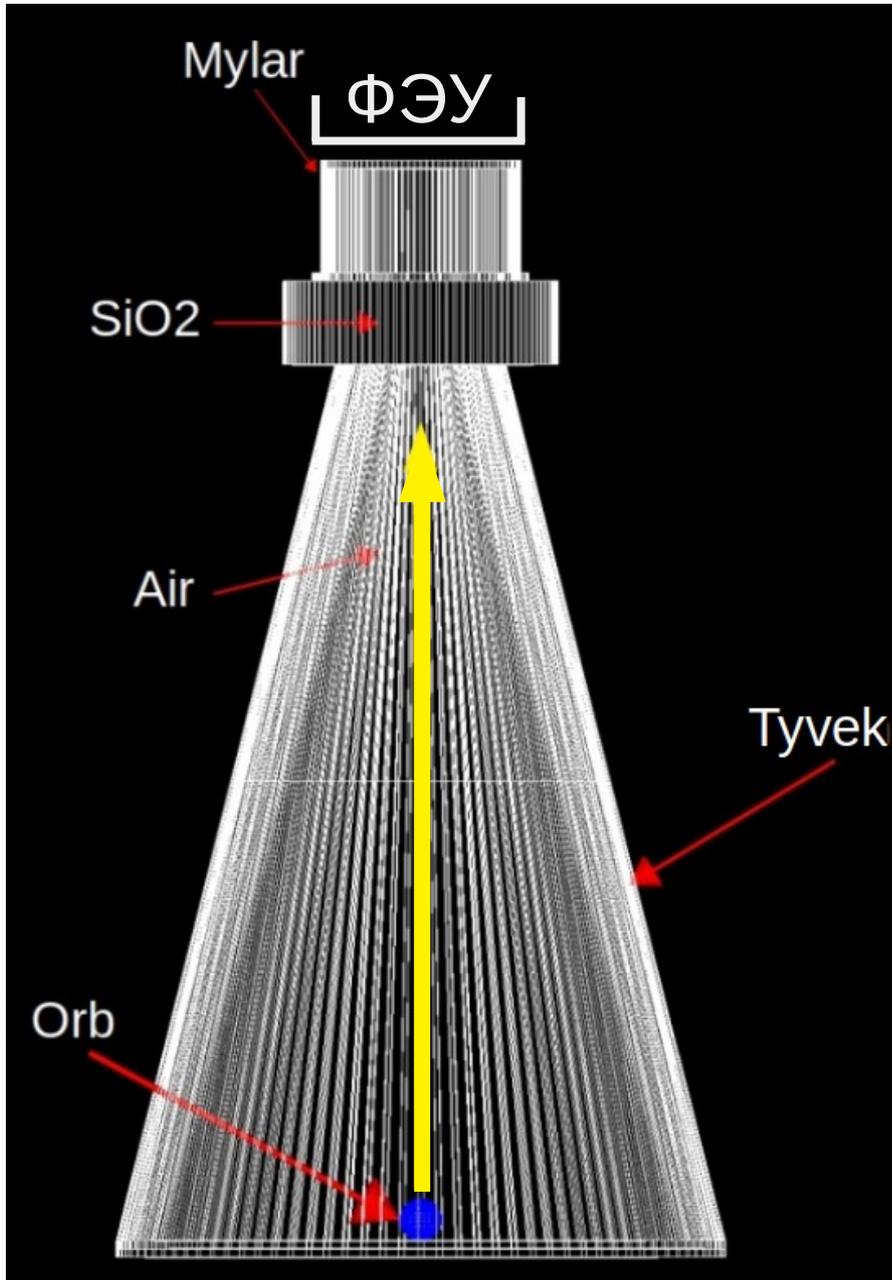
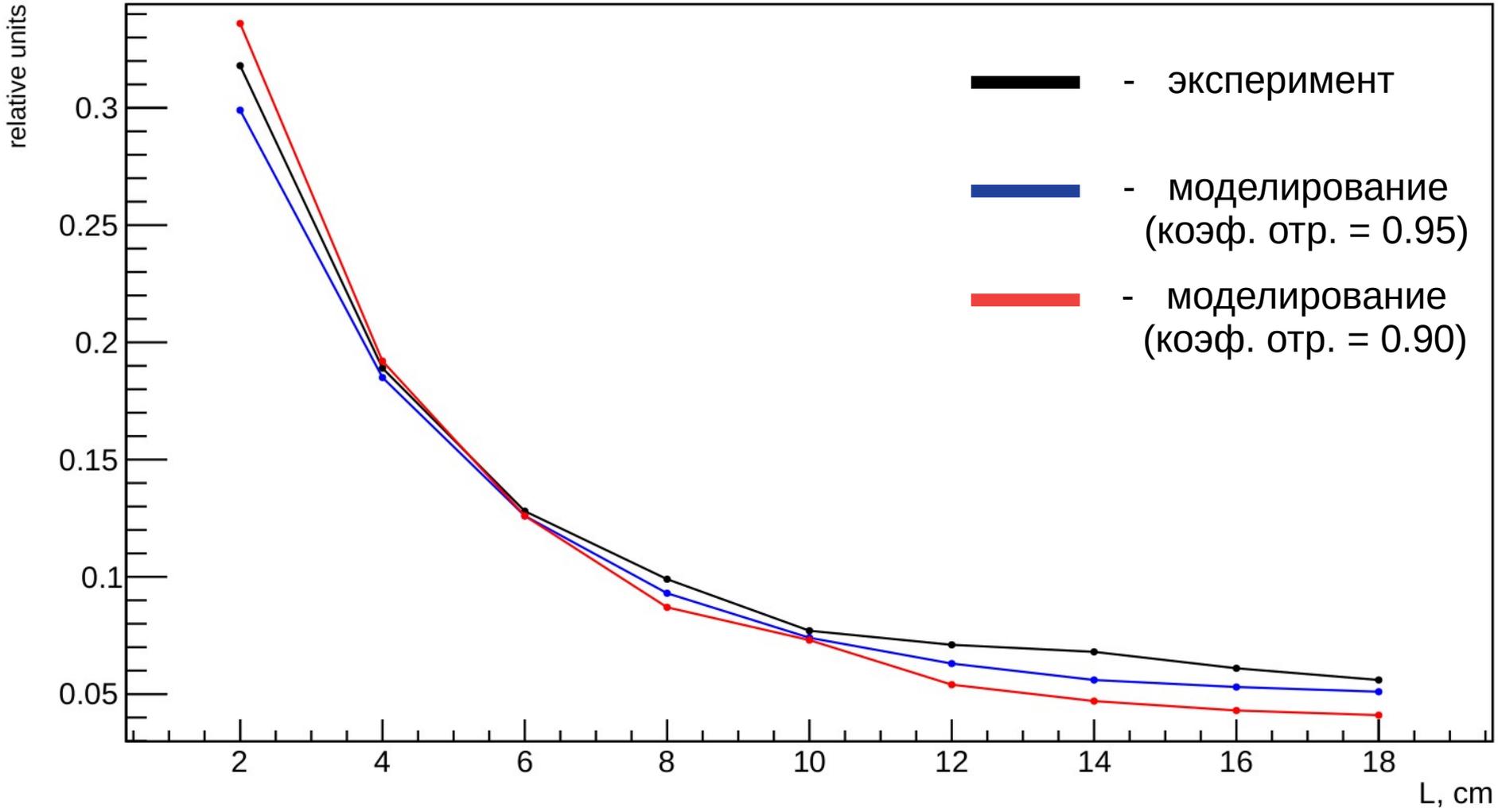


Схема установки для оценки светосбора детектора

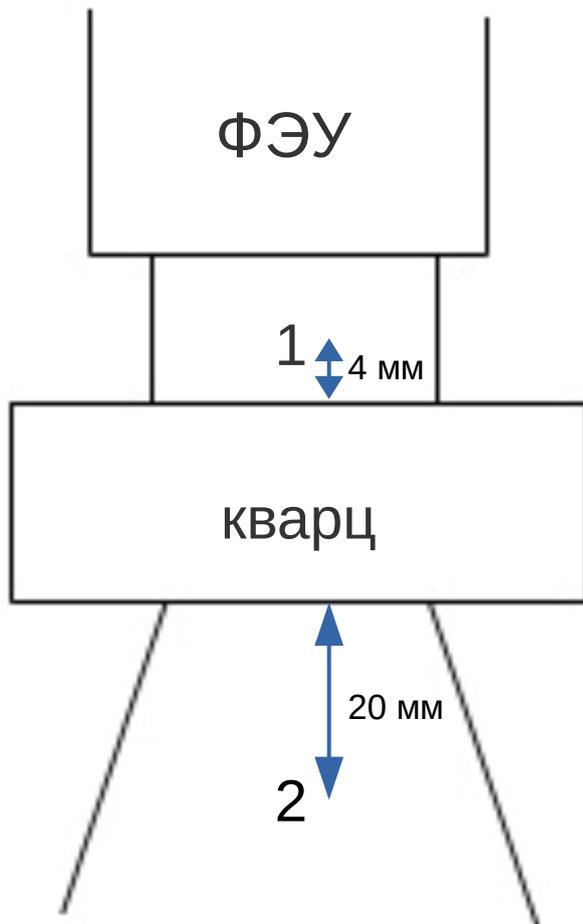
Весь гелий заменён на воздух
Источник Bi^{207}

График зависимости светосбора от положения источника при разных коэффициентах отражения тайвека



По оси абсцисс отмечено расстояние от кварцевого стекла до источника излучения

Дополнительные измерения



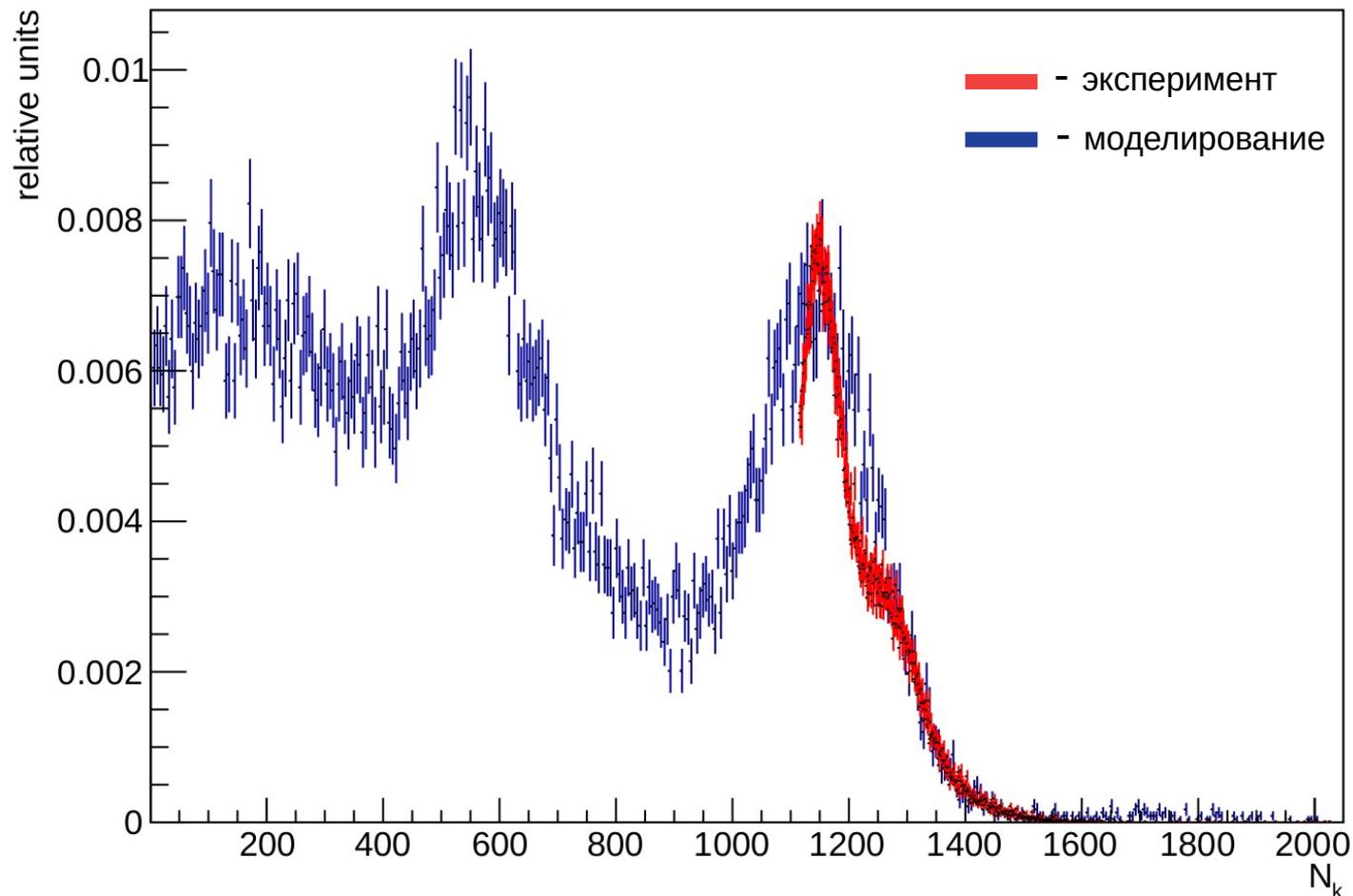
1 - все поверхности закрыты чёрным бархатом (222 фотоэлектронов)

2 - боковая поверхность световода покрыта майларом, а боковая поверхность и дно конуса покрыты черным бархатом. (120 фотоэлектронов)

Расположение источника	Точка 1		Точка 2	
	Моделирование	Эксперимент	Моделирование	Эксперимент
Данные				
Доля света поглощённая в ФЭУ	0.15	0.16	0.08	0.1

Сравнение спектров

Сравнение спектра зарегистрированных фотоэлектронов в точке 1 с экспериментом. В целях визуального сравнения распределений числа фотоэлектронов была проведена нормировка экспериментальных и смоделированных данных.



Распределения числа зарегистрированных фотоэлетронов в точке 1.

Заключение

В ходе работы было проведено моделирование работы установки для изучения сцинтилляций в жидком гелии и выполнены расчёты светосбора в детекторе. По итогу сравнения экспериментальных измерений с результатами моделирования можно сделать вывод, что разработанная модель хорошо согласуется с экспериментальными данными.

В будущем планируется усовершенствование программ моделирования, сравнение с результатами новых измерений на установке и корректировка физических параметров конструкции установки на основе результатов моделирования.

Разработанное программное обеспечение позволяет провести расчёты физических параметров для будущих установок по поиску частиц Тёмной материи с гелиевой мишенью.

Спасибо за внимание