



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Институт ядерной физики и технологий
Кафедра физики элементарных частиц №40

Выпускная квалификационная работа студента на тему:

Гамма-локатор с вынесенной детектирующей частью на основе сцинтиллятора GAGG

Научный руководитель: Дубинин Ф. А.

Студент: Бондаренко Д. О.

27.06.2024



Введение



Гамма-локатор – портативный прибор для регистрации гамма-излучения, который широко используется в интраоперационной диагностике.

Составные части детектора:

- коллиматор – ограничивает поток гамма-квантов в определенном направлении;
- сцинтиллятор – преобразует гамма-кванты в фотоны;
- фотоприемник – регистрирует фотоны.

Основные технические характеристики:

- чувствительность;
- пространственное разрешение;
- пространственная селективность;
- энергетическое разрешение.

Цель и задачи

Цель:

модернизация элементов Гамма-локатора с вынесенной детектирующей частью для улучшения эффективности работы прибора.

Задачи:

- проверка нового сцинтилляционного кристалла GAGG:Ce для использования в Гамма-локаторе;
- подбор оптимального отражающего покрытия сцинтиллятора;
- сравнение энергетического и координатного разрешения Гамма-локатора с различными детекторами;
- создание компьютерной модели, позволяющей варьировать параметры коллиматора;
- оптимизация с помощью компьютерной модели параметров коллиматора для повышения эффективности работы Гамма-локатора.

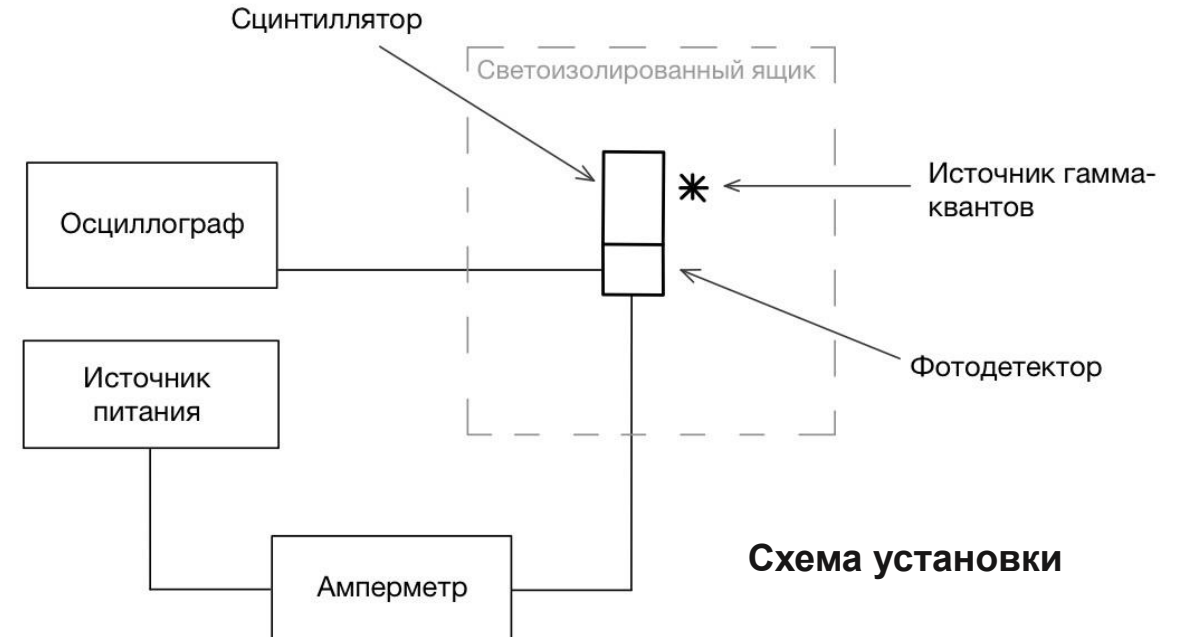
Сравнение отражающих покрытий и сцинтилляторов GAGG:Ce и LYSO:Ce

Характеристики сцинтилляторов	LaBr ₃ :Ce	NaI:Tl	LYSO:Ce	GAGG:Ce
Энергетическое разрешение (по линии 662 кэВ), %	3.0	7.5	7.1	6.0
Плотность, г/см ³	5.08	3.67	7.1	6.63
Z _{эфф}	45	51	63	51
Время высвечивания, нс	16	250	41	92
Световыход, фотон/кэВ	65	38	30	40-45
Длина волны излучения (в максимуме), нм	365	415	420	520
Гигроскопичность	+	+	-	-
Наличие собственного фона	+	-	+	-

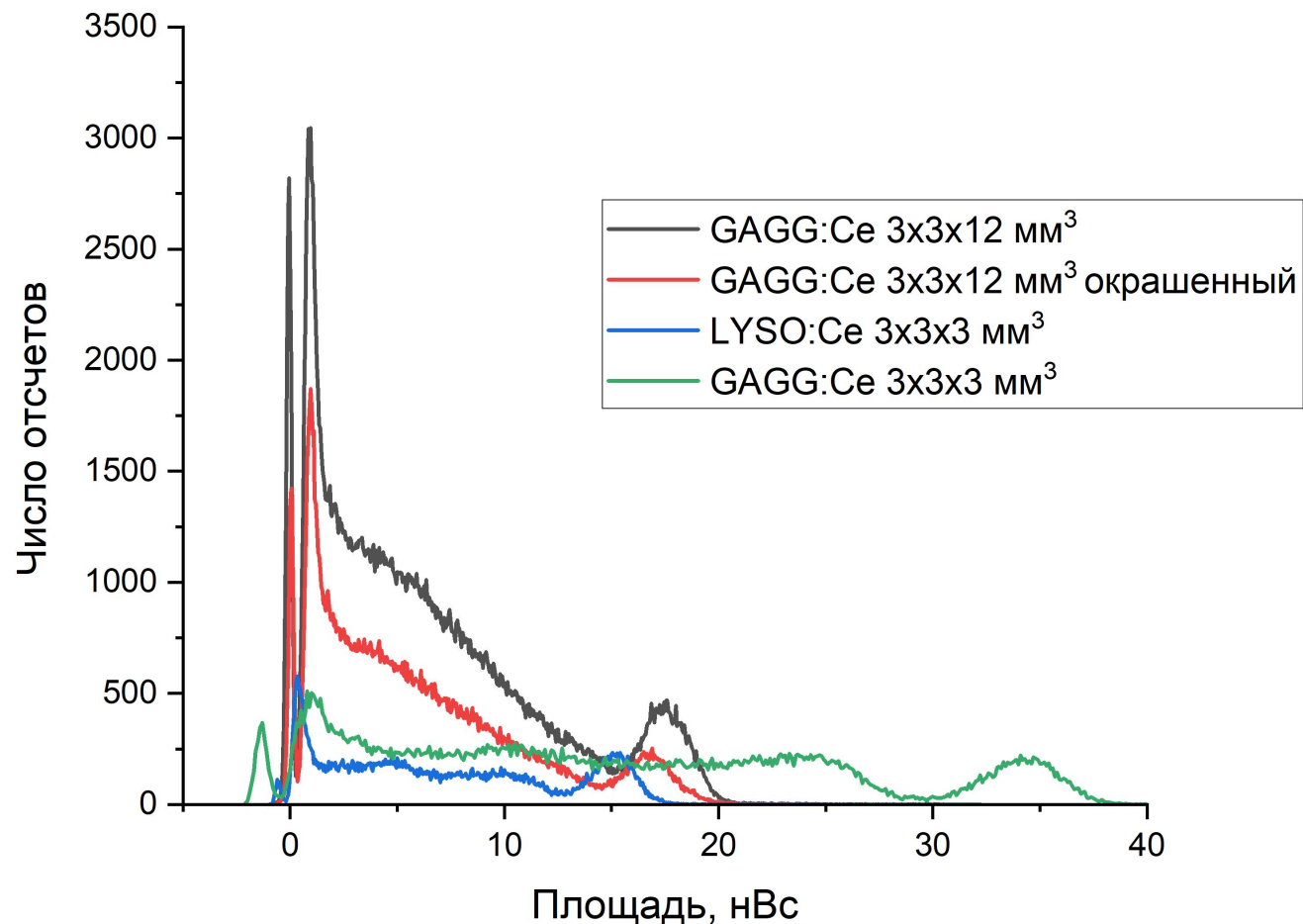
Размер пикселя	35×35 мкм ²
Фоточувствительная площадь	3×3 мм ²
Число пикселей	4774
Коэффициент заполнения	64%
Напряжение пробоя	24.5В ± 0.5В
Положение максимума на кривой чувствительности	420 нм
Коэффициент усиления	2.3×10 ⁶
Время восстановления пикселя	82 нс

Характеристики Sensl MicroFC-30035-SMT

- источник гамма-квантов: Cs-137;
- энергия излучения: 662 кэВ;
- фотодетектор: Sensl MicroFC-30035-SMT;
- напряжение питания: 28.4 В;
- осциллограф LeCroy Waverunner 620Zi;
- отражающие покрытия кристалла: тефлоновая лента и краска на основе титановых белил;
- сцинтилляционные кристаллы: GAGG:Ce и LYSO:Ce.



Результаты измерений

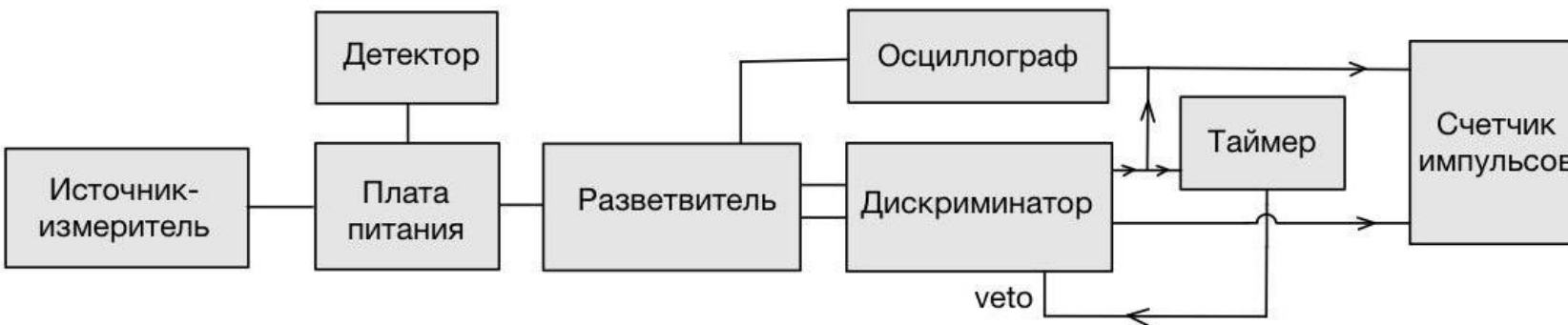


	Положение максимума, нВс	Энергетическое разрешение, %
GAGG:Ce 3×3×12 мм ³	17.61 ± 0.02	16
GAGG:Ce 3×3×12 мм ³ (окрашенный)	16.79 ± 0.01	17
GAGG:Ce 3×3×3 мм ³	35.61 ± 0.01	12
LYSO:Ce 3×3×3 мм ³	15.60 ± 0.01	15

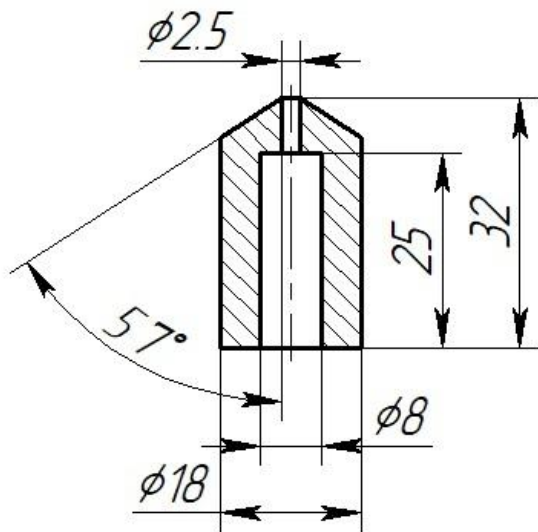
- тефлоновое покрытие показало незначительное улучшение показателя энергетического разрешения, тем не менее для применения в Гамма-локаторе с технической точки зрения удобнее использовать окрашивание сцинтиллятора;
- энергетическое разрешение LYSO:Ce 3×3×3 мм³ оказалось немного лучше, чем GAGG:Ce 3×3×12 мм³, однако из-за наличия собственного фона, приводящего к побочному счету, предпочтение для использования в Гамма-локаторе следует отдать кристаллу GAGG:Ce.

Экспериментальное измерение пространственного разрешения

Схема установки



Источник гамма-квантов: Co-57
(122 кэВ – 85.5%, 136 кэВ – 10.7%)
Активность источника: ~200 Бк
Фотодетектор: MicroFC-30035-SMT
Напряжение питания: 29 В



Чертеж коллиматора в эксперименте
Материал: свинец

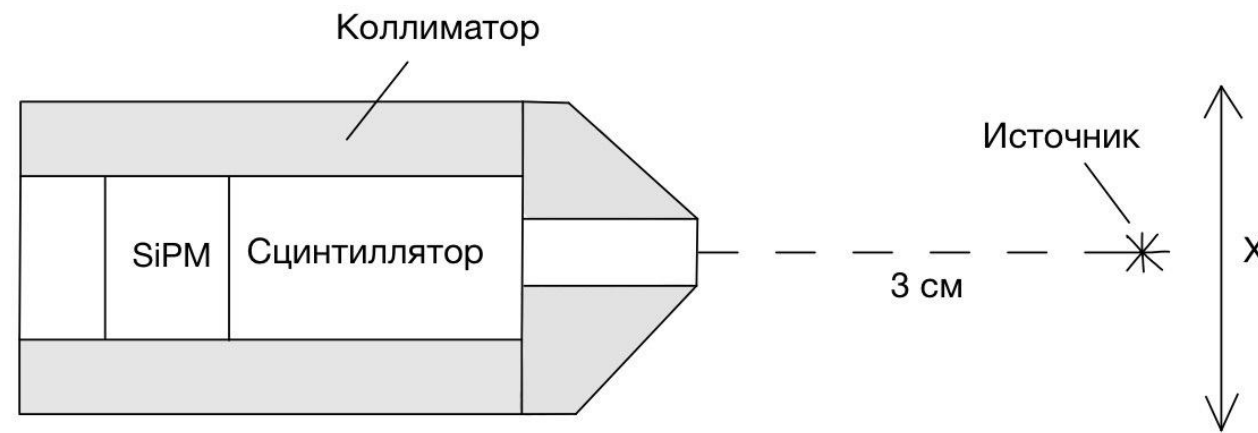
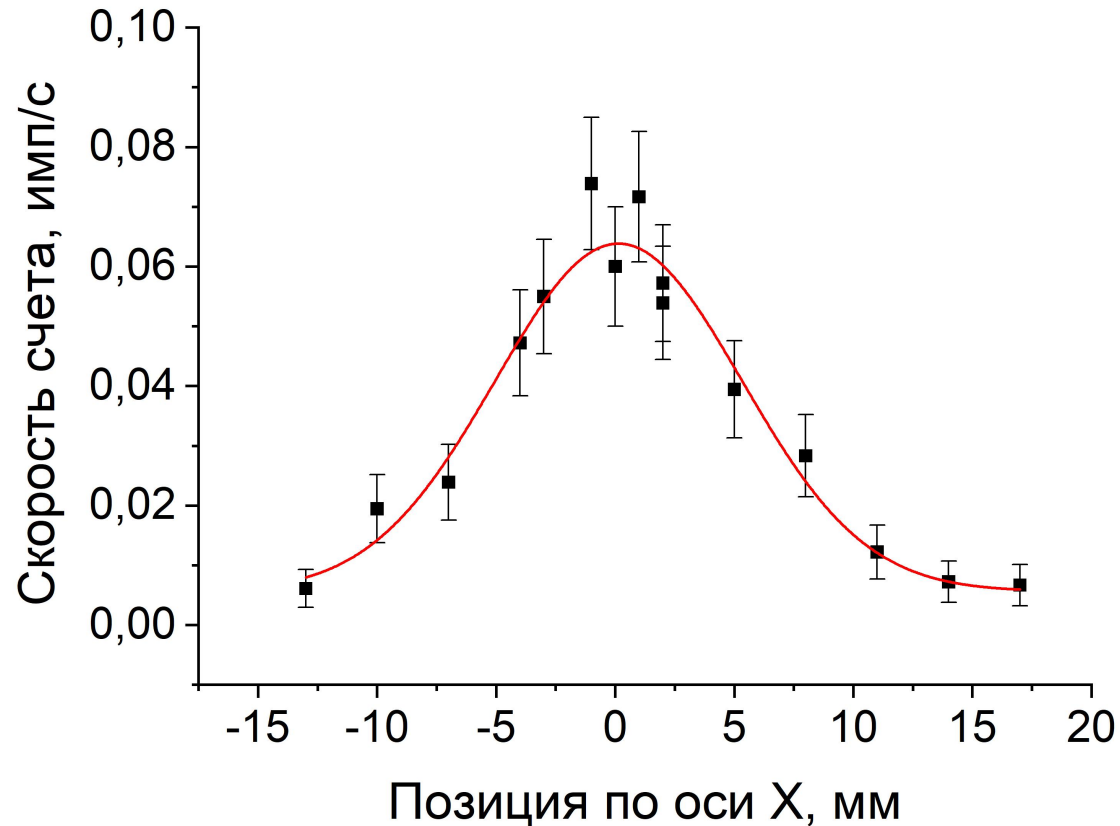


Схема измерения пространственного разрешения

Сравнение пространственного разрешения детектора со сцинтилляторами GAGG:Ce и LaBr3:Ce

GAGG:Ce 3×3×5 мм³

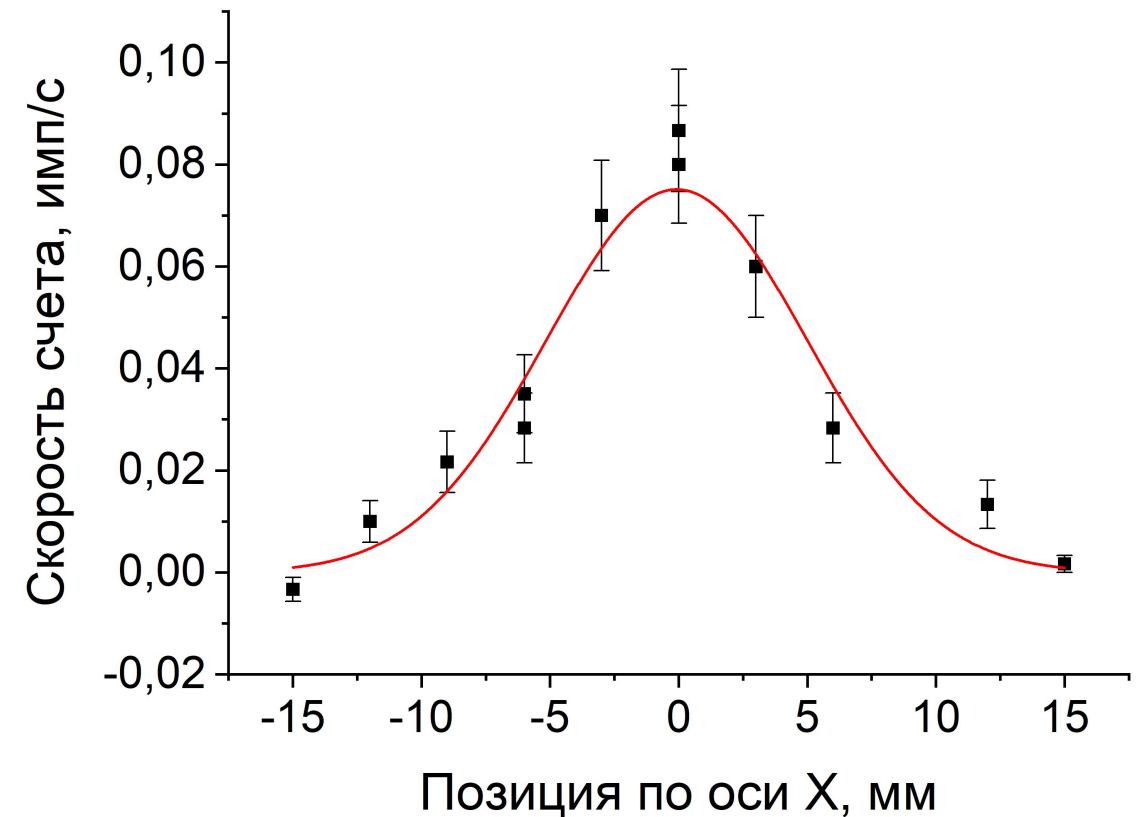
(расстояние от источника до входного окна коллиматора **30 мм**)



Пространственное разрешение: **12.2 ± 0.9 мм**

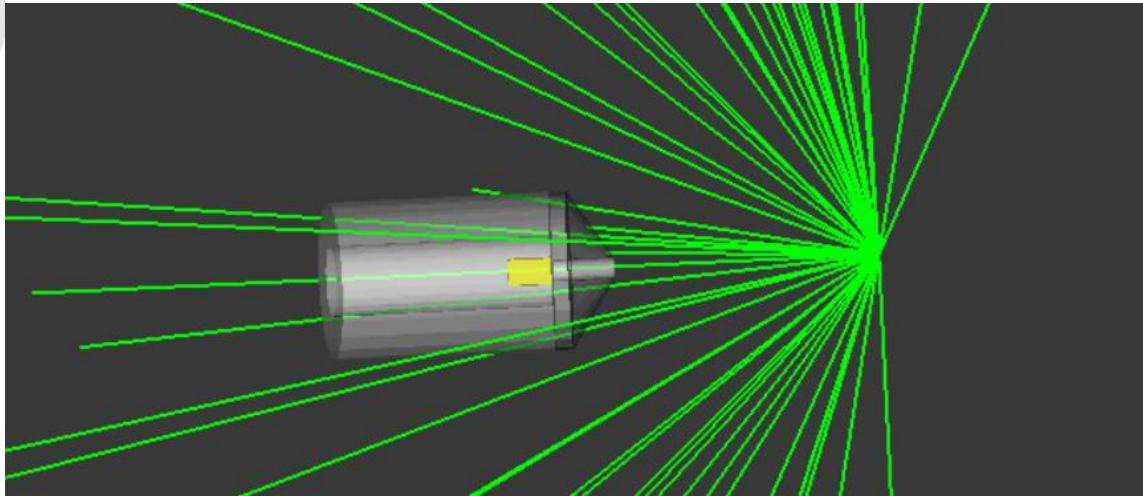
LaBr3:Ce Ø5 мм × 10 мм

(расстояние от источника до входного окна коллиматора **23 мм**)

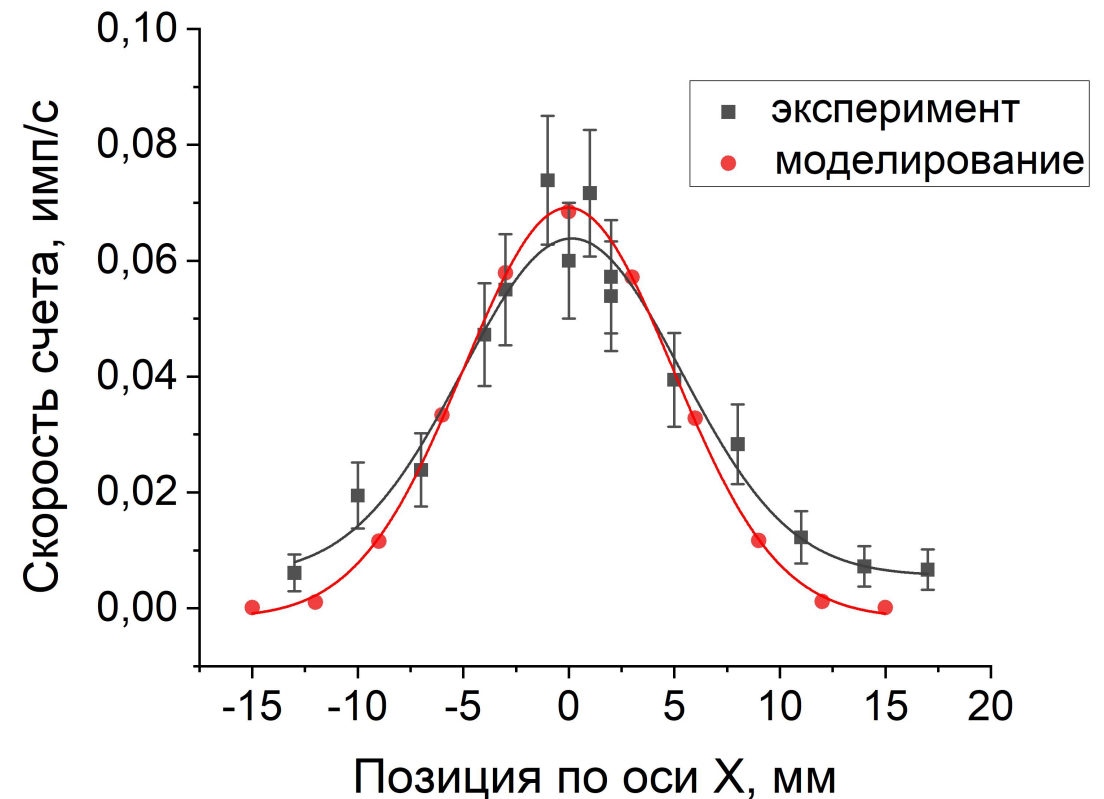


Пространственное разрешение: **11.9 ± 1.1 мм**

Создание компьютерной модели в GEANT4



- точечный источник;
- энергия излучения: 124 кэВ (средневзвешенное значение энергии по двум близкорасположенным спектральным линиям Co-57: 122 кэВ – 85.5 %, 136 кэВ – 10.7 %);
- сцинтилляционный кристалл: GAGG:Ce 3×3×5 мм³.

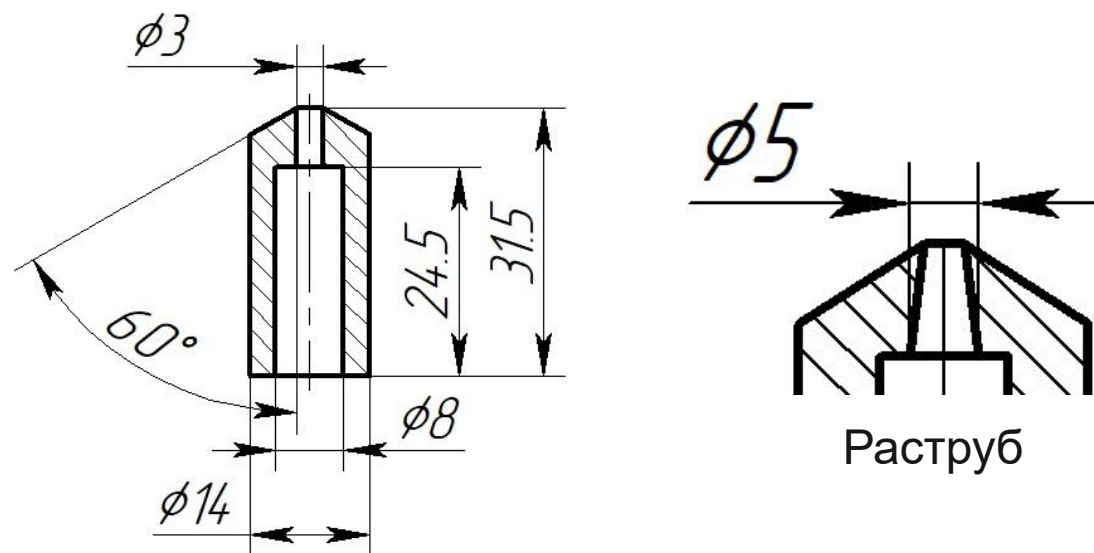


Пространственное разрешение:

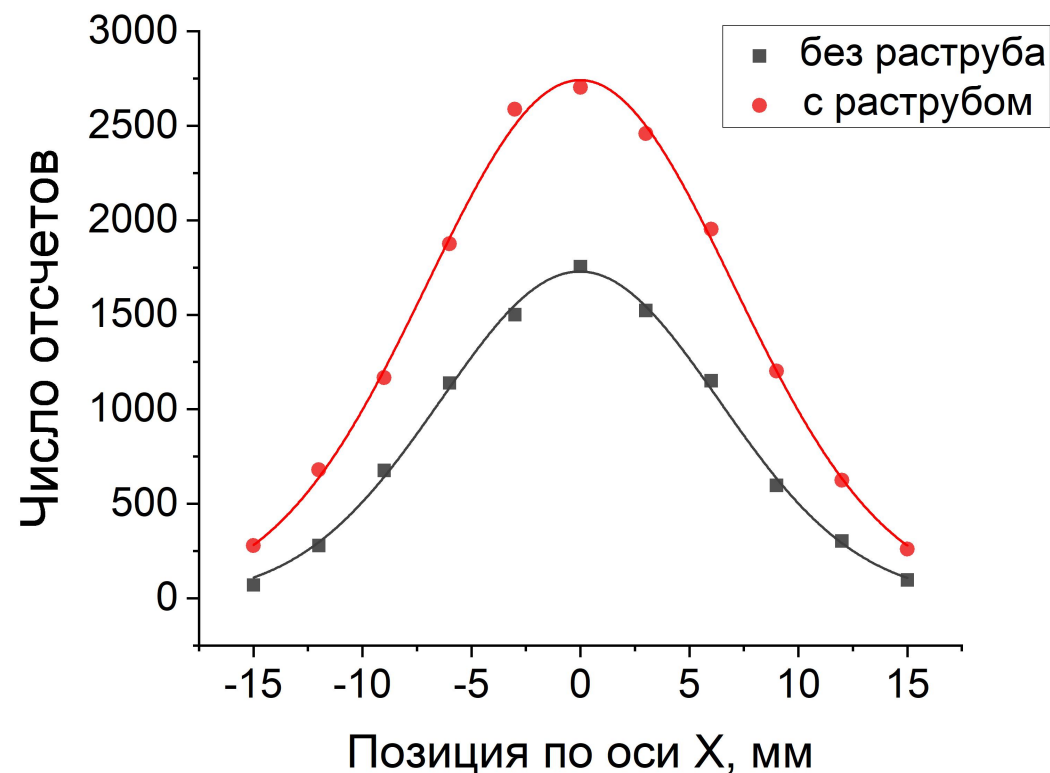
- эксперимент: 12.2 ± 0.9 мм;
- моделирование: 11.7 ± 0.2 мм.

Текущий коллиматор с раструбом и без него

- сферический источник ($\varnothing 10$ мм);
- энергия излучения: 140 кэВ;
- сцинтиллятор: GAGG:Ce $\varnothing 5$ мм \times 5 мм;
- расстояние между центром источника и входным окном коллиматора: 30 мм.

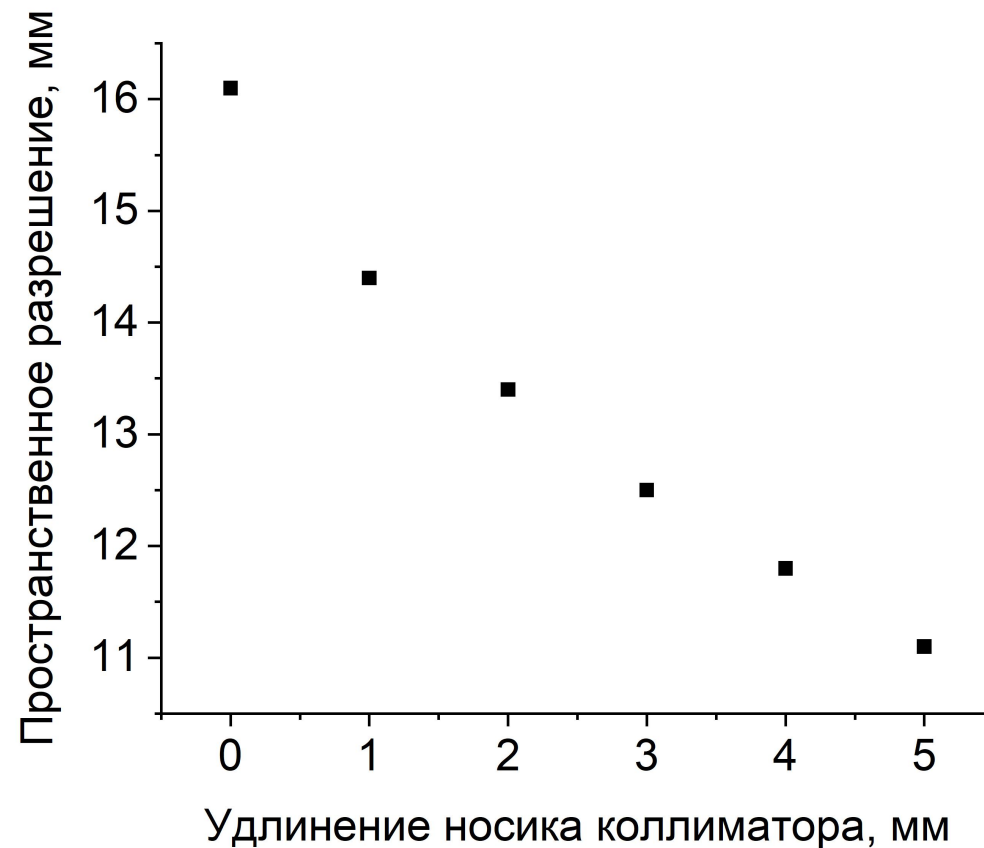
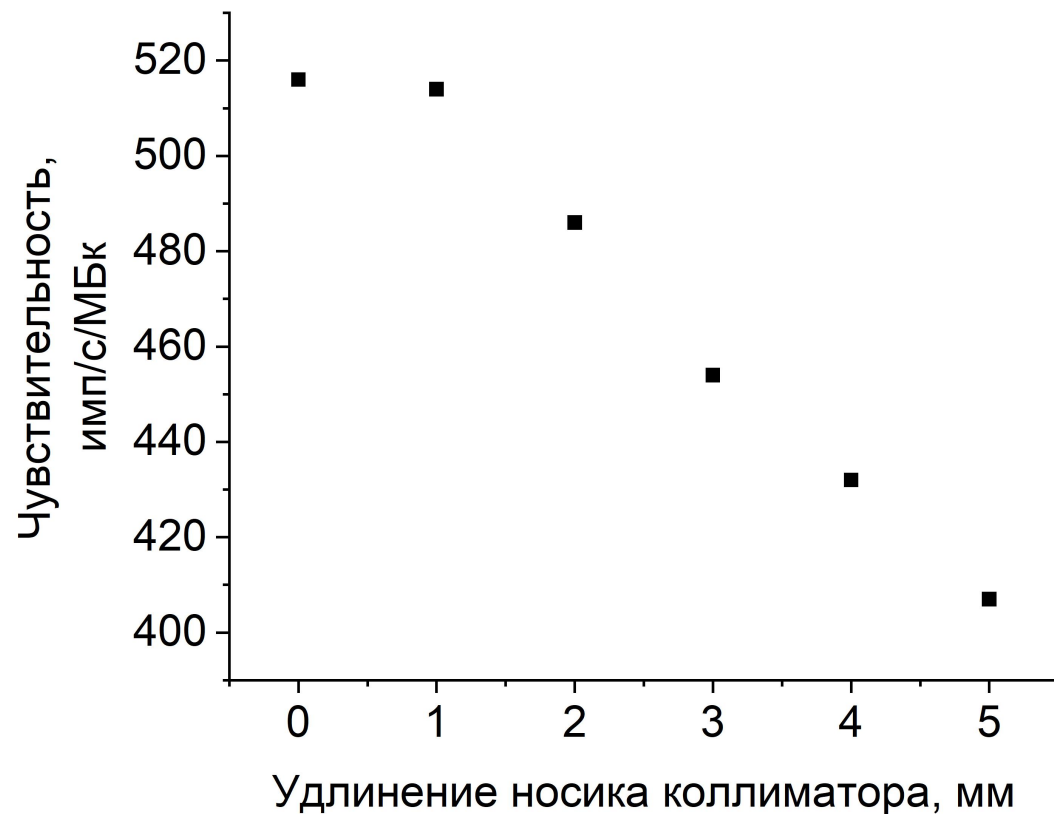


Чертеж текущего коллиматора
Материал: свинец



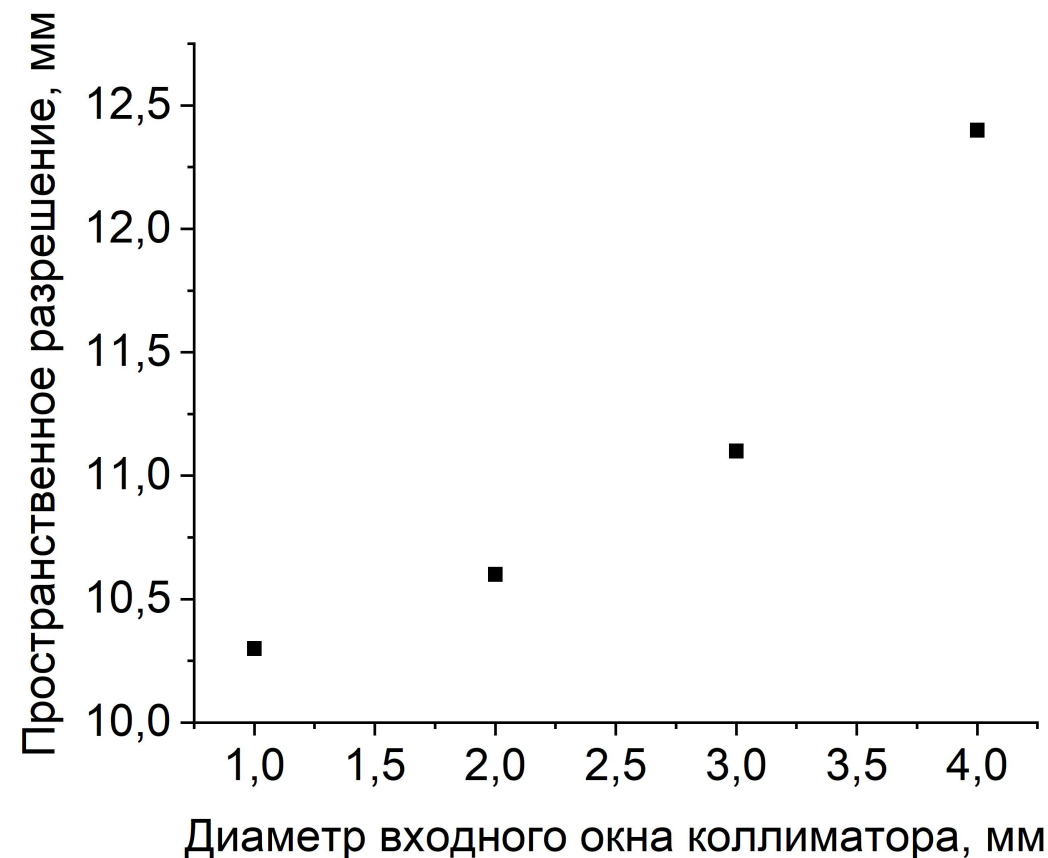
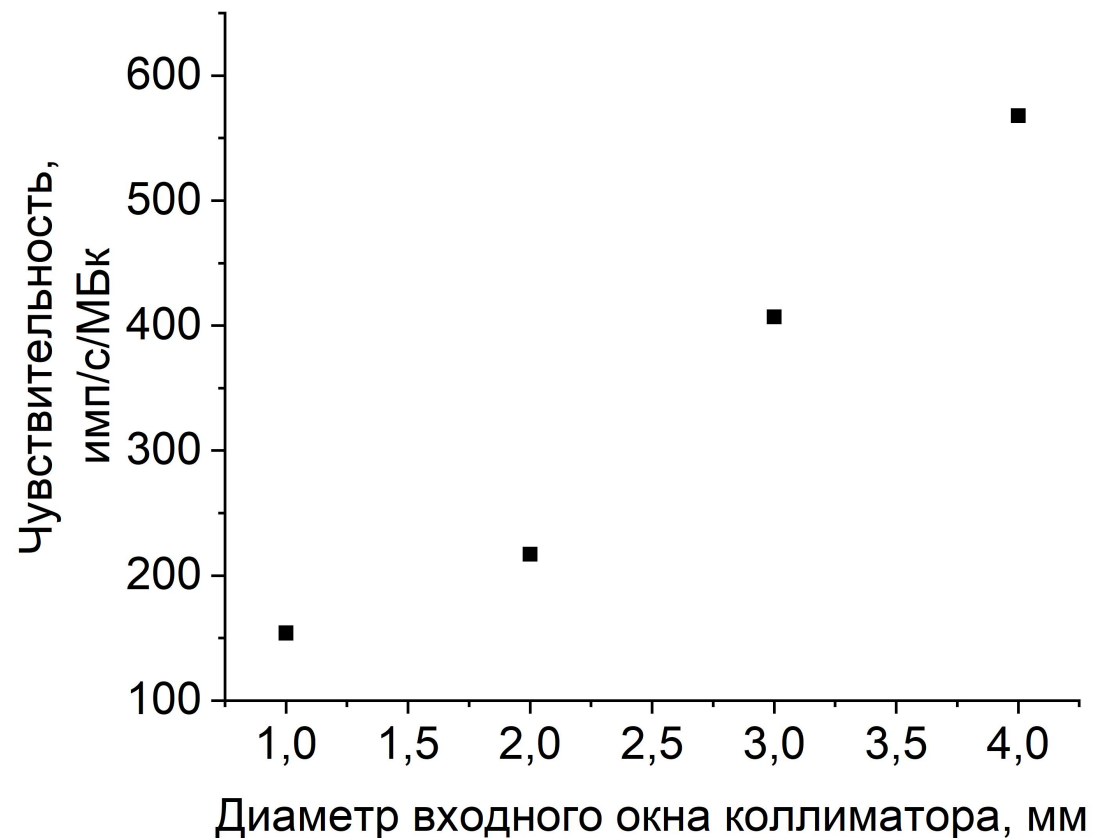
Увеличение чувствительности на ~54% при падении пространственного разрешения на ~10%.

Разная длина носика коллиматора



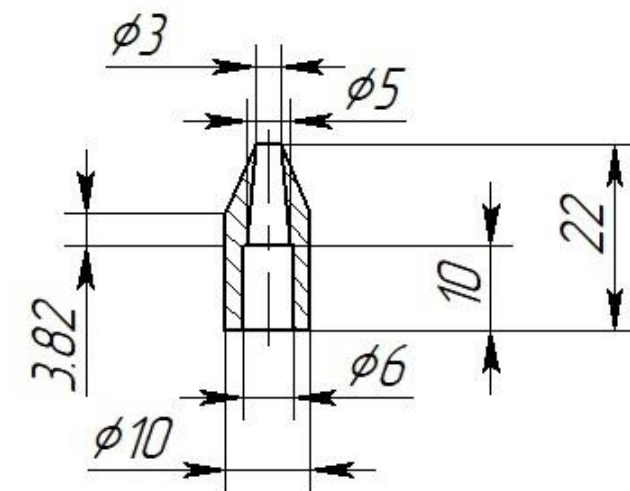
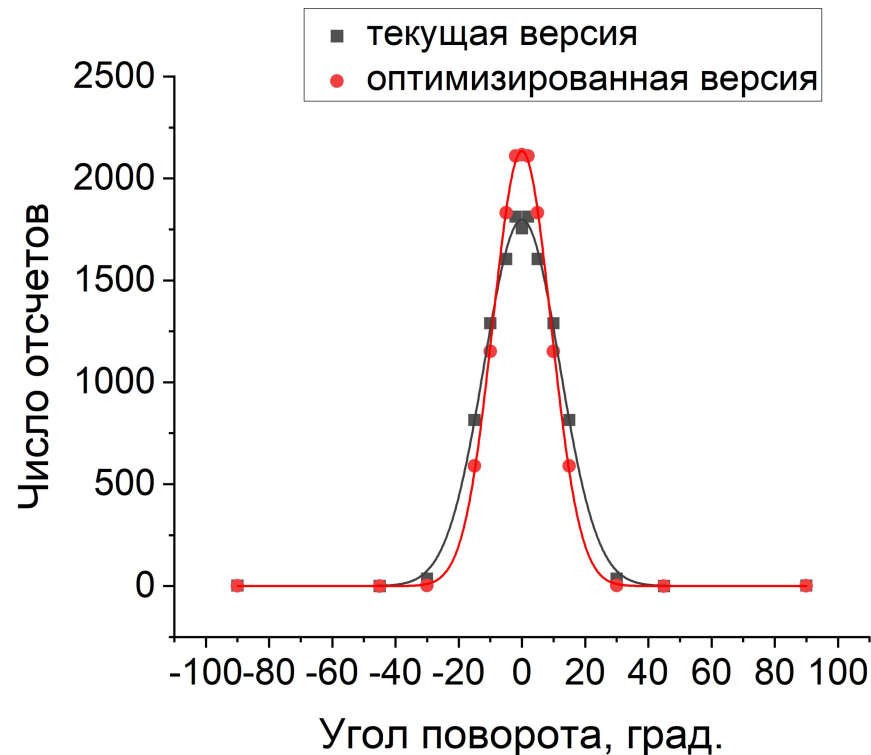
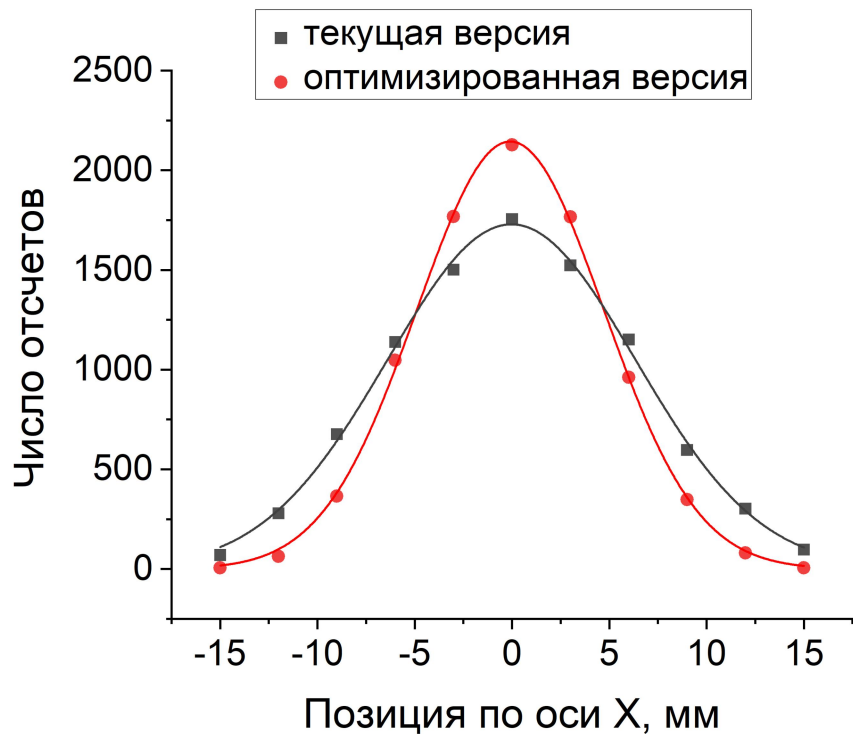
Используем вариант с удлинением 5 мм

Разный диаметр входного окна коллиматора



Используем вариант с диаметром 3 мм

Сравнение текущей и оптимизированной версий коллиматора



Чертеж нового коллиматора
Материал: вольфрам

Коллиматор	Чувствит., имп/с/МБк	Пространств. разрешение, мм	Пространств. селект., град
Действующий	336 ± 8	15.0 ± 0.2	28.0 ± 0.5
Оптимизированный	407 ± 9	11.1 ± 0.1	21.6 ± 0.2

Модификация коллиматора привела к улучшению характеристик детектора.

В ходе дипломной работы проведена модернизация элементов Гамма-локатора с вынесенной детектирующей частью с целью повышения эффективности работы прибора.

Результаты экспериментальной проверки показали, что новый кристалл GAGG:Ce подходит для использования в приборе, и было выбрано оптимальное отражающее покрытие для него – краска на основе титановых белил.

С помощью компьютерного моделирования разработана оптимизированная версия коллиматора, что позволило улучшить основные характеристики детектора:

- чувствительность на 21%;
- пространственное разрешение на 26%;
- пространственную селективность на 23%.



МИФИ

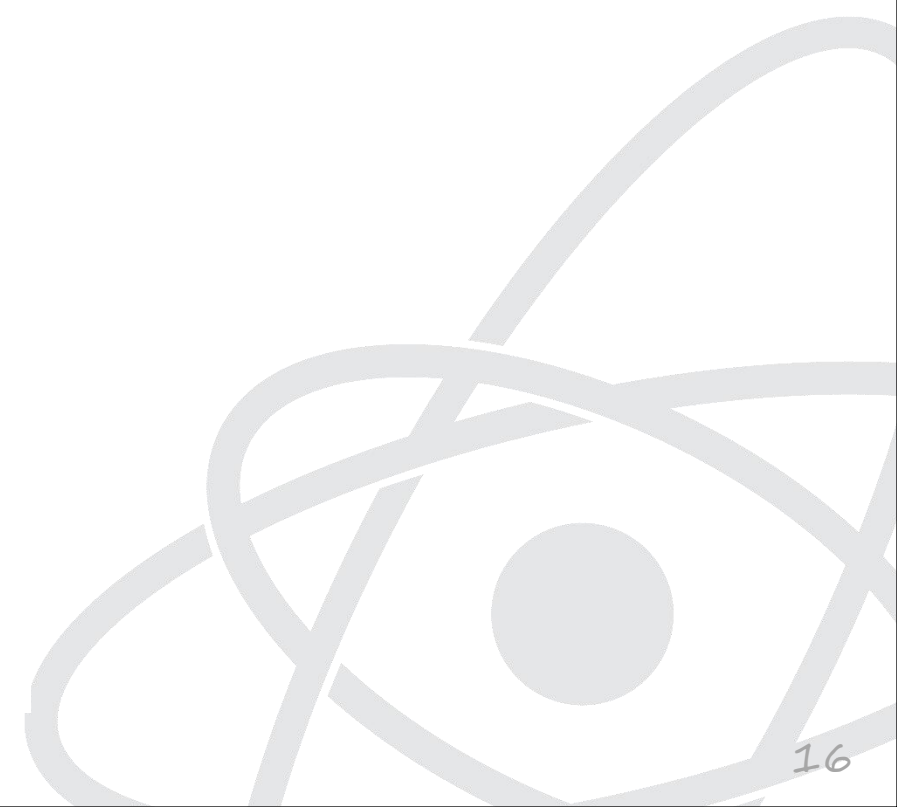
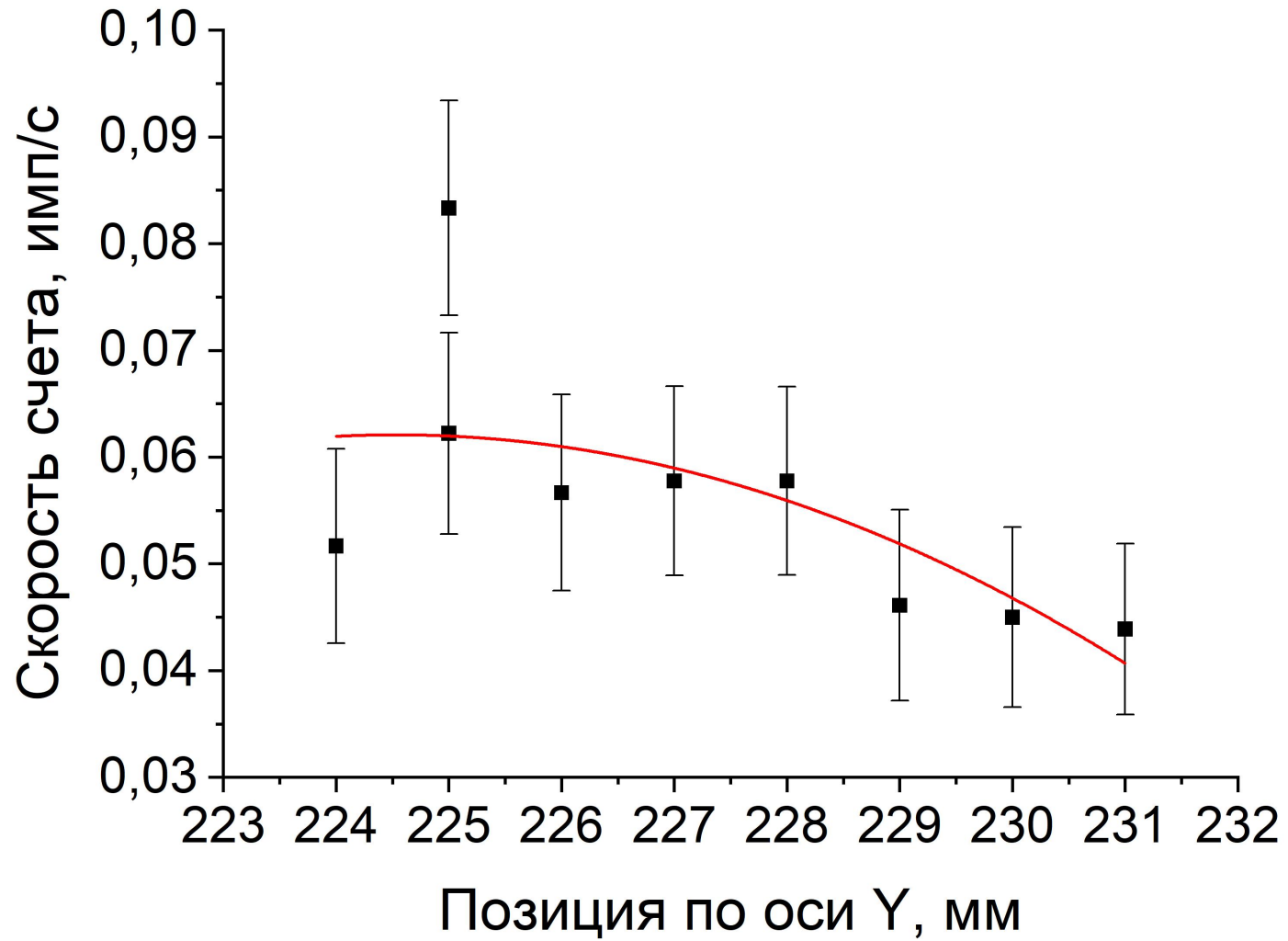
Национальный
исследовательский
ядерный университет

Спасибо за внимание!

Дополнительные слайды



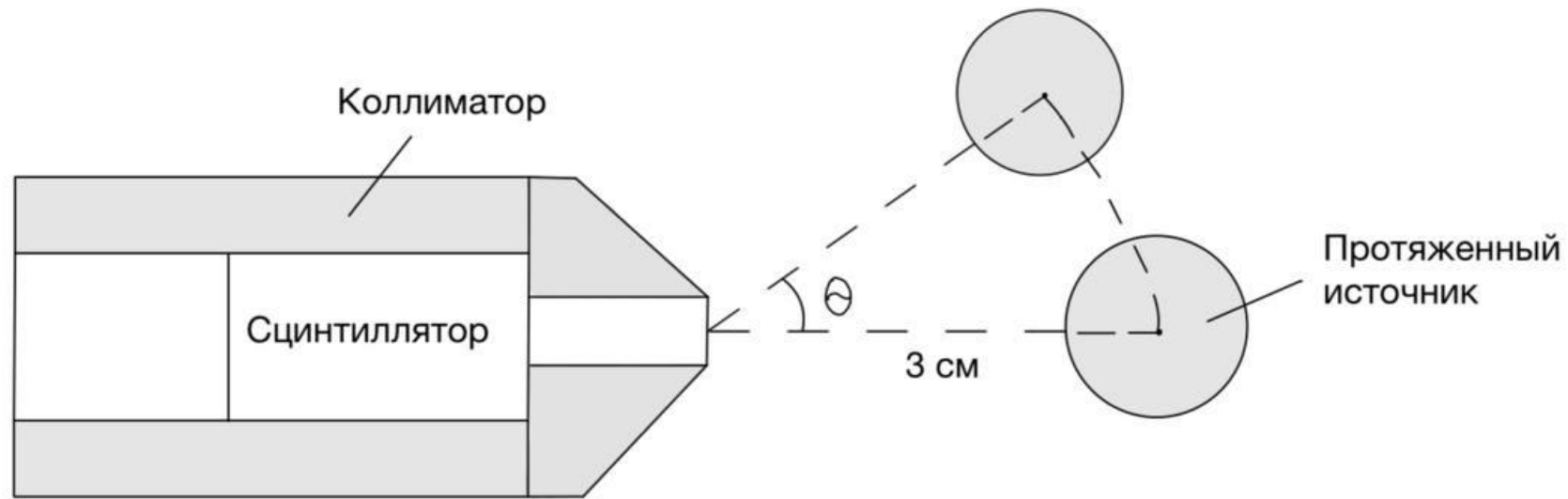
Юстировка вдоль вертикальной оси



Технические характеристики современных гамма-зондов

Производитель и тип		Чувствительность, имп/с/МБк	Пространственная селективность, град	Пространственное разрешение, мм
C-Track Omni-Probe, Care Wise		900	61	28
EuroProbe CsI, Eurorad	Без коллиматора	1700	102	43
	С коллиматором	920	46	22
EuroProbe CdTe, Eurorad	Без коллиматора	340	90	49
	С коллиматором	250	45	22
NeoProbe 2000	Без коллиматора	1600	141	53
	С коллиматором	700	58	28
Navigator 14 mm, Auto Suture		400	70	35
Гамма-локатор	С коллиматором	650	27	20

Схема измерения пространственной селективности



Пространственное разрешение при разной длине сцинтиллятора

