

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение  
высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

«МИФИ»

Институт Ядерной Физики и Технологий

Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

ОТЧЕТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
**Координатное разрешение гамма-локатора с вынесенной  
детектирующей частью**

Студент: \_\_\_\_\_ Д. О. Бондаренко

Научный руководитель: \_\_\_\_\_ Ф. А. Дубинин

Москва, 2023

## Содержание

Введение	3
<b>1 Экспериментальная часть</b>	<b>5</b>
1.1 Описание установки . . . . .	5
1.2 Юстировка в вертикальной плоскости . . . . .	9
1.3 Измерение координатного разрешения . . . . .	10
<b>2 Заключение</b>	<b>12</b>
Список литературы	13

## Введение

В современной радионуклидной диагностике достаточно широко используется медицинский гамма-локатор, позволяющий в режиме реального времени, а именно во время хирургического вмешательства, определить границы злокачественной опухоли для дальнейшего ее удаления.

Гамма-локатор представляет собой портативный прибор для регистрации гамма-излучения. В качестве детектирующей части используется сцинтиллятор, где происходит конвертация гамма-квантов в фотоны, и фотоприемник для регистрации излученных фотонов.

Одним из возможных вариантов модификации гамма-локатора является размещение его детектирующей части посредством гибкого выносного кабеля в коллиматоре, который помещен в лапароскоп. Коллиматор используется для обеспечения защиты от ложных срабатываний, поглощая гамма-излучение, падающее на боковую поверхность гамма-локатора. Преимуществом модернизированного гамма-локатора является возможность более точного определения границ опухоли, залегающей глубоко в тканях.

В начальном варианте гамма-локатора используется кристалл  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ , который является гигроскопичным, вследствие чего его необходимо дополнительно поместить в защитный корпус, но места в коллиматоре для такого размещения будет недостаточно, поэтому необходимо подобрать кристалл, который будет негигроскопичным и при этом не будет сильно уступать по энергетическому и координатному разрешению  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ . Сравнительные характеристики сцинтилляторов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики сцинтилляторов

	$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$	$\text{LYSO}(\text{Ce})$	$\text{GAGG}(\text{Ce})$
Энергетическое разрешение (по линии 662 кэВ), %	2.9	7.9	6
Плотность, г/см <sup>3</sup>	5.08	7.15	6.68
Время высвечивания, нс	16	41	92
Световыход, фотон/кэВ	65	32	38
Длина волны излучения (максимальная), нм	365	420	520
Гигроскопичность	+	-	-
Наличие собственного фона	+	+	-

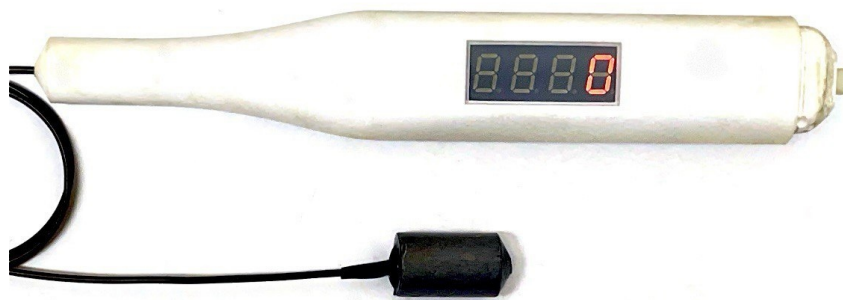


Рис. 1. Внешний вид гамма-локатора с вынесенной детектирующей частью

Целью работы является определение значения координатного разрешения гамма-локатора с вынесенной детектирующей частью, используя в качестве сцинтилляционного кристалла GAGG(Ce)

# 1 Экспериментальная часть

## 1.1 Описание установки

Для определения координатного разрешения была использована установка, схема которой представлена на рис.2.

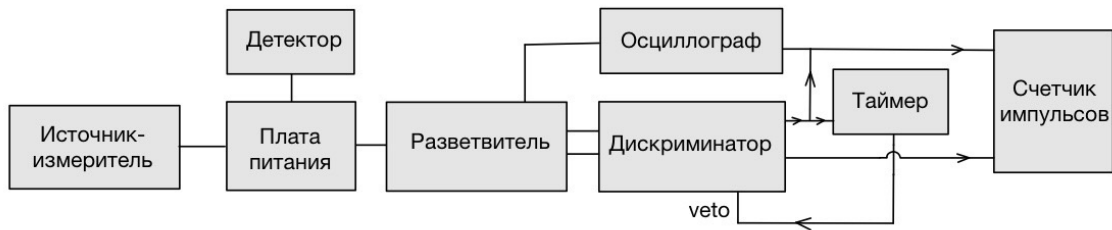


Рис. 2. Схема установки

Установка состояла из сцинтилляционного детектора, питание которого обеспечивалось источником-измерителем и составляло 29 В. По токам утечки, отслеживаемым с помощью источника-измерителя, производился контроль стабильности собственного усиления детектора. Сигналы с детектора поступали на вход линейного разветвителя, с одного из выходов которого сигнал поступал на осциллограф для контроля работы детектора, с двух других – на дискриминатор, на котором были установлены два пороговых значения, нижний порог был выставлен над линией  $^{57}\text{Co}$  122 кэВ и позволял регистрировать как гамма-кванты, испущенные источником  $^{57}\text{Co}$ , так и фоновые события. С помощью верхнего порога, выставленного выше основной линии  $^{57}\text{Co}$ , проводилась дискриминация только шумовых событий, так как в данном эксперименте фоновые события превосходили по энергии полезные. Количество отсчетов полезных событий определялось как разность между двумя значениями на счетчике импульсов. Таймер использовался для формирования сигнала veto, который позволял избегать повторных срабатываний дискриминатора от одного и того же сигнала, которые могли происходить из-за того, что длительность импульса сигнала детектора составляла  $\sim 500$  нс, а длительность дискриминатора – 40 нс. В качестве источника гамма-квантов использовался  $^{57}\text{Co}$ , так как его спектральная линия (122 кэВ) близка к линии  $^{99m}\text{Tc}$  (140 кэВ), который применяется в медицинской диагностике. Активность источника на 2016 год – 124 кБк, расчетная активность на 2023 год составляет  $\sim 200$  Бк.

Сцинтилляционный детектор состоял из кристалла GAGG(Ce) размером  $3 \times 3 \times 5$  мм<sup>3</sup> и кремниевого фотоумножителя MicroFC-30035-SMT, основные параметры которого представлены в таблице 2. Для защиты от света сцинтиллятор был помещен в специально изготовленный с помощью 3D-принтера сквозной цилиндр из черного пластика, для открытых частей ко-

того были изготовлены соответствующий крышки, итоговая сборка была помещена в свинцовый коллиматор. Чертежи деталей приведены на рис. 3, 4.

Таблица 2. Характеристики MicroFC-30035-SMT

Размер пикселя	35×35 мкм <sup>2</sup>
Фоточувствительная площадь	3×3 мм <sup>2</sup>
Число пикселей	4774
Коэффициент заполнения	64%
Напряжение пробоя	24.2-24.7 В
Положение максимума на кривой чувствительности	420 нм
Эффективность регистрации	41%
Коэффициент усиления	3×10 <sup>6</sup>
Время восстановления пикселя	82 нс

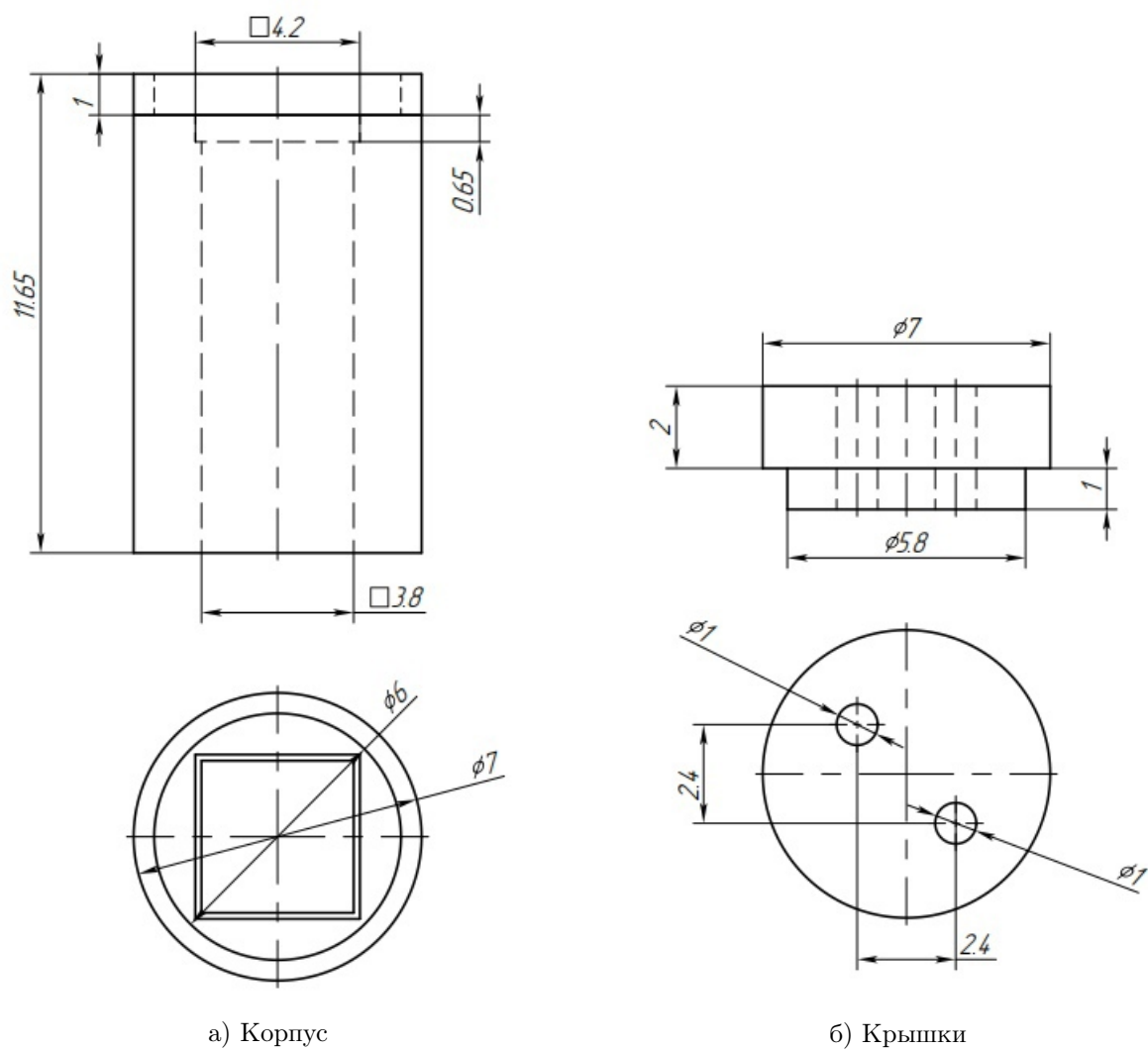


Рис. 3. Защитный корпус для сцинтиллятора

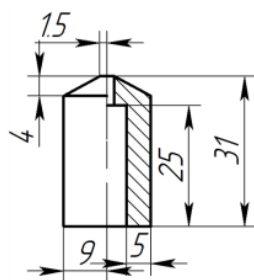


Рис. 4. Чертеж коллиматора

В качестве сцинтилляционного кристалла во втором детекторе использовался  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ , приклеенный оптическим клеем к SiPM MicroFC-30035-SMT.

Так как одной из главных характеристик детектора является его энергетическое разрешение, характеризующее способность различать энергии регистрируемых частиц, то перед тем, как проводить измерения координатного разрешения, были получены спектры  $^{57}\text{Co}$  и определено энергетическое разрешения каждого из детекторов (рис. 5 и 6), используя данные, полученные с осциллографа Tektronix MSO2022B с функцией измерения зарядовых спектров сигналов. Энергетическое разрешение детектора со сцинтиллятором  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  для линии 122 кЭВ составило 14.9%. Аппроксимация проводилась двумя функциями Гаусса, поскольку источник имеет две близкорасположенные линии: 122 кЭВ и 136 кЭВ. Используя сцинтиллятор  $\text{GAGG}(\text{Ce})$ , не удалось разрешить два пика с энергиями 122 кЭВ и 136 кЭВ, энергетическое разрешение для двух слившихся пиков составило 25.2%.

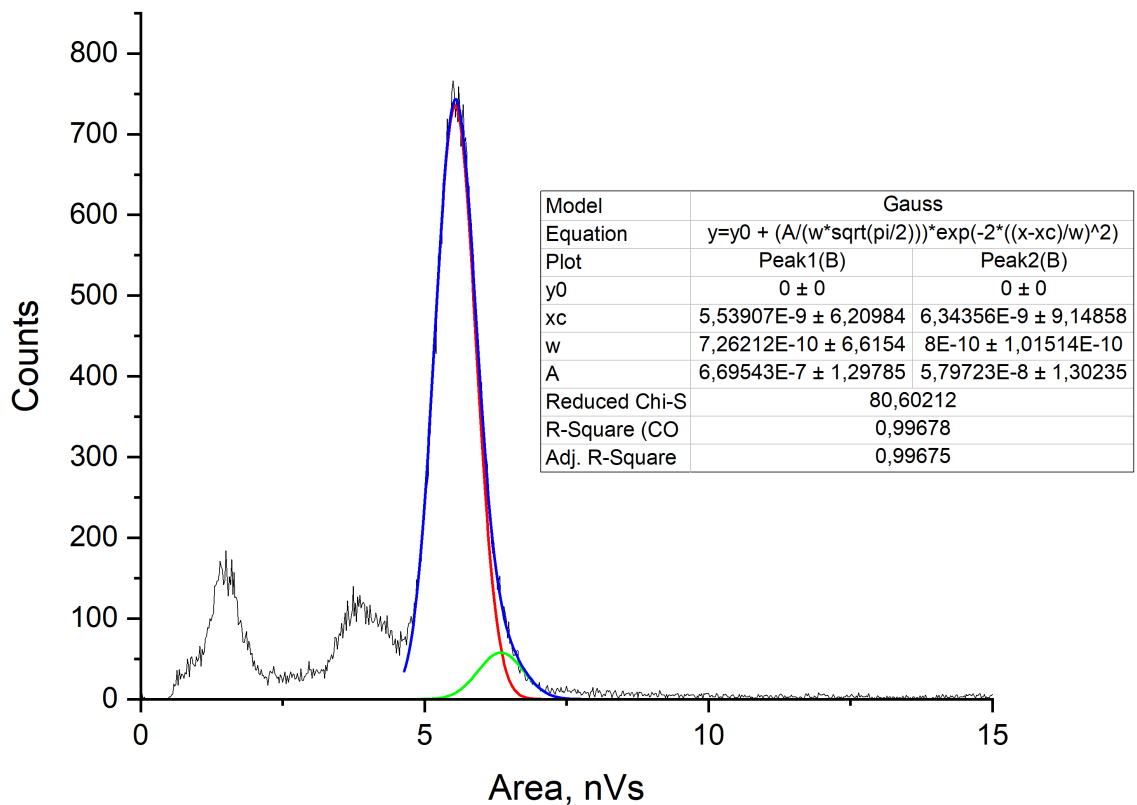


Рис. 5.  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$



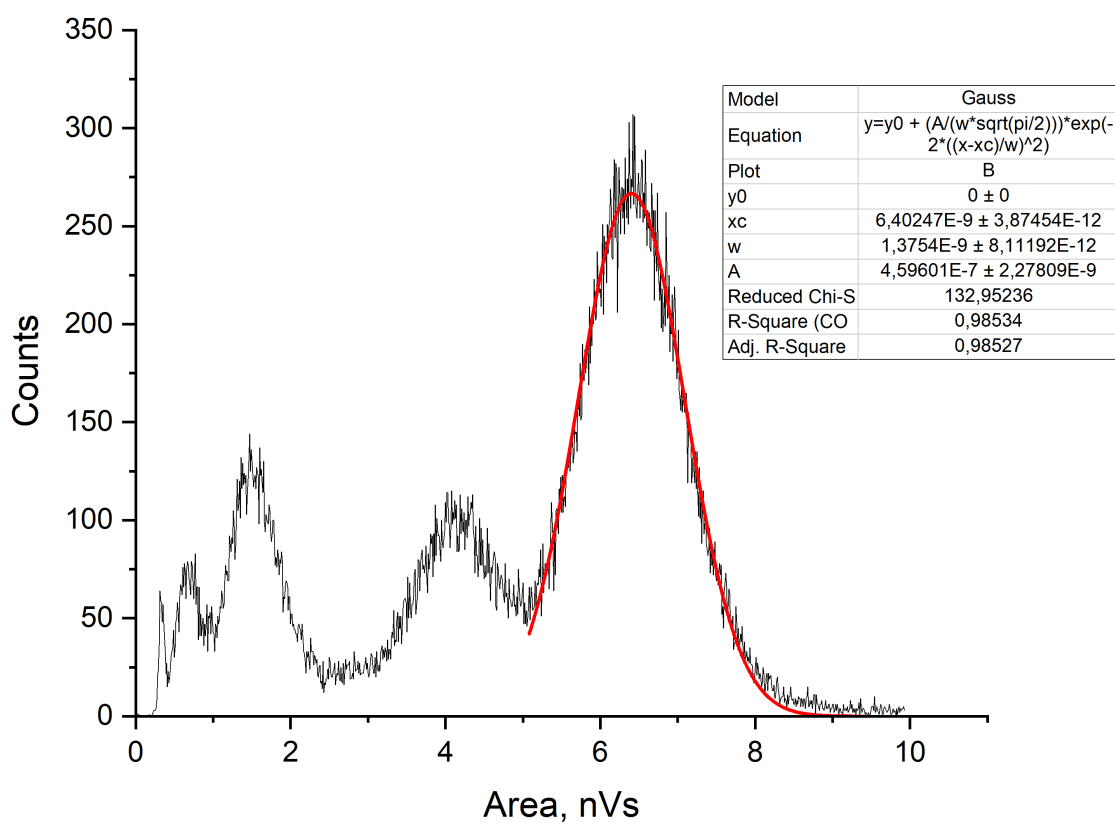


Рис. 6. GAGG(Ce)

## 1.2 Юстировка в вертикальной плоскости

Перед тем, как производить измерения координатного разрешения в горизонтальной плоскости, необходимо было выбрать оптимальное расположение детектора в вертикальной плоскости так, чтобы скорость счета была максимальна, для этого оценивалась скорость счета для нескольких положений детектора по вертикальной оси. По полученным данным построен соответствующий график (рис. 7).

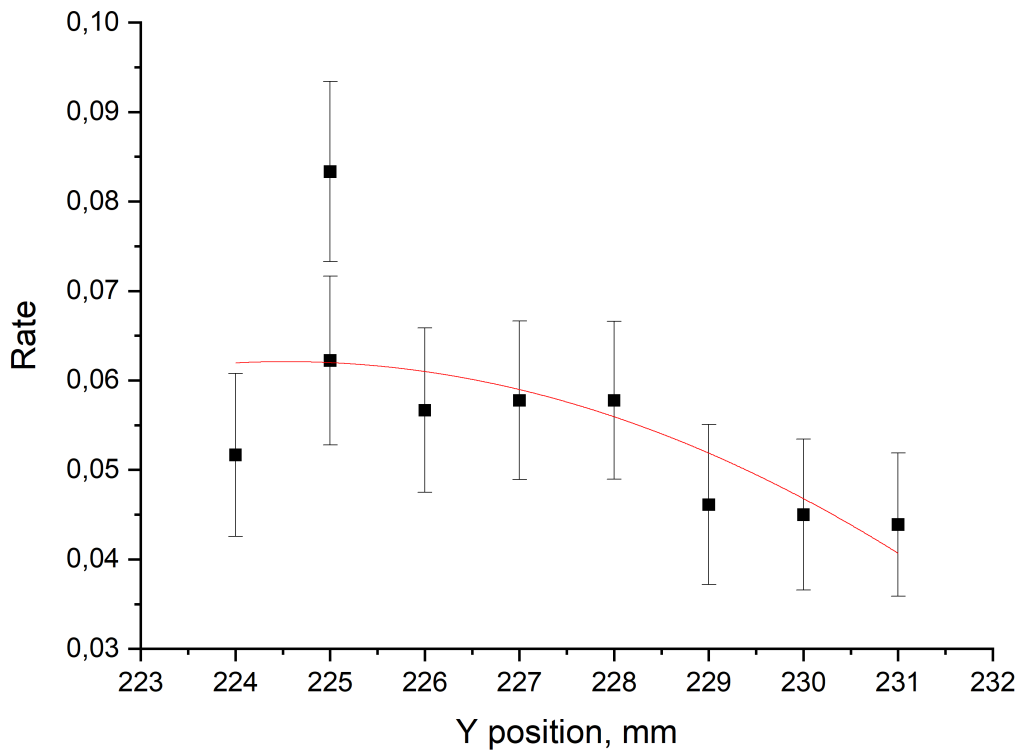


Рис. 7. Юстировка в вертикальной плоскости

### 1.3 Измерение координатного разрешения

Были проведены три серии измерений. В ходе каждой серии определялось число отсчетов полезных событий, при пошаговом смещении детектора в горизонтальной плоскости (вдоль оси X на рис. 8). Время каждого из измерений равнялось 600 с. Так как измерения проводились в разные дни, то вследствие отслеживаемых изменений температуры, пороги дискриминатора каждый день подстраивались для энергии гамма-квантов ниже 122 кЭв и выше 136 кЭв.

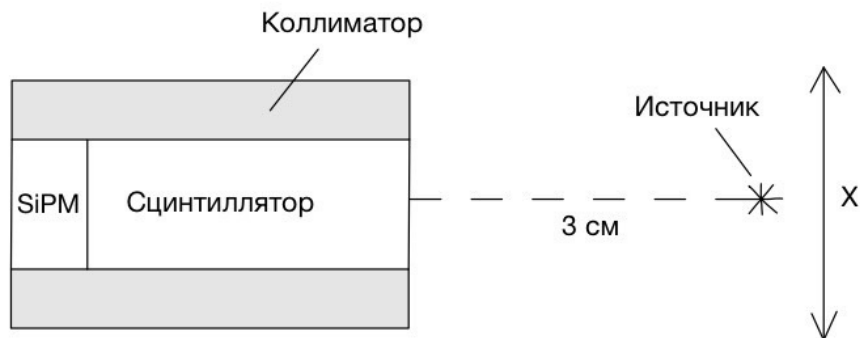


Рис. 8. Схема измерения координатного разрешения

Усредненные графики зависимости скорости счета от относительного смещения детектора по трем измерениям и результаты фитирования функцией Гаусса представлены на рис. 9.

Суммарная ошибка скорости счета по трем измерениям определялась как  $\sqrt{\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3T^2}}$ , где  $N_1, N_2, N_3$  – число полезных событий в каждой из трех серий измерений при одном и том же относительном смещении,  $T$  – время каждого из измерений

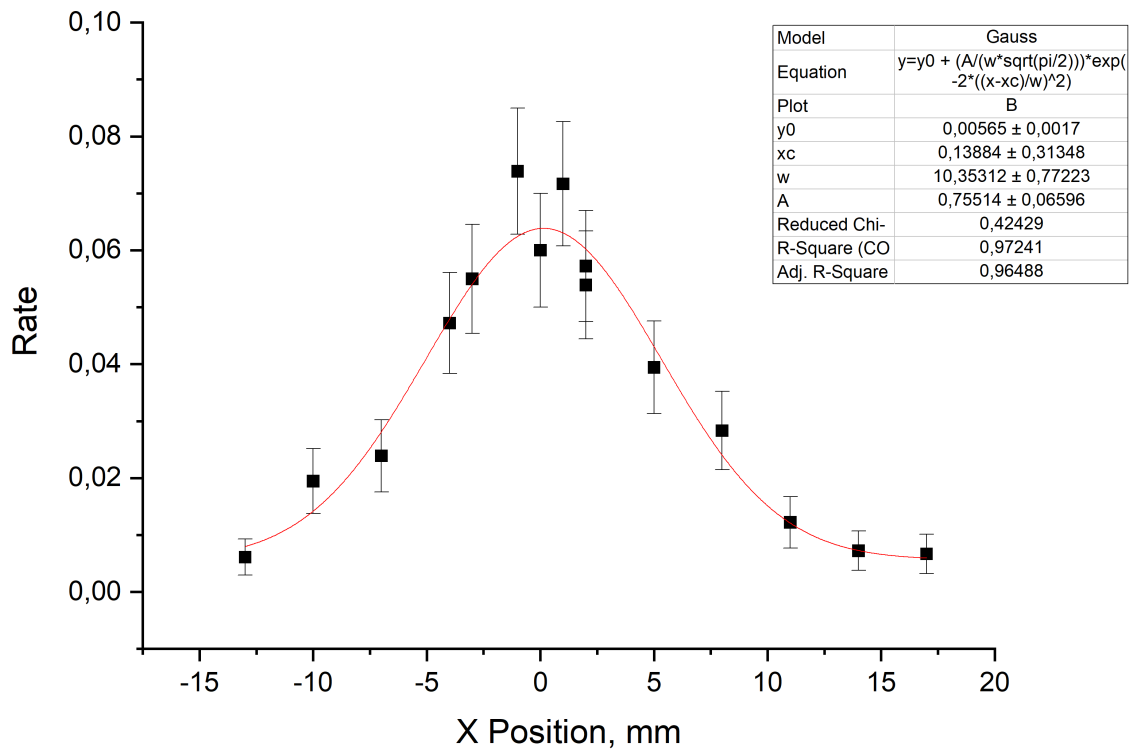


Рис. 9. Координатное разрешение

Полученное координатное разрешение для детектора со сцинтиллятором GAGG(Ce) составило:

$$\Delta = 2.35 \cdot \sigma = 2.35 \cdot W/2 \approx 12.2 \text{ мм};$$

$$\Delta(\Delta) = 2.35 \cdot \Delta(W)/2 \approx 0.9 \text{ мм};$$

$$\Delta = 12.2 \pm 0.9 \text{ мм}.$$

Координатное разрешение, полученное ранее для гамма-локатора со сцинтиллятором LaBr<sub>3</sub>(Ce) без вынесенной детектирующей части равнялось  $15.7 \pm 0.1$  мм. [1]

## 2 Заключение

В ходе работы проведено измерение координатного разрешения гамма-локатора с вынесенной детектирующей частью на основе кремниевого фотоумножителя MicroFC-30035-SMT и сцинтилляционного кристалла GAGG(Ce) размером  $3 \times 3 \times 5$  мм<sup>3</sup>, оно составило  $12.2 \pm 0.9$  мм.

Следующим шагом является проведение измерения координатного разрешения для детектора с кристаллом LaBr<sub>3</sub>(Ce).

## Список литературы

- [1] Бердникова А.К. Сцинтилляционный гамма-зонд для радионуклидной диагностики в ядерной медицине. 2016.