

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.1.05

**ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА
ДЕТЕКТОРА GAGG-SIRM ОТ ДЛИНЫ ПЕРЕДАЮЩЕГО
КАБЕЛЯ»**

Студент _____ А. А. Козлов

Научный руководитель,
старший преподаватель _____ Ф. А. Дубинин

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1 Теоретические сведения	4
1.1 Детектор GAGG-SiPM и его характеристики	4
2 Исследование зависимости характеристик сигнала от длины кабеля	6
2.1 Описание эксперимента	6
2.2 Анализ результатов эксперимента	7
3 Заключение	10

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных инструментов в различных операциях в ядерной медицине является так называемый гамма-локатор. Это устройство позволяет определять пространственное распределение радиоактивного препарата в теле пациента для обнаружения злокачественных образований.

Существуют два основных вида работы с гамма-локатором: сканирование поверхности тела пациента без операционного вмешательства и интраоперационный метод, подразумевающий введение локатора в организм пациента с целью мониторинга распространения метастаз и злокачественных образований в различных областях организма.

Первый метод работы позволяет отследить лишь приповерхностные злокачественные образования в теле пациента, тогда как второй метод работы с гамма-локатором подразумевает введение радиоактивного препарата в тело пациента для более детального изучения лимфатической системы на предмет наличия злокачественных образований. Данный метод работы позволяет врачу эффективно отслеживать распространения метастаз непосредственно во время операционного вмешательства.

Гамма-локатор может быть использован в различных видах диагностики, проводимых с целью обнаружения областей злокачественных новообразований, окруженных СЛУ - сторожевыми лимфатическими узлами[1]. Отдельно стоит выделить лапароскопию - современный метод хирургии, в котором операции на внутренних органах проводятся посредством создания небольших отверстий, что, в сравнении с традиционной хирургией, в которой используются большие разрезы, имеет ряд преимуществ.

Однако же базовое устройство гамма-локатора требует модификации для работы в лапароскопических операциях. Так, для проникновения к наиболее удалённым и труднодоступным областям организма пациента устройство необходимо оснастить длинным гибким передающим кабелем, который будет вводиться непосредственно в организм, обеспечивая тем са-

мым необходимую мобильность.

Целью данной работы является изучение влияния длины передающего кабеля на характеристики сигнала гамма-локатора, оснащённого детектором типа GAGG-SiPM.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить характеристики сигнала для конкретного радиоактивного источника, регистрируемого при помощи детектора с передающими кабелями различной длины.
2. Проанализировать полученные данные, определив возможность использования детектора GAGG-SiPM в лапароскопических операциях.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. ДЕТЕКТОР GAGG-SIPM И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гамма-локатор представляет собой компактное устройство, состоящее из герметичного корпуса, детектора и сцинтиллятора.



Рисунок 1.1 — Гамма-локатор

Детектор гамма-локатора состоит из неорганического твёрдого сцинтиллятора и кремниевого фотоумножителя (SiPM).

В качестве рабочего вещества исследуемого сцинтилляционного детектора гамма-локатора могут быть использованы различные неорганические сцинтилляторы. В частности, возможно применение сцинтилляционного кристалла GAGG:С, обладающего рядом преимуществ в сравнении с иными вариантами твердотельных сцинтилляторов[2].

Таблица 1.1 — Характеристики сцинтилляторов

Характеристики сцинтиллятора	GAGG:Ce	NaI:Tl	CsI:Tl
Плотность, г/см ³	6.63	3.67	4.53
Световыход, ф/МэВ	46000	40000	50000
Длина волны излучения, нм	530	415	540
Время высвечивания, нс	95(79%), 351(21%)	230	680
Гигроскопичность	-	+	+

Среди рассмотренных кристаллов сцинтиллятор GAGG:Ce имеет самое короткое время высвечивания, следовательно, сцинтиллятор GAGG:Ce будет полезен для обнаружения заряженных частиц с высокой скоростью счёта. Также GAGG:Ce негигроскопичен и может быть использован без упаковки. В случае рассмотрения гамма-излучения важно отметить, что световыходы сцинтилляторов GAGG:Ce и CsI:Tl, а также их энергетическое разрешение сопоставимы. Однако при более коротких временах высвечивания энергетическое разрешение сцинтиллятора GAGG:Ce лучше, чем у кристалла CsI:Tl, поскольку GAGG:Ce имеет значительно меньшее время высвечивания.

Выбор SiPM в качестве фотоприемника гамма-локатора обусловлен его высокой эффективностью регистрации излучения, небольшим напряжением смещения, компактными размерами и высоким коэффициентом усиления[3].

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА ОТ ДЛИНЫ КАБЕЛЯ

2.1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе эксперимента проводилось изучение спектров радиоактивного источника Cs-137 при помощи детектора GAGG-SiPM.

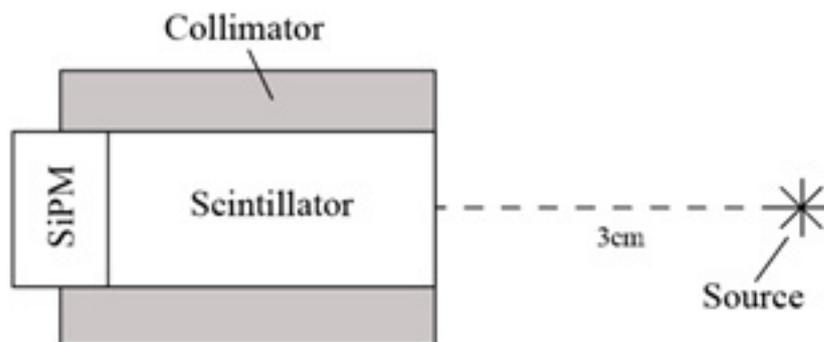
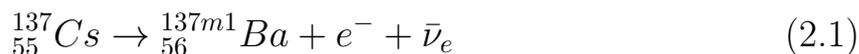


Рисунок 2.1 — Схема установки

Цезий-137 претерпевает бета-распад, в результате которого образуется изомер $^{137m1}\text{Ba}$, превращающийся, в свою очередь, в стабильный изотоп ^{137}Ba , в ходе чего и происходит испускание гамма-кванта с энергией 662 КэВ:



Гамма-квант, проходя через твердотельный сцинтиллятор, может либо рассеяться на одном из электронов (эффект Комптона)[4], либо спровоцировать фотоэффект в одном из атомов сцинтиллятора, порождая фотоэлектроны, которые в дальнейшем вызовут вторичную ионизацию валент-

ных электронов в других атомах. Вторично ионизированные электроны переместятся в запрещённые области элемента-активатора в сцинтилляторе, порождая тем самым фотоны, регистрация которых произойдёт при помощи SiPM.

Данному гамма-кванту, излучаемому Cs-137, соответствует энергия 662 КэВ[5].

2.2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В рамках исследования зависимости характеристик сигнала от длины передающего кабеля были получены амплитудные и зарядовые спектры для Cs-137 при помощи детектора GAGG-SiPM для различных длин кабеля.

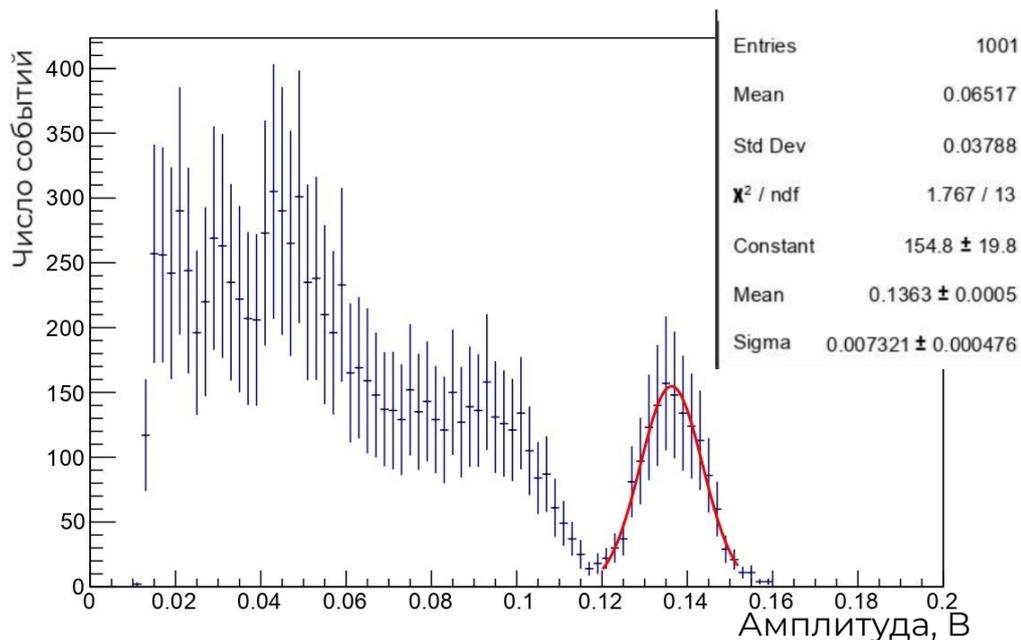


Рисунок 2.2 — Амплитудный спектр Cs-137 для кабеля длиной 0.8м

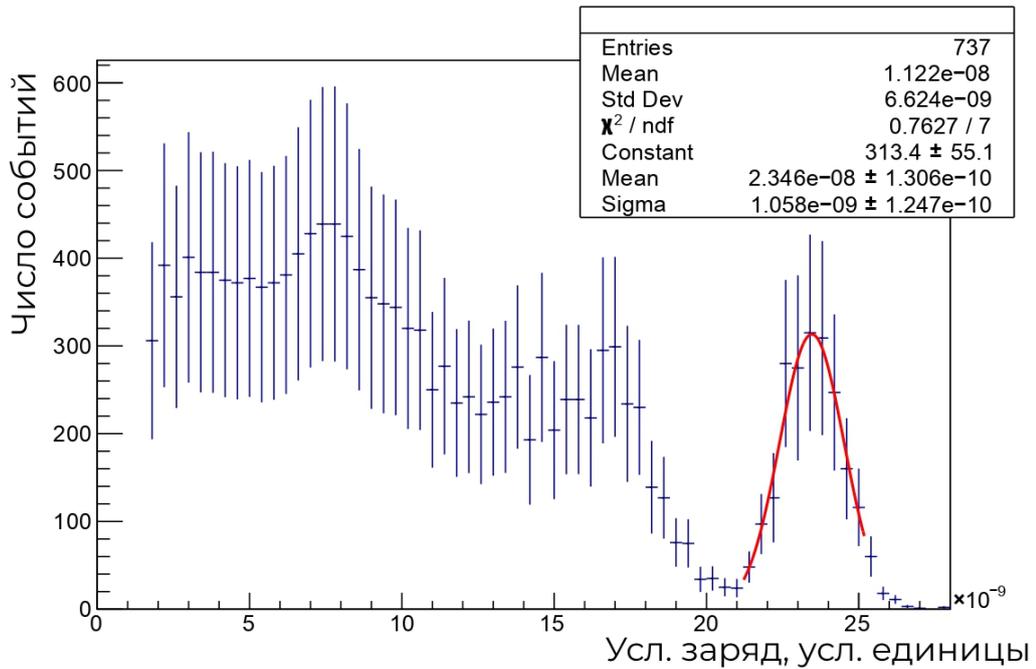


Рисунок 2.3 — Зарядовый спектр Cs-137 для кабеля длиной 0.8м

Затем при помощи пакета «Root» после фитирования данных были получены средние значения для условного заряда и амплитуды, а также их погрешности в фотопике для различных длин кабелей. Наибольший интерес представляет собой график зависимости относительных амплитуды и заряда от длины кабеля.

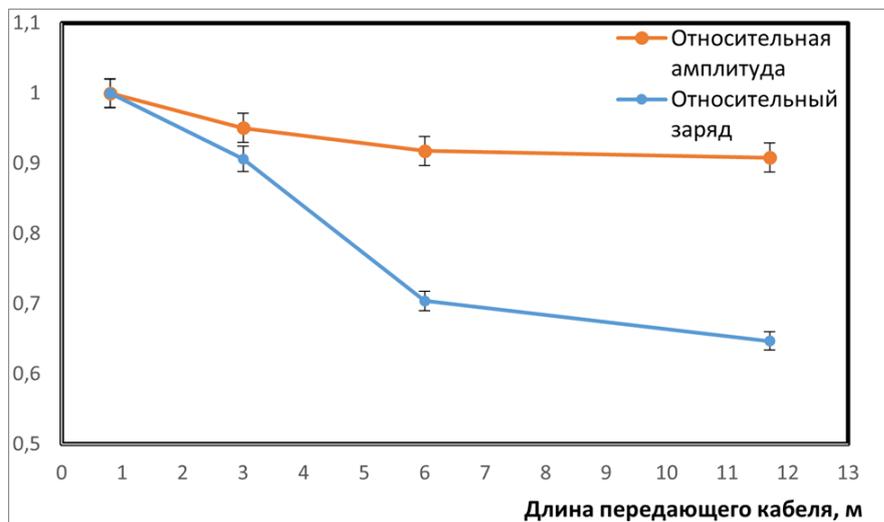


Рисунок 2.4 — График зависимости относительных амплитуды и заряда от длины кабеля

Из графика видно, что изменение среднего значения амплитуды принимаемого сигнала с увеличением длины кабеля незначительно: оно не

превышает 10% от изначального значения, тогда как для условного заряда наблюдается значительное уменьшение среднего значения. Последнее обстоятельство может являться следствием уменьшения заднего фронта поступающего сигнала.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проводилось исследование зависимости характеристик сигнала от длины передающего кабеля для детектора GAGG-SiPM.

В результате выполнения поставленных задач были произведены измерения амплитуды и условного заряда сигнала для различных длин передающего кабеля. Полученная экспериментальная зависимость относительной амплитуды и относительного заряда от длины передающего кабеля показала незначительное падение среднего значения амплитуды при увеличении длины кабеля, следовательно, детектор GAGG-SiPM может быть эффективно использован для проведения диагностики пациентов во время лапароскопических операций.

Дальнейшее развитие работы будет включать в себя изучение поведения переднего и заднего фронта сигнала при изменении длины передающего кабеля, что позволит объяснить наблюдаемые экспериментальные зависимости для амплитуды и условного заряда сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В.Н. Беляев, А.К. Бердникова, А.И. Болоздыня, В.В. Третьякова, И.И. Пашкович, Д.Е. Филиппов, А.А. Ародзеро Экспериментальное определение местоположения «сторожевых» лимфатических узлов // Научная сессия МИФИ - 2015. Сборник научных трудов. - 2015. - Т.2, 48
- [2] T. Furuno, A. Koshikawa, T. Kawabata, M. Itoh, S. Kurosawa, T. Morimoto, M. Murata, K. Sakanashi, M. Tsumura, A. Yamaji. Response of the GAGG(Ce) scintillator to charged particles compared with the CsI(Tl) scintillator. 13 October 2021.
- [3] Ягнюкова А.К., Болоздыня А.И., Канцеров В.А., Сосновцев В.В. ГАММА-ЛОКАТОР ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ. Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии, ИСМАРТ-2014
- [4] Н.Н. Чернов, А.В. Дьяков. ИССЛЕДОВАНИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ТОЧЕЧНОЙ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОПЕРАЦИОННОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА. Известия ЮФУ, 2009.
- [5] N. Boyko, F. Dubinin, V. Kantserov, K. Vorobev, GAGG as a perspective scintillator for an intraoperative gamma probe and its extensions, I International Scientific Conference «Innovative Technologies of Nuclear Medicine and Radiation Diagnostics and Therapy», 2022