

Школа ИЯШТ
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Коррекция вклада источника позитронов на основе изотопа Ti^{44} в спектрах времени жизни позитронов

УДК 539.184:539.124.6:539.163:546.82

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Уразова Кристина Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Р.С.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Бордулев Ю.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Лидер А.М.			

Томск – 2019 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
Р5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)

	использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	
Р7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
Р8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
Р9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИЯШТ

Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Уразова Кристина Дмитриевна

Тема работы:

Коррекция вклада источника позитронов на основе Ti^{44} в спектрах времени жизни позитронов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>- Образцы следующих материалов: Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Pb. Образцы имеют форму прямоугольников средним размером 2 см и разные толщины.</p> <p>- Источник позитронов на основе Ti^{44}, который представляет собой радиоактивную соль $TiCl_4$ запакованную в титановую фольгу.</p>
---	--

	- Спектрометр времени жизни позитронов.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Проведение литературного обзора; – Подготовка экспериментальных образцов – Настройка аналогового спектрометра – Измерение времени жизни позитронов – Обработка спектров и анализ полученных данных; – Аппроксимация данных математической моделью – Обсуждение результатов; – Заключение;
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунок – 1. Методика измерения времени жизни позитрона</p> <p>Рисунок – 2. Схема аналогового спектрометра времени жизни позитронов</p> <p>Рисунок – 3. Энергетические спектры с детекторов 1 “Старт”, 2 “Стоп”</p> <p>Рисунок – 4. Спектр времени жизни позитронов в полиметилметакрилате [59]. N – число событий (отсчетов)</p> <p>Рисунок – 5. Содержимое текстовых файлов – экспериментальные значения</p> <p>Рисунок – 6. Аппроксимация экспериментальных данных в программе Lt</p> <p>Рисунок – 7. Настройка порогов обработки спектров в программе Lt</p> <p>Рисунок – 9. “сэндвич геометрия”</p> <p>Рисунок – 10. Геометрия проведения исследования.</p> <p>Рисунок – 11. Спектр времени жизни позитронов для Fe</p> <p>Рисунок – 12. Иллюстрация определения значения “Start”</p> <p>Рисунок – 13. Иллюстрация определения значения порога “Stop”</p>

	<p>Рисунок – 14. принцип определения разрешения спектрометра для Al</p> <p>Рисунок – 15. График зависимости порядкового номера элемента от вклада источника позитронов от температурных условий эксперимента.</p> <p>Рисунок – 5.1 – рисунок – 5.3. – схематическое представление рабочих помещений.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Роман Сергеевич	к.т.н.		
Ассистент	Бордулев Ю.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Уразова Кристина Дмитриевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Уразова Кристина Дмитриевна

Школа	ИЯШТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Принять по действующим ценам
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Социальный налог – 30% НДС – 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Выполнить
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Выполнить
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Выполнить

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Уразова Кристина Дмитриевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
0Б51		Уразова Кристина Дмитриевна	
Школа	ИЯШТ	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

Тема ВКР:

Коррекция вклада источника позитронов на основе Ti^{44} в спектрах времени жизни позитронов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объектом исследования является источник позитронов, который представляет собой радиоактивную соль $TiCl_4$, упакованную в титановую фольгу. В данной работе определяемыми характеристиками являются: время жизни позитронов, интенсивность аннигиляции и доля позитронов, аннигилирующих в источнике, в зависимости от атомного номера исследуемого материала. Для данного исследования использовался аналоговый спектрометр времени жизни позитронов, расположенный в лаборатории 3 корпуса ТПУ. Полученные параметры способствуют более корректной и быстрой обработке спектров времени жизни позитронов.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) - инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; - инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. Документы по воздействию ПЭВМ: - инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ; - ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. - ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. - ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность ; – термическая опасность;

2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ вредных факторов производственной среды; – Воздействие электрического тока на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Микроклимат; – Ионизирующее излучение.
3. Экологическая безопасность:	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Радиоактивное загрязнение
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>4. Возможные чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Разрыв защитной капсулы радиоактивного источника (радиоактивное загрязнение и воздействие ионизирующего излучения); – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установки электрическим током; – Наиболее типичная ЧС: – Возникновение возгорания.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Скачкова Л. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Урзова Кристина Дмитриевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Уровень образования бакалавриат
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики
 Период выполнения Весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2019	Аналитический обзор литературы и настройка аналогового спектрометра	15
15.02.2019	Отработка методики обработки спектров	20
20.02.2019	Подготовка экспериментальных образцов	15
01.04.2019	Сбор и обработка спектров времени жизни позитронов	15
11.04.2019	Аппроксимация полученных данных и анализ результатов	10
13.04.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
01.05.2019	Социальная ответственность	10
17.05.2019	Оформление ВКР	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Р.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения экспериментальной физики	Лидер А.М.	д.т.н.		

Реферат

Настоящая выпускная квалификационная работа содержит 18 рисунков и 17 таблиц.

Ключевые слова: электрон-позитронная аннигиляция, вклад источника, время жизни позитронов, электронная структура, источник позитронов, порядковый номер.

Объектом исследования является источник позитронов на основе радиоизотопа Ti^{44} . Источник представляет собой титановую соль $TiCl_4$ упакованную в титановую фольгу. По форме источник круглый с радиусом 1,2 см. Мощность излучения составляет 2,5 Мбк, максимальная энергия позитронов, излучаемых источником составляет 1,47 МэВ.

Цель работы – определить зависимость вклада источника позитронов Ti^{44} от атомного номера образца.

Для данного исследования был использован метод электрон-позитронной аннигиляции – спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП). Для набора спектров применялся аналоговый спектрометр, имеющийся в распоряжении лаборатории [отделения] экспериментальной физики ТПУ. Экспериментальные образцы для достижения бездефектной структуры претерпевали отжиг в вакуумной печи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller.

Результатом исследования является зависимость параметров аннигиляции позитронов в материале источника позитронов Ti^{44} от порядкового номера исследуемого материала. Полученная зависимость в настоящее время позволяет проводить исследования дефектной структуры материалов со сложным химическим составом методом СВЖП быстрее и корректнее чем ранее, без исследования бездефектных образцов соответствующего материала.

Полученная в данной работе зависимость была применена для исследования дефектной структуры образцов керамической бумаги сложного состава методом спектрометрии времени жизни позитронов.

Определения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины и определения:

Аналого-цифровой преобразователь: устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код – цифровой сигнал.

Позитроний – связанная квантовая механическая система, состоящая из электрона и позитрона.

Спектрометрия времени жизни позитронов – один из неразрушающих методов исследования электронной структуры материалов основывающийся на принципах электрон-позитронной аннигиляции и измерения позитронной аннигиляции.

Дискриминатор постоянной составляющей – устройство, применяемое в спектрометре времени жизни позитронов для регистрации и временной привязке к сигналам, соответствующим процессам рождения и аннигиляции позитронов.

Спектр – распределение физической величины, которой в данной работе является время жизни позитронов.

Термизированный позитрон – позитрон с энергией равной тепловой энергии колебаний в твердом теле в которое позитрон проникает.

Блок наносекундной задержки – устройство, предназначенное для задержки электрических сигналов на заданный промежуток времени.

В данной работе были использованы сокращения:

ЭПА – электрон-позитронная аннигиляция;

СВЖП – спектрометрия времени жизни позитронов;

ДУАЛ – спектрометрия доплеровского уширения аннигиляционной линии;

ФЭУ – фотоэлектронный умножитель;

ДПС – дискриминатор постоянной составляющей;

БНЗ – блок наносекундной задержки;

ВАП – время – амплитудный преобразователь;

МКА – многоканальный анализатор импульсов;

ВИП – высоковольтный источник питания;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Оглавление

Введение.....	17
Глава 1. Физические основы методов позитронной аннигиляции	20
1.1 Позитрон и его применение	20
1.2.1 Обратное рассеивание	21
1.2.2 Термализация.....	21
1.2.3 Диффузия	23
1.3 Делокализованное состояние позитрона.	26
1.4 Локализованное состояние позитрона.	27
1.5 Зависимость параметров аннигиляции позитронов от его состояния.....	28
1.5.1 Вакансии.....	28
1.5.2 Дислокации	29
1.5.3 Поверхности	30
1.6. Источники позитронов	31
1.7. Методы электрон-позитронной аннигиляции.....	34
1.7.1 Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП).....	34
Глава 2. Материалы и методы.....	36
2.1 Реализация метода СВЖП`	36
2.2 Программное обеспечение LT.	38
2.3. Анализ спектров времени жизни позитронов	41
2.4 Материалы	43
2.5. Методика проведения измерений.....	45
Глава 3. Результаты эксперимента	46
3.1. Результаты и обсуждение.....	46

3.2. Исследование аннигиляции позитронов в образцах керамической бумаги Al ₂ O ₃ и Ti ₃ SiC ₂ .	54
Вывод.....	57
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	58
1. Организация и планирование работ	58
1.1. Продолжительность этапов работ	60
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	66
2.2. Расчет заработной платы	67
2.3. Расчет затрат на социальный налог	68
2.4. Расчет затрат на электроэнергию	69
2.5. Расчет амортизационных расходов	71
2.6. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	72
2.7. Расчет прочих расходов	72
2.8. Расчет общей себестоимости разработки	73
3. Оценка экономической эффективности проекта	73
Глава 5. Социальная ответственность.....	74
Введение.....	74
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	75
1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	76
2. Производственная безопасность.....	77

2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	79
2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.	80
3. Экологическая безопасность.....	85
3.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.	85
3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	85
3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	85
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	86
4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.	86
4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	86
Вывод.....	88
Список используемой литературы	90

Введение

Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП) в настоящее время широко используется для анализа дефектной структуры материалов. Данный метод является одним из трех методов изучения дефектной структуры материалов с помощью позитронов [1]. Источниками позитронов зачастую служат различные радиоизотопы. Самым распространенным и хорошо изученным является изотоп Na^{22} . Основная часть источников позитронов на основе данного изотопа изготавливается и поставляется одним поставщиком Itemba lab из Южной Африки [2]. Таким образом, приобретение и транспортировка данного изотопа в РФ зачастую сопровождается рядом определенных трудностей. Аналогом, является источник позитронов на основе изотопа Ti^{44} , производимый на территории на базе АО «Изотоп». Данный изотоп обладает рядом особенностей. Во-первых, период полураспада Ti^{44} составляет 47 лет. Это позволяет проводить долгосрочные исследования с использованием одного и того же источника. Во-вторых, он же является источником с мощной энергией позитронов 1,467 МэВ. Высокая энергия дает возможность проникать позитронам в глубь образца и проводить исследования структуры материалов в объёме. Помимо, этого такая энергия позволяет использовать толстые образцы, в отличии от других методов, таких как просвечивающая электронная микроскопия [3]. В-третьих, данный источник более прост и безопасен в эксплуатации, в отличие от традиционного источника, так как является закрытым источником, а его защитная капсула, выполненная из титана, обеспечивает механическую прочность.

Однако, несмотря на все преимущества, источник на основе изотопа Ti^{44} мало изученным. Для использования такого источника в методе спектрометрии времени жизни позитронов (СВЖП), необходимо определить основные характеристики аннигиляции позитронов в данном источнике. Другими словами, для корректного исследования структуры материалов методом СВЖП необходимо отделить процессы, происходящие в источнике от процессов,

протекающих в исследуемом материале. Также следует понять, как они влияют друг на друга. Такая процедура называется – коррекция вклада источника позитронов в спектрах времени жизни позитронов. Определяемыми параметрами служат: время жизни позитрона в областях, принадлежащих источнику, время жизни позитрона в исследуемом материале, а также нахождение зависимости доли позитронов, аннигилирующих в источнике (вклад источника) от атомного номера исследуемого материала.

Результаты данной работы помогут проводить обработку спектров времени жизни позитронов быстрее и корректнее. В случае успеха данной работы, для дальнейших исследований методом СВЖП не будет требоваться наличие бездефектного образца того же состава, что и исследуемый, так как найденная зависимость вклада источника от порядкового номера элемента позволит определить вклад источника для любого сплава, с известным массовым соотношением входящих элементов. Полученные параметры также смогут служить как критерии исправности работы спектрометра или же программного обеспечения.

Целью работы является коррекция вклада источника позитронов Ti^{44} в спектрах времени жизни позитронов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Подготовка экспериментальных образцов:
 - 1.1. Механическая полировка для устранения поверхностных загрязнений;
 - 1.2. Контроль минимальной допустимой толщины;
 - 1.3. Отжиг для обеспечения бездефектной структуры;
 - 1.4. Получение спектров времен жизни позитронов;
2. Обработка и анализ спектров;
3. Получение зависимости вклада источника от атомного номера исследуемых образцов;
4. Аппроксимация экспериментальных данных математической моделью

Результаты работы были представлены на XIV Международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук».

Глава 1. Физические основы методов позитронной аннигиляции

1.1 Позитрон и его применение

В 1928 году Поль Дирак выдвинул предположение о существовании позитрона. Экспериментально наблюдать частицу удалось только в 1932 году. Великое открытие сделал американский физик Карл Дейвид Андерсон, который изучал космическое излучение, он сфотографировал следы частицы с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле. Следы имели характерный изгиб под действием магнитного поля. Изгиб свидетельствовал о положительном электрическом заряде обнаруженных частиц. Чуть позже стало ясно о происхождении открытой частицы – под воздействием космического излучения позитроны рождались в парах с электронами. Такое свойство частицы также было предсказано теорией Дирка [4].

На сегодняшний день о позитроне известны следующие данные: он имеет положительный электрический заряд, является частицей с полуцелым спином $\frac{1}{2}$, его равна массе электрона, внутренняя четность равна -1, частица участвует в гравитационных, слабых и электромагнитных взаимодействиях. Помимо этого, известно, что время жизни позитрона в вакууме бесконечно длительно. Античастицей позитрона является электрон при их столкновении происходит аннигиляция, в результате которой рождаются гамма кванты.

В настоящее время позитроны нашли широкое применение в области исследования материалов. Так наряду с использованием дифракции электронов применяется дифракция позитронов, которая характеризуется результатами наиболее близкими к теории и имеет ряд преимуществ [5]. Помимо методов, в которых позитроны являются альтернативой электронам существуют методы, основанные на взаимодействии двух частиц. К ним относятся методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА), которые считаются одними из мощнейших методов неразрушающего контроля структуры материалов. Основными методами ЭПА являются: спектрометрия по времени жизни позитронов (СВЖП), угловое распределение

аннигиляционных фотонов (УРАФ), доплеровское уширение аннигиляционной линии (ДУАЛ). Такие методики имеют место быть в силу того, что позитрон в каждом состоянии имеет свои характеристики такие как скорость и интенсивность аннигиляции, от состояний позитрона также зависят характеристики аннигиляционных гамма-квантов – энергии и углы разлета.

1.2 Поведение позитронов в твердом теле

Позитрон, приближающийся к твердой поверхности, может рассеиваться назад или проникать в образец. В последнем случае позитрон быстро теряет свою высокую кинетическую энергию – термализуется. Термализованный позитрон диффундирует через образец до тех пор, пока не встретит электрон и аннигилирует. Во время диффузии позитрон может локализоваться в ловушках – дефектах решетки, и затем проаннигилировать там. Поговорим подробнее о каждом этапе.

1.2.1 Обратное рассеивание

В зависимости от энергии падающих позитронов и материала образца, существует определенная вероятность обратного рассеяния высокоэнергетических позитронов от поверхности образца. Рассеяние обусловлено взаимодействием позитронов с ядрами. Рассеяние происходит подобно тому как альфа-частицы отражаются от некоторой мишени – Резерфордское рассеяние. Важной характеристикой рассеяния является – дифференциальное сечение. В данном случае различие между электронами и позитронами состоит в том, что сечение для электронов намного больше, чем для позитронов, и вероятность рассеяния на большие углы для электронов выше. Помимо этого, высокий атомный номер мишени приводит к значительно большей доле обратно рассеянных позитронов.

1.2.2 Термализация

Кинетическая энергия “влетающих” в твердое тело позитронов значительно больше тепловой энергии диффузии. Разница между энергиями

рассеивается в кристалле в течение первых нескольких пикосекунд. Этот процесс называется термализацией, и его продолжительность намного короче, чем общее время жизни позитрона. Скорость передачи энергии очень высока, это означает, что энергия позитронов стремительно уменьшается. В конечном счете позитрон обладает энергией:

$$E = nkT, \quad (1)$$

k – постоянная Больцмана, T – температура в кельвинах, n – коэффициент, зависящий от степеней свободы.

Процесс выравнивания энергий изучается методом статистического моделирования. Метод основывается на энергетических и угловых распределениях [6]. Термализация определяет глубину проникновения позитрона в материал. В металлах чаще всего длина пробега позитронов лежит в диапазоне 20 – 300 мкм. Такой диапазон дает возможность исследовать электронную структуру в объеме материалов и накладывает определенные условия на толщину образцов. Для того чтобы позитроны не пролетели насквозь, толщина исследуемых материалов должна быть в 3 – 5 раз больше длины пробега.

Профиль позитронной имплантации описывается экспоненциальной функцией плотности вероятности:

$$P(z) = \alpha e^{-\alpha z}, \quad (1.1)$$

z – глубина от поверхности образца, параметр $\alpha = 16 \frac{\rho \text{ [грамм*см}^{-1}\text{]}}{E_{max}^{1,4} \text{ [МэВ]}}$ числитель

является плотностью материала, знаменатель – энергия налетающих позитронов [7].

В данной дипломной работе формула (1) использовалась для контроля допустимой толщины образцов. За допустимую величину вероятности обнаружить позитрон вне образца принималась величина $\leq 0,1$.

В решетке материала могут возникать плазмонные возбуждения, у металлов доминирует процесс возбуждения электронов проводимости, а для полупроводниковых материалов доминирующий процесс – возбуждение

электронно-дырочных пар [8]. Помимо этого, позитрон взаимодействует с фононами и испытывает рассеяние [9, 10]. Важно отметить, что большую часть времени термализации позитрон имеет энергию, значение которой превышает значение энергии термализованного позитрона [10]. Это дает возможность дефектам решетки захватить нетермализованный позитрон.

1.2.3 Диффузия

Когда позитроны достигают тепловых энергий, они диффундируют через решетку и ведут себя как заряженные частицы. Благодаря своему положительному заряду позитроны отталкиваются ядрами и с большой вероятностью проходят через междоузлия решетки. Диффузия позитронов может быть описана аналогично электронам - полуклассической трехмерной теорией случайного блуждания [11]. Основываясь на данной теории можно отметить, что длина свободного пробега позитрона между событиями рассеяния определяется микроскопическими механизмами рассеяния и является функцией температуры. На процесс диффузии также влияет то, что позитроны испытывают рассеивание на оптических фононах, этот эффект учитывается коэффициентом диффузии:

$$\langle l \rangle = \frac{3D_+}{\sqrt{\frac{3T k_B}{m^*}}}, \quad (1.2)$$

где $\langle l \rangle$ – средняя длина свободного пробега, k_B – постоянная Больцмана, T – температура, m^* – эффективная масса позитрона, D_+ – коэффициент диффузии.

В полупроводниках рассеивание позитронов происходит на акустических фононах. Это приводит к сильной температурной зависимости коэффициента диффузии $D \propto T^{-1/2}$. Функциональную зависимость теоретически предсказали Джон Бардин и Уильям Брэдфорд Шокли в 1950 году. В 1990 зависимость была подтверждена экспериментально физиком по имени Элиэль Соисалон-Соининен. Помимо температурной зависимости экспериментатор отметил зависимость коэффициента диффузии от концентрации примесных атомов на примере соединения кремния и фосфора. Так при концентрации 10^{20} см^{-3} донора фосфора в кремнии длина диффузии заметно уменьшилась [12]. Из исследования

выявлено, что рассеяние позитронов на электронах в зоне проводимости не играет существенной роли на коэффициент диффузии и на электрические свойства полупроводников.

Длина диффузии позитронов ограничена из-за конечного времени жизни позитронов в бездефектном объеме:

$$L_+ = \sqrt{\tau_b D_+}, \text{ где } D_+ = \frac{T k_B}{m^*} * \tau_r, \quad (1.3)$$

где τ_b – время жизни позитрона в бездефектном материале, τ_r – время релаксации для доминирующего механизма рассеяния.

На диффузию позитронов может оказывать существенное влияние наличие электрических полей. Это было экспериментально подтверждено в исследовании [13]. На длину диффузии оказывает влияние наличие дефектов в решетке, это могут быть включения инородных атомов, вакансии и их кластеров, дислокаций и прочих. Теоретически эффективную длину диффузии можно рассчитать по формуле (1.4).

$$L_{eff} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda_{eff}}{D_+} + \left(\frac{e E_{drift}}{2 k_B T}\right)^2 - \frac{e |E_{drift}|}{2 k_B T}}} \quad (1.4)$$

$\lambda_{eff} = \frac{1}{\tau_B} + k(\vec{r})$ – эффективная скорость аннигиляции, k – скорость захвата позитронов и эта величина является функцией от положения (радиус-вектора), E_{drift} – напряженность электрического поля.

В настоящее время общее уравнение диффузии не разрешимо, в силу ограниченной способности вычислительной техники, поэтому для конкретных задач уравнение упрощают и используют различные приближения.

Как упоминалось, на длину диффузии позитронов влияют различные дефекты в кристаллической решетке материала. Позитрон, диффундируя по материалу, притягивается дефектными областями, поэтому их часто называют ловушками. Скорость захвата позитронов определяется по золотому правилу Ферми:

$$k = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{i,f} P_i M_{if}^2 \delta(E_i - E_f) \quad (1.5)$$

P – вероятность заполнения начального состояния i и конечного состояния f элемента матрицы, E – соответствующие энергии.

Начальное состояние соответствует Блоховскому состоянию позитрона (т.е. позитрон описывается волновой функцией Блоха) [14], конечное состояние – позитрону, захваченному дефектом. В каждом из этих состояний позитрон может аннигилировать.

Первый вариант - делокализованное состояние, второй является локализованным [15-18]. Каждое состояние соответствует определенным аннигиляционным характеристикам, которые можно экспериментально наблюдать.

Любое состояние квантовой системы описывается уравнением Шредингера. С помощью обобщённого метода Кона – Шема [19] можно решить уравнение Шредингера для позитронов и электронов:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2}\nabla^2\psi_i^+(r) + \left[\frac{\delta E_{xc}[n_+]}{\delta n_-(r)} + \Phi(r) + \frac{\delta E_c^{e-p}[n_-,n_+]}{\delta n_+(r)} \right] \psi_i^+(r) &= \epsilon_i^+ \psi_i^+(r) \\ -\frac{1}{2}\nabla^2\psi_i(r) + \left[\frac{\delta E_{xc}[n_-]}{\delta n_-(r)} - \Phi(r) + \frac{\delta E_c^{e-p}[n_-,n_+]}{\delta n_-(r)} \right] \psi_i(r) &= \epsilon_i \psi_i(r) \\ \Phi(r) &= \int \frac{-n_-(r') + n_+(r') + n_0(r')}{|r - r'|} dr' \end{aligned} \right\} (1.6)$$

$E_{xc}[n]$ – обменная корреляционная энергия между одним типом частицы; E_c^{e-p} – корреляционная энергия между позитронами и электронами, $\Phi(r)$ – это общий кулоновский потенциал; $n_0(r')$ – плотность зарядов, которые находятся во внешнем потенциале.

Из литературных источников [20,21] известно соотношение для плотности электронов и позитронов:

$$\left. \begin{aligned} n_-(r) &= \sum_{\epsilon_i \leq E_F} |\psi_i|^2 \\ n_+(r) &= \sum_i^{N_+} |\psi_i^+|^2 \end{aligned} \right\} (1.7)$$

где E_F – энергия Ферми, N_+ – количество позитронов. Из этих же источников скорость аннигиляции определяется:

$$v = \pi r_0^2 c \int n_-(r) n_+(r) g(0; n_-, n_+) dr \quad (1.8)$$

Функция $g(0; n_-, n_+)$ – коррекционная функция пары электрон-позитрон. Из представленного соотношения ясно, что скорость аннигиляции напрямую зависит от процесса перекрывания плотностей позитронов и электронов.

1.3 Делокализованное состояние позитрона.

В идеальной решетке металла, в которой отсутствуют дефекты, позитроны диффундируют по междоузлиям решетки. Позитроны отталкиваются ядрами, и продолжают свой путь до тех пор, пока не столкнутся с валентными электронами или же с электронами принадлежащими ионным остовам.

В таком случае уравнение Кона – Шема имеет более простой вид:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2} \nabla^2 \psi_i^-(r) + [E_{xc}(n_r) - \Phi(r)] \psi_i^-(r) &= \epsilon_i^- \psi_i^-(r) \\ -\frac{1}{2} \nabla^2 \psi_i^+(r) + [\Phi(r) - V_{corr}(n_r)] \psi_i^+(r) &= \epsilon_i^+ \psi_i^+(r) \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

V_{corr} – коррекционный потенциал или другое название: предельный потенциал нулевой плотности позитрона. Данный потенциал ограничивает коррекционную энергию между электронами и позитронами. Энергия равна коррекционной энергии свободного позитрона в однородном электронном газе. $\psi_i^-(r)$ $\psi_i^+(r)$ – волновые функции электрона и позитрона. ϵ_i^- и ϵ_i^+ – собственные функции (энергетические).

Электронная плотность в идеальной решетке не нарушается позитроном. Для данного случая скорость аннигиляции:

$$v_B = \pi r_0^2 c \int n_-(r) n_+(r) \gamma(n_-) dr \quad (1.10)$$

В представленном уравнении $\gamma(n_-) = g(0; n_-, n_+)$ и носит название “фактор усиления плотности электрона на позитрон”.

Обратная величина скорости аннигиляции Блоховских позитронов является временем жизни позитронов в решетке и обозначается τ_B :

$$\tau_B = 1/v_B \quad (1.11)$$

Время жизни делокализованных позитронов определяют методами приближение локальной плотности (LDA) и обобщённого градиентного приближения(GGA) [21]. Данные по временам жизни позитронов в бездефектных материалах указаны в работе [22]

1.4 Локализованное состояние позитрона.

Локализованное состояние формируется в случае, когда в решетке присутствует дефект. Для металлов наличие дефекта связано с отсутствием в определенной области положительно заряженных ионных остовов. В этих областях создается притягивающий потенциал для положительно заряженных позитронов. Поэтому вакансии и их кластеры, дислокации, границы зерен захватывают данные частицы. Переход позитронов из свободного состояния в локализованное называется захватом позитрона. Энергия захвата определяется как разность между этими состояниями.

Локализованное состояние более стабильное, в сравнении с делокализованным состоянием, в силу того, что обладает меньшей собственной энергией. При захвате позитрона существует два предельных случая.

Первый называется режимом ограниченной диффузии. В таком случае скорость перехода из свободного состояния в состояние захвата высокая, а концентрация стохастических позитронов вблизи дефекта мала. Примером может служить захват позитрона на границе зерна. Потенциальная яма такого дефекта считается небольшой, при этом скорость захвата:

$$K = 4\pi r_d D_+ C \quad (1.12)$$

в уравнении r_d – радиус дефектов, C – концентрация дефектов, D_+ - коэффициент диффузии позитронов.

Второй предельный случай - режим ограниченного перехода. Для такого режима движение позитронов описывается уравнением распространения волны. Пример данного режима – захват моновакансиями. Потенциальная яма этого дефекта глубокая. Диффузия рассматриваемых частиц к дефектам не

ограничивает скорость захвата. Поэтому скорость захвата для данного режима определяется золотым правилом Ферми [23,24]:

$$K = C\mu, \quad (1.13)$$

где μ – коэффициент захвата позитрона, C – концентрация дефектов.

Упомянутый коэффициент зависит от электронной структуры и типа атомов. Для каждого типа дефекта он имеет свое значение.

Когда в решетке имеются дефекты позитроны могут аннигилировать и с электронами ионных остовов, однако вероятность аннигиляции существенно ниже. Как упоминалось ранее, аннигиляционные характеристики делокализованных и локализованных позитронов существенно отличаются. К примеру время жизни позитронов в вакансиях, дислокациях длительнее чем в бездефектных областях. Помимо этого, временные значения различаются для каждого типа дефекта.

1.5 Зависимость параметров аннигиляции позитронов от его состояния

1.5.1 Вакансии

Вакансии являются распространёнными дефектами в металлах и полупроводниках. Их концентрация чаще всего лежит в диапазоне чувствительности различных позитронных методов. И поэтому могут быть обнаружены.

Захват позитронов в вакансиях был теоретически рассмотрен исследователем по фамилии Пушка М.Дж. в 1990 году [25]. Вакансии могут быть отрицательными, положительными и нейтральными. Чаще всего заряженные вакансии наблюдаются в керамических материалах, т.к. они обладают ионной связью, для металлов характерна отрицательная вакансия – из-за отсутствия ионного остова. Нейтральные вакансии встречаются зачастую в полупроводниках.

Время жизни позитронов τ_{vac} является важной характеристикой аннигиляции. В заряженных вакансиях τ_{vac} функцией температуры. Для нейтральных вакансий эта величина не зависит от температуры [25-27]. Так как каждый элемент характеризуется своим электронным строением ему

соответствует свое значение время жизни. В работе [22] представлены τ_{vac} для всех элементов.

Одной из аннигиляционных характеристик является коэффициент захвата позитронов μ_D . По причине наличия кулоновского отталкивания коэффициент захвата положительных вакансий очень мал и захват позитронов не происходит [26]. Для нейтральных вакансий коэффициент захвата составляет $\mu_D \approx 10^{14}-10^{15} \text{ c}^{-1}$. Это означает, что при концентрациях нейтральных вакансий $\geq 10^{16} \text{ см}^{-3}$ они могут быть обнаружены методами позитронной аннигиляции. Коэффициент захвата в случае отрицательных вакансий в среднем составляет $\mu_D \approx 10^{15}-10^{16} \text{ c}^{-1}$ при 300 К. Обнаружить вакансии такого типа получается при их концентрации порядка 10^{15} см^{-3} . В работах [26,27] показана обратная зависимость μ_D от температуры. В настоящее время предполагается, что μ_D пропорционален $T^{-1/2}$.

1.5.2 Дислокации

Дислокации являются протяженными дефектами. Часто их представляют, как ряд связанных вакансий. Время жизни позитронов, захваченных дислокациями, как правило, короче, чем захваченными моновакансиями [28]. Дислокации бывают краевыми и винтовыми, у каждого типа свои аннигиляционные характеристики. Время жизни позитрона в таких дефектах лежит в диапазоне 140-180 пс [22], при этом время жизни в винтовых дислокациях короче, чем в краевых, например, для Fe время жизни позитронов в винтовой дислокации составляет примерно 142 пс, а в краевых 165 пс [29].

В настоящее время общепризнанно, что захват позитронов на дислокациях является двухстадийным процессом [30]. Сначала позитроны захватываются мелкими ловушками в ядре дислокации. Эти слабо локализованные позитроны быстро диффундируют вдоль линии дислокации и в конечном итоге захватываются глубокими ловушками, а именно вакансиями, закрепленными в упругом поле дислокации [31, 32]. Скорость захвата в металлах составляет примерно $10^{-5}-10^{-4} \text{ c}^{-1}$ [29, 33-36].

1.5.3 Поверхности

Позитроны, взаимодействуя с поверхностью твердого тела, могут испытать отражение от поверхности, образовать позитроний, самопроизвольно покинуть поверхность (вторичные позитроны).

Вторичные позитроны характеризуются меньшей кинетической энергией в сравнении с отраженными. Согласно теоретическим расчётам (Неминен и Пушка (1983 г.), Неминен (1984 г.) и Рубашек (1993 г.)) диапазон времени жизни позитрона на поверхности многих металлов варьируется от 450 до 660 пс. Экспериментально значения были подтверждены физиками Ричардом Линн и Алоисом Стейндл, которые проводили исследования времени жизни позитронов в кремниевых полупроводниках n и p типов.

Позитроний представляет собой связанное состояние между электроном и позитроном, которое формально рассматривают как атом водорода. Такое состояние образуется в областях с низкой электронной плотностью. В полупроводниках и металлах позитроний образуется вне кристалла – между поверхностью и открытым пространством. Позитроний может быть двух типов (в зависимости от ориентации спинов частиц): орто-позитроний и пара-позитроний. Время жизни орто-позитрония составляет 142 нс, для пара-позитрония это значение короче 124 пс.

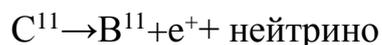
Факт о том, что каждое состояние позитрона характеризуется собственными аннигиляционными параметрами делает методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) привлекательными для исследований электронной структуры материала. Помимо упомянутых параметров: время жизни позитронов и коэффициент захвата, важными параметрами являются энергия позитронов и интенсивность аннигиляции. Последняя характеристика используется для расчетов концентрации дефектов в исследуемом материале. Для корректной оценки интенсивности аннигиляции необходимо учитывать долю позитронов, аннигилирующих вне образца, а именно в источнике и в пространстве между источником позитронов и образцом. Энергия и ее диапазон зависит от источника позитронов.

1.6. Источники позитронов

Для генерации позитронов существуют несколько методов. Многие известные исследователи, такие как: Гроце, Хауэлл, Альварес и Станек для получения позитронов использовали линейный ускоритель электронов. Указанный метод реализуется следующим образом – импульсный электронный пучок падает на плотный материал с высоким Z (например, сплав $W_{75}Re_{25}$) и останавливается в нем, генерируется тормозное излучение, на выходе получают пучок позитронов и электронов.

Ранее метод имел ряд проблем: малая эффективность, большое число вторичных электронов, низкая интенсивность позитронов, большой разброс по энергиям, большие габариты установок, нагрев мишени. Исследователь Дорикенс в 1987 году спроектировал электронный "поглотитель". В своей работе [37] он продемонстрировал решение упомянутых проблем. В настоящее время метод позволяет получить интенсивность 10^7 позитронов в секунду [38]. Использование низкоэнергетических пучков позитронов с низким разбросом по энергиям позволяет проводить фундаментальные исследования, в том числе: ударного термоядерного синтеза, антисимметрии (черные дыры, вспышки гамма излучения), физики плазмы, позитронно-электронного конденсата Бозе-Эйнштейна [39].

Следующий метод – получение позитронов в ядерных реакциях. Метод был предложен американским физиком Даниэлем Стейн в 1974 году и опубликован издательством AIP [40]. Настоящая методика основывается на реакции:



Реакция реализуется по следующей схеме: пучок протонов с энергией порядка 5 МэВ, ускоренный устройством Ван-де-Граффа, налетает на мишень из бора, после чего генерируются позитроны и с помощью линз, отклоняющих пластин и замедляющего потенциала позитронный пучок направляется в соленоид с магнитом, проходят через соленоид только позитроны с достаточно низкой

энергией, на выходе получают позитронный монохроматический луч с низкой энергией.

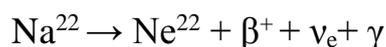
Рассматриваемый метод получения позитронов обладает рядом преимуществ. Во-первых, источник позитронов можно “выключить” – не допускать падения протонного пучка на мишень, такая возможность важна для безопасности. Во-вторых, использование протонного пучка в упомянутой реакции не приводит к фоновому излучению, которое наблюдается в первом методе (использование электронного пучка), помимо этого если для сбора данных требуется меньше двух часов пучок протонов вовсе может быть выключен. В-третьих, автор работы утверждает, что данная методика обойдется дешевле, чем использование долгоживущего источника к примеру, Na^{22} .

Некоторые изотопы являются радиоактивными и излучают позитроны. Ранее упоминался такой изотоп, как Na^{22} . Позитроны из такого источника получаются из β^+ распада, в процессе которого протон превращается в нейтрон и при этом излучаются позитрон и нейтрино [41]:



где D – материнское ядро, D' – дочернее ядро, A – атомная масса, Z – заряд, e^+ – позитрон, ν – нейтрино.

Реакция для Na^{22} :



Изотоп натрия дает высокий выход позитронов около 90%. Особенности такого источника служат: выделение гамма-кванта с энергией 1,27 МэВ одновременно с позитроном, период полураспада 2,6 года, биологический период полураспада составляет несколько дней, промышленная добыча реализуется в Африке.

Наряду с упомянутым изотопом используются Cu^{64} , Co^{58} , Ge^{68} , Co^{60} , Ti^{44} и другие. Интенсивности подобных источников варьируются в диапазоне 1 – 50 мкКи. Такие небольшие значения радиоактивности обеспечивают то, что в исследуемом материале в один момент времени существует единственный

позитрон [42]. Источники с малой активностью и с вторичными гамма-квантами применяются для методов спектроскопии времени жизни позитронов (СВЖП) и Доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ). Позитроны генерируемые упомянутой выше реакцией имеют широкое энергетическое распределение, которое является непрерывным. Распределение описывается формулой [43]:

$$\frac{dN}{dE} = D\sqrt{E + (2mc^2)}(E + mc^2)(E_{max} - E)^2, \quad (1.14)$$

где D – коэффициент нормировки, который зависит от энергии позитронов E и от заряда ядра Z , m – масса покоя позитрона.

Максимум интенсивности обычно соответствует энергии порядка 540 кэВ, с такой энергией позитроны могут глубоко проникать в образец что позволяет исследовать структуру в объеме.

Все методы разделяются на две группы: получение позитронов путем рождения электрон-позитронной пары и использование радиоактивных изотопов. Рождение пары требует больших энергий гамма-квантов порядка двух масс покоя электрона.

Методики, основанные на столкновение гамма-квантов, позволяют получать позитроны со средней энергией 800 кэВ. Интенсивность приблизительно 10^{10} позитронов в секунду. Спектр энергий позитронов является непрерывным. Основной проблемой является использование гамма-квантов больших энергий.

Методы получения позитронов из радиоизотопов позволяют достигать энергии позитронов порядка 500 кэВ. Однако, характеристики позитронов сильно зависят от источника. Проблема методики – безопасное хранение и утилизация источников.

Для корректного исследования структуры материала необходимо знать какая доля позитронов аннигилирует в источнике позитронов, какой процент позитронов отражается от исследуемого образца, какие области аннигиляции возможны (поры, вакансии, воздушная среда, т.д.). В настоящее время для

исследования необходимы эталоны – бездефектные образцы того же состава, что и интересующий образец. Исследователь вынужден определять аннигиляционные характеристики источника всякий раз как проводит эксперимент. Настоящая работа позволит определить долю позитронов, аннигилирующих вне образца и выполнять обработку экспериментальных спектров без эталонных образцов. Это позволит ускорить процесс обработки спектров, повысит точность в определении интенсивности аннигиляции позитронов в исследуемом материале.

1.7. Методы электрон-позитронной аннигиляции

Свойства материалов определяются их структурой. В настоящий момент одними из наилучших неразрушающих методов исследования структуры веществ являются методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА). Указанные методы имеют ряд различных экспериментальных методик, каждая из которых подходит для характеристики различных особенностей строения материалов. Основными методиками ЭПА являются [44]: измерение доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ), методика дает информацию о химической среде вблизи дефектных областей [44, 45]; анализ спектров углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ), подходит для изучения электронной структуры [46,47]; аннигиляционная спектроскопия медленных позитронов с переменной энергией [48-50], позволяет получить профиль глубины дефекта и измерить длину диффузии позитрона; спектроскопия времени жизни позитронов (СВЖП) [51,52], методика позволяет определять дефекты объемные дефекты и их концентрацию. Последняя методика применялась в данной исследовательской работе.

1.7.1 Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП)

Ранее упоминалось о том, что позитрон в разных состояниях имеет свои аннигиляционные характеристики, которые зависят от многих факторов: области аннигиляции (дефектная/ бездефектная), типа дефекта, от порядкового номера исследуемого образца, его электронной структуры, ее плотности, типа связи

атомов/молекул [53]. В дефектах объёмного типа электронная плотность ниже, чем в бездефектном кристалле. Так значения времени жизни позитронов в дислокациях, вакансиях, вакансионных кластерах и подобных дефектов выше времени жизни свободных позитронов. СВЖП активно применяется в исследованиях дефектной структуры материалов [54], т.к. данный метод чувствителен к изменению электронной плотности. Выделяют следующие достоинства СВЖП:

- 1) позволяет анализировать дефекты на атомарном уровне;
- 2) имеет высокую чувствительность к дефектам объёмного типа;
- 3) не требует специальной подготовки исследуемых образцов;
- 4) при исследовании материала не разрушает его;
- 5) позволяет установить типы дефектов и их концентрацию;
- 6) полученные результаты напрямую сопоставляются с теоретическими расчетами из первых принципов [55].

Метод СВЖП основывается на измерении промежутка времени между рождением позитрона и его аннигиляцией. Напрямую измерить время между этими двумя событиями крайне сложная задача, поэтому для такой методики в качестве источников позитронов применяют радиоизотопы, излучающие вторичный гамма-квант одновременно с излучением позитрона. Зафиксировать время гамма-кванта проще, чем позитрона. Гамма-квант испущенный изотопом регистрируется детектором 1 и является сигналом “Старт” на шкале времени и информирует о рождении позитрона. Детектор 1 настроен на энергию гамма-кванта 1,157 МэВ, которой и обладает вторичный квант. За сигнал “Стоп” принимается один из аннигиляционных гамма-квантов, имеющий энергию 0,511 МэВ [1]. Такой гамма-квант регистрируется детектором 2. Для реализации метода необходим источник с низкой активностью т.к. необходимо выделить импульсы “Старт” и “Стоп”, отвечающие одному позитрону. Низкая активность позволяет считать, что в каждый момент времени в исследуемом материале находится один позитрон. Времена жизни позитронов лежат в интервале от 0,1

до 1 нс [56], а среднее время жизни между двумя следующими излучениями позитронов является величиной порядка микросекунды. Промежутки времени крайне малы, поэтому необходимо использовать быстрые современные детекторы и системы сбора данных с точными временными характеристиками. Схематично принцип метода представлен на рисунке 1.

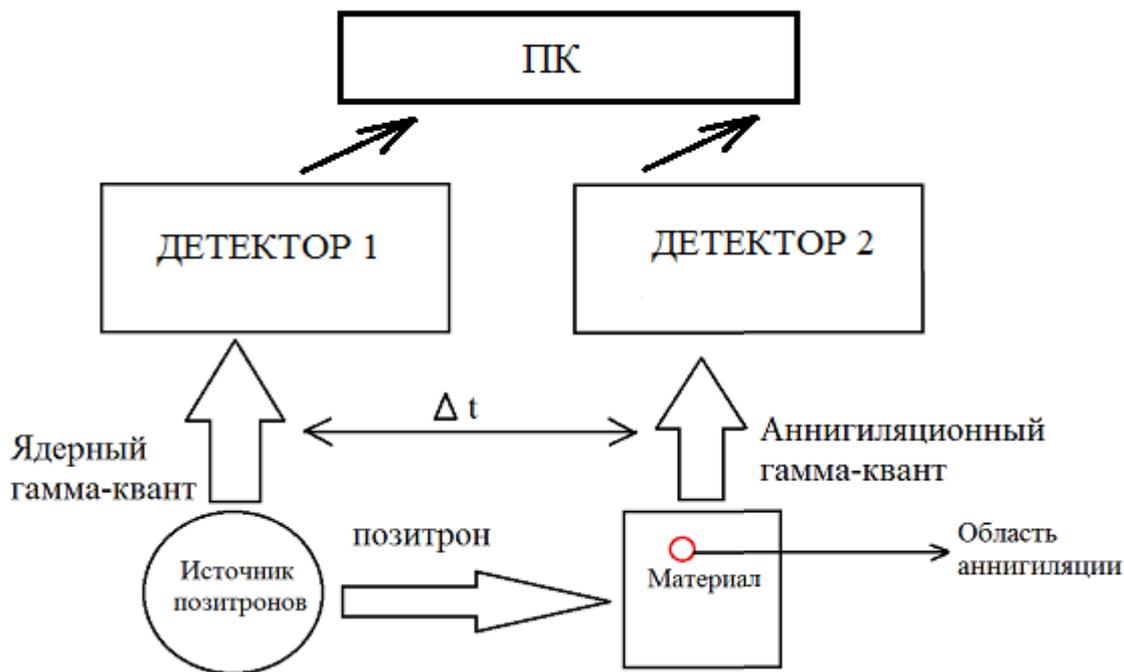


Рисунок – 1. Методика измерения времени жизни позитрона

Глава 2. Материалы и методы

2.1 Реализация метода СВЖП

Исследование времени жизни позитронов в данной работе проводилось на аналоговом спектрометре, который работает по схеме, показанной на рисунке 2. [57]. Гамма-кванты регистрируются детекторами на основе сцинтилляторов и фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Сцинтиллятор изготовлен из фторида бария BaF_2 , он имеет цилиндрическую форму с диаметром 30 мм, его толщина составляет 25 мм. Сцинтилляторы соединяются с ФЭУ. ФЭУ изготовлены японской фирмой Hamamatsu, модель H3378 – 50. Схема данного спектрометра представлена на Рисунке 2.

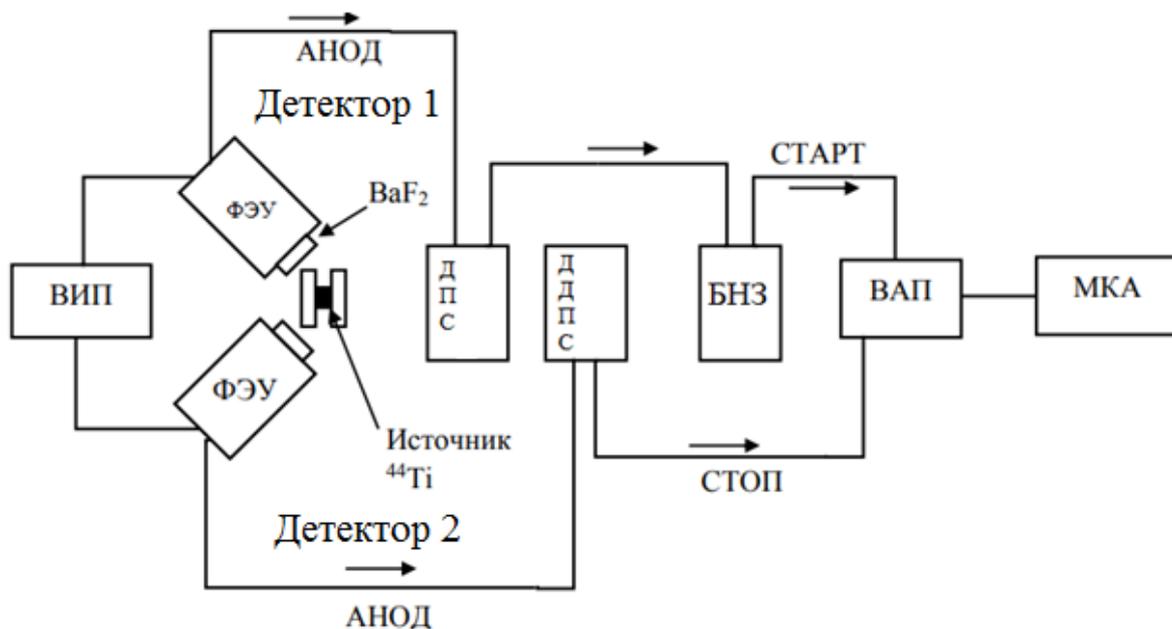


Рисунок – 2. Схема аналогового спектрометра времени жизни позитронов. Обозначения на схеме, МКА – многоканальный анализатор, ВАП – время-амплитудный преобразователь, БНЗ – блок наносекундной задержки, ДДПС – дифференциальный дискриминатор постоянной составляющей, ФЭУ – фотоэлектронный умножитель, ВИП – высоковольтный источник питания.

Питание детекторов, осуществляется двухканальным высоковольтным источником питания (ВИП ISEG T2DP). Энергия гамма-квантов увеличивается примерно до 200 мВ с помощью ФЭУ. Сигналы с детекторов поступают на дискриминаторы фирмы Ortec 581 В [58]. На дискриминаторах осуществляется точная временная привязка к фронту и амплитудная выборка сигналов. Сигнал с детектора 1, отвечающий за сигнал “Старт”, приходит на ДДПС, который имеет определенные пороги дискриминации, позволяющие не захватывать сигналы гамма-квантов с энергией 0,511 МэВ. От детектора 2 “Стоп” сигналы приходят на другой дискриминатор. Это позволяет регистрировать сигналы гамма-квантов с энергией 0,511 МэВ и не учитывать ложные сигналы.

Сигнал “Старт” задерживается с помощью БНЗ для соответствия с сигналом “Стоп”. Энергетические спектры записываются в память МКА, анализатор состоит из цифрового преобразователя (АЦП) и компьютера. АЦП преобразует аналоговую информацию в цифровую. Данные приходят в виде

каналов, которые необходимо калибровать. Калибровка возможна, т.к. каналы и времена жизни имеют линейную зависимость. На рисунке 3 представлены энергетические спектры не откалиброванных каналов.

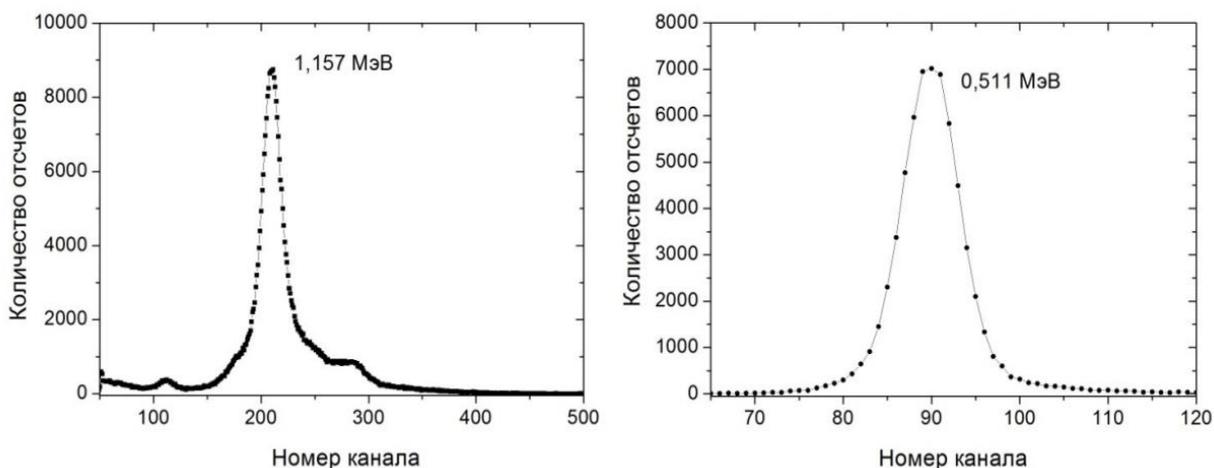


Рисунок – 3. Энергетические спектры с детекторов 1 “Старт”, 2 “Стоп” после прохождения порогов дискриминации

Калибровка преобразует каналы во время. В результате получается спектр временного распределения аннигиляции позитронов, рисунок 4.

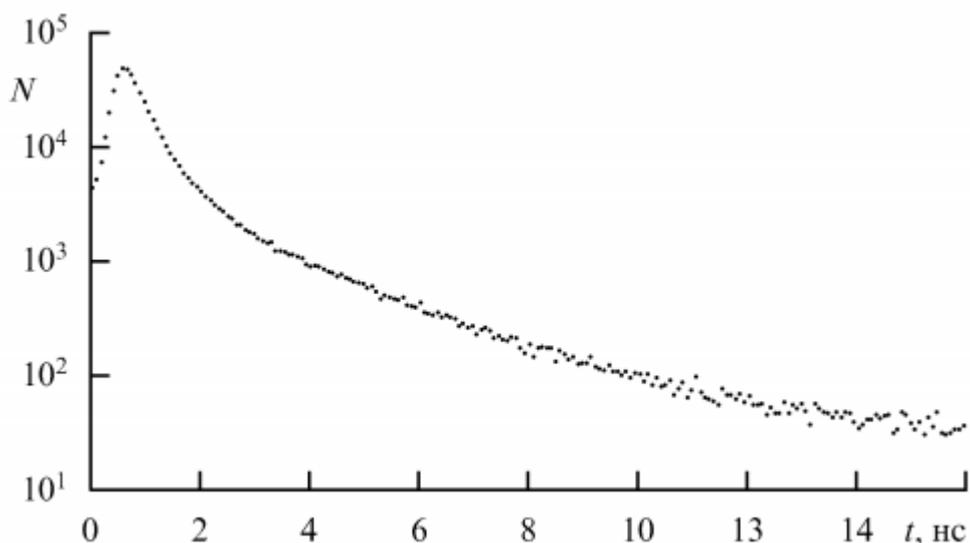


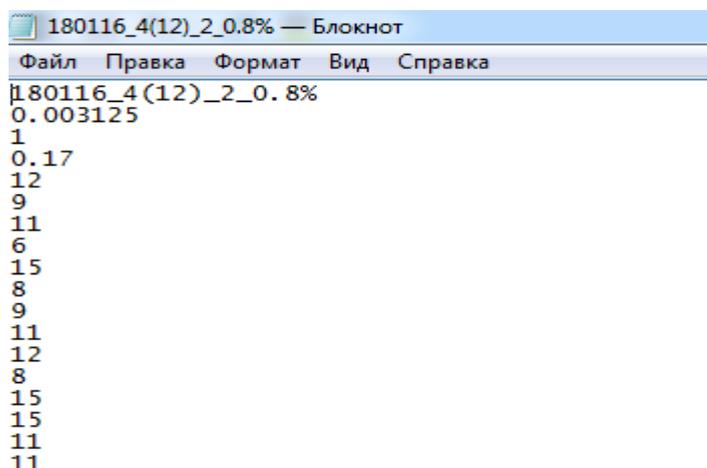
Рисунок – 4. Спектр времени жизни позитронов в полиметилметакрилате [59].

N – число событий (отсчетов)

2.2 Программное обеспечение ЛТ.

После всех предыдущих этапов на ПК сохраняются текстовые файлы с расширением .txt. В них содержится информация о калибровке (цене канала),

подпись к спектру и параметры функции разрешения спектрометра. Далее идет столбец интенсивности, представляющий собой сам спектр времени жизни позитронов, рисунок 5.



```
180116_4(12)_2_0.8% — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
180116_4(12)_2_0.8%
0.003125
1
0.17
12
9
11
6
15
8
9
11
12
8
15
15
11
11
```

Рисунок – 5. Содержимое текстовых файлов – экспериментальные значения

Данные файлов необходимо обрабатывать/анализировать. В данной работе для обработки спектров использовалась 10 версия программного обеспечения Lt, которая обрабатывает результаты эксперимента по нелинейному методу наименьших квадратов. В программе существуют различные модели обработки спектров и помимо стандартных, пользователь может подключать свои модели. Возможна одновременная обработка спектров несколькими моделями [60].

Удобный интерфейс позволяет быстро справляться с обработкой файлов. Отдельная вкладка “Source” позволяет четко отделить процессы аннигиляции, происходящие в источнике. В программе возможно внести изменения в текстовый файл – обрезать значения. Пользователь свободен в выборе параметров обработки. После обработки программа графически показывает аппроксимацию данных, Fit (критерий хи-квадрат) рисунок 6.

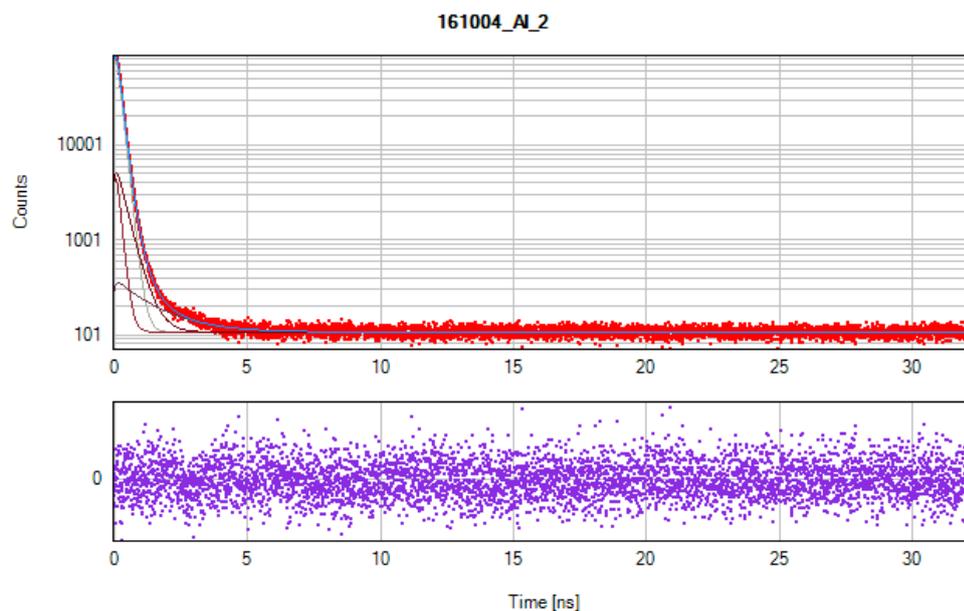


Рисунок – 6. Аппроксимация экспериментальных данных в программе Lt

Для корректной обработки спектров в указанном программном обеспечении необходимо настроить пороги спектров. Для этого во вкладке “ranges” устанавливается нижняя граница – “background”, а также границы начала и конца обрабатываемого спектра – “Start”, “Stop”. Помимо этого, задается нулевая точка – “Zero”, графически данная точка находится на пике кривой. Все значения программа позволяет определить автоматически с помощью клавиши “Reset”. Но в рамках данной работы и в силу особенности установки спектрометра значение “Start” задается вручную. Значения этой границы определяется как: значение “Zero” – 10. Пример настройки порогов для Al продемонстрировано на рисунке 7.

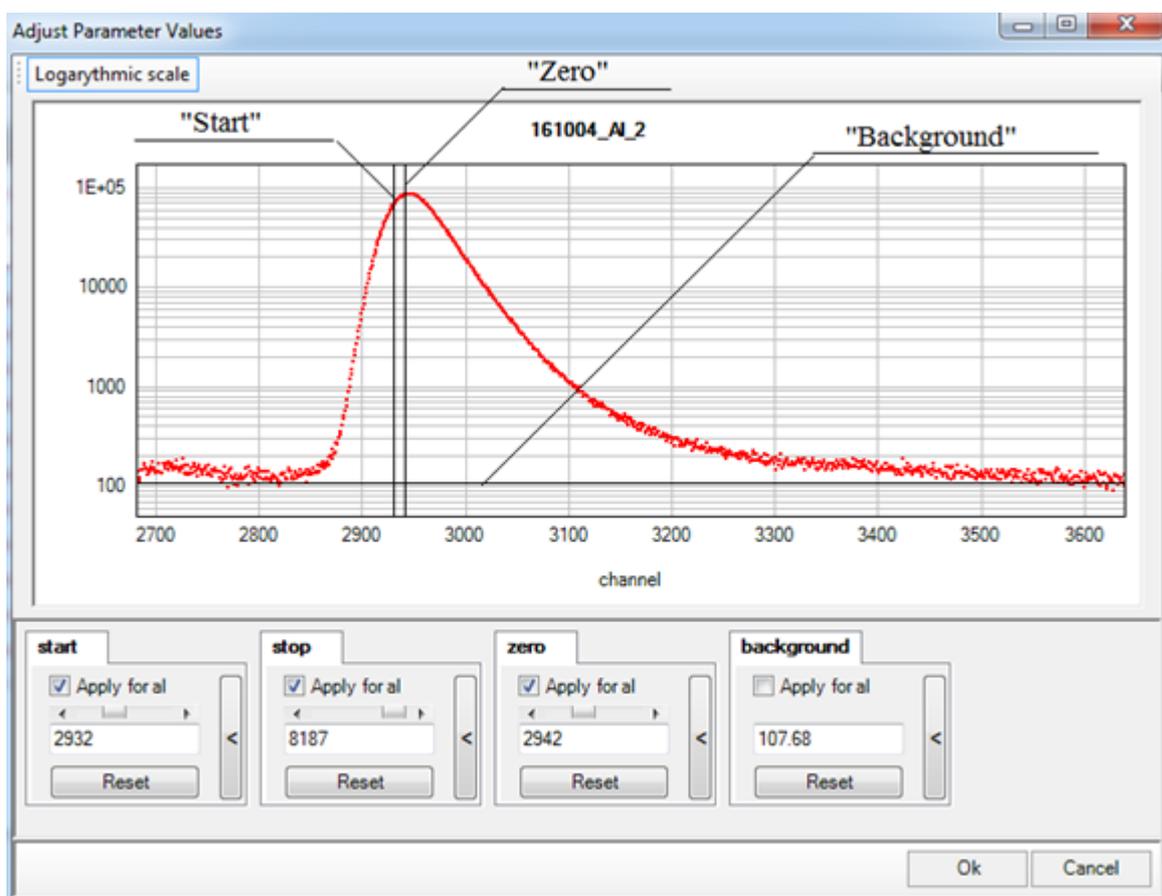


Рисунок – 7. Настройка порогов обработки спектров в программе Lt 10

Программное обеспечение предлагает множество вариантов обработки спектров. В настоящей работе спектры обрабатывались мультиэкспотенциальной моделью.

2.3. Анализ спектров времени жизни позитронов

Для того, чтобы корректно выполнить анализ спектров времени жизни позитронов требуется получить примерно $3-6 \cdot 10^6$ событий для одного спектра. Такая статистика обеспечивает правильную форму спектра и достоверность результатов. Обычно для набора такого числа событий необходимо несколько часов. Это зависит от активности источника позитронов, а также от геометрических параметров эксперимента. В настоящем эксперименте применялся источник с активностью 2,5 МБк и на сбор данных в среднем требовалось не меньше суток. Получаемый спектр, упомянутый на рисунке 8, является суперпозицией нескольких спектров с разными временами жизни позитронов [59]:

$$N(t) = \int R(t, t_1) \sum_{i=1}^n I_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} dt_1 \quad (2.1)$$

В указанном уравнении $R(t, t_1)$ – приборная функция установки временного распределения аннигиляционных фотонов, n – число временных компонент в спектре, τ_i – время жизни позитронов, I_i – доля позитронов с временем жизни τ_i .

Спектр в соответствии с уравнением 2.1 графически представляет собой свертку экспоненциального спектра, Рисунок 8.

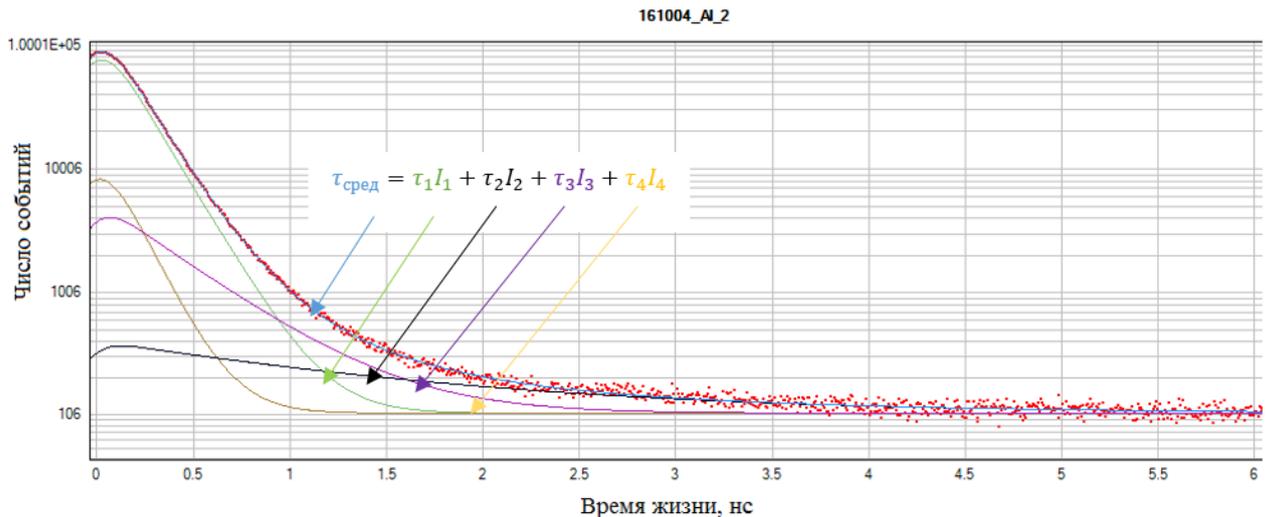


Рисунок – 8. Разложение спектра времени жизни позитронов для бездефектного образца Al

На рисунке представлено разложение спектра времени жизни позитронов в программном обеспечении Lt10. Красные точки – экспериментальные значения времен. $\tau_{\text{сред}}$ – линейная комбинация суммы времен жизни позитронов и их интенсивностей. $\tau_i I_i$ – время жизни позитронов (и интенсивность) в определенном состоянии, о которых подробнее ниже.

Как упоминалось ранее, для обработки спектров необходимо знать разрешение, которое принято определять, как значение полуширины на полувысоте функции разрешения спектра. У современных спектрометров разрешение составляет около 200-250 пс, в зависимости от размеров сцинтилляторов и ширины порогов дискриминации сигналов. Форма функции разрешения в идеале является Гауссианой.

При анализе спектров необходимо четко отделить процессы аннигиляции позитронов в источнике, в позитронии от процессов аннигиляции в исследуемом материале. Так, минимальным количеством компонент в общем случае будет три.

Три компоненты соответствуют процессам аннигиляции: в радиоактивной соли, титановой фольге и образующимся в воздушном зазоре позитронии. В случаях, когда исследуемый материал не является титаном необходимо добавить дополнительную временную компоненту, которая соответствует времени жизни позитрона в решетке данного материала.

Для вычета компонент источника необходимо провести измерения серии различных бездефектных образцов (эталонных), временные компоненты которых известны. Это позволит выделить временные компоненты, соответствующие процессам аннигиляции позитронов в источнике и позитронии. Настоящая работа посвящена определению аннигиляционных характеристик в источнике.

В результате анализа спектра с помощью различных программных обеспечений по типу Lt исследователь получает набор времен жизни и соответствующие им интенсивности. Помимо этого, в случаях, когда не получается разделить спектр на компоненты определяют среднее время жизни позитронов в исследуемом материале. Указанный параметр не зависит от функции разрешения и в согласии с работой [16] определяется как:

$$\tau_{ave} = \sum I_i t_i \quad (2.2)$$

2.4 Материалы

В исследовании вклада источника были использованы следующие материалы: алюминий(Al), железо(Fe), никель(Ni), медь(Cu), цинк(Zn), свинец(Pb), цирконий(Zr). Все перечисленные материалы не являются сплавами, однако в них присутствуют примеси на уровне следов. Методами ЭПА следы примесей не регистрируются. В качестве источника позитронов Ti^{44} с активностью 2,5 МБк. Источник представляет собой соль $TiCl^4$. Период полураспада такого источника составляет около 47 лет, это позволяет проводить

длительные эксперименты. Источник находится в капсуле-оболочке, которая сделана из тонкой титановой фольги.

Для удаления поверхностных загрязнений образцы были механически отполированы. Для обеспечения бездефектной структуры упомянутых материалов, они были отожжены в вакуумной печи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. Режим отжига был выбран в соответствии с работой [22]. Измеренное время жизни позитронов в отожженных материалах соответствовало времени жизни в эталонных бездефектных материалах. Режим отжига представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режим отжига материалов.

Исследуемый материал	Время отжига, час	Температура отжига, К
Алюминий	1	773,15
Железо	2	1173,15
Никель	2	1173,15
Медь	2	1123,15
Цинк	1	523,15
Свинец	1	523,15
Цирконий	2	1173,15

Исследуемые образцы представляют собой сплюснутый шар с диаметром менее 2 см. Толщина каждого образца была измерена микрометром с погрешностью в 0,01 мм. Это измерение позволило заключить, что позитроны аннигилируют в объеме материала и не пролетают сквозь него, в соответствии с требованием (1.1). Значение максимальной энергии позитронов принято за 1,47 МэВ. Значение толщин и вероятности обнаружить позитрон вне образца указаны в таблице 2.

Таблица 2. Вероятность нахождения позитрона вне образца.

Исследуемый материал	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Вероятность найти позитрон за пределами образца, %

Алюминий	3500	2,7	0.0095
Железо	1770	7,87	0.0001
Никель	800	8,91	0.0926
Медь	1175	8,92	0.0036
Цинк	2650	7,1	$9.84 \cdot 10^{-7}$
Свинец	1710	11,34	$5.59 \cdot 10^{-7}$
Цирконий	2650	6,51	$4.55 \cdot 10^{-6}$

Минимальной допустимой толщиной образца является та, при которой вероятность обнаружить позитрон вне образца составила бы меньше 0,1% [7]. Как видно из таблицы 2 толщины всех образцов соответствуют требованию.

2.5. Методика проведения измерений

Для получения временных спектров, исследуемые образцы укладывались в форме т.н. “сэндвич геометрии” – образец – источник позитронов-образец, рисунок 9.

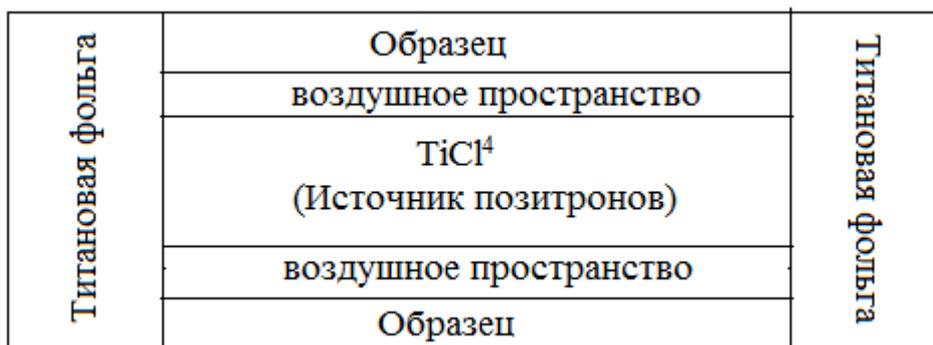


Рисунок – 9. “сэндвич геометрия”

При такой укладке все позитроны, излучаемые радиоактивной солью, попадают напрямую в образец. Но при этом некоторая часть позитронов успевает проаннигилировать в указанных областях: титановой фольге, в радиоактивной соли TiCl⁴ и в воздушном зазоре между источником и образцом.

В воздушном зазоре низкая электронная плотность, в этой области формируется позитроний – связанная кванто-механическая система из позитрона и электрона. Об аннигиляции позитрона в такой системе подробно изложено в 1 главе.

“Сэндвич” располагается напротив двух детекторов в соответствии с геометрией, представленной на рисунке 10.



Рисунок – 10. Геометрия проведения исследования.

Набор спектров проводился на открытом воздухе и при комнатной температуре.

В процессе обработки спектров программой Lt 10 были получены временные компоненты и вклады источника для каждого образца. Вклады источника, порядковый номер были перенесены в программу origin и аппроксимированы методом наименьших квадратов зависимостью:

$$S.C. = a * Z^b + c * \ln \ln (Z) + d * Z + e \quad (2.3)$$

Где Z – порядковый номер исследуемого элемента, a, b, c, d, e - неизвестные коэффициенты, $S.C.$ - аббревиатура Source contribution (вклад источника).

Упомянутая зависимость (2.3) была выбрана на основе работ [7, 23, 61].

Глава 3. Результаты эксперимента

3.1. Результаты и обсуждение

В ходе проделанной работы были набраны спектры времени жизни позитронов для каждого образца. Спектр времени жизни позитронов для железа представлен на рисунке 11.

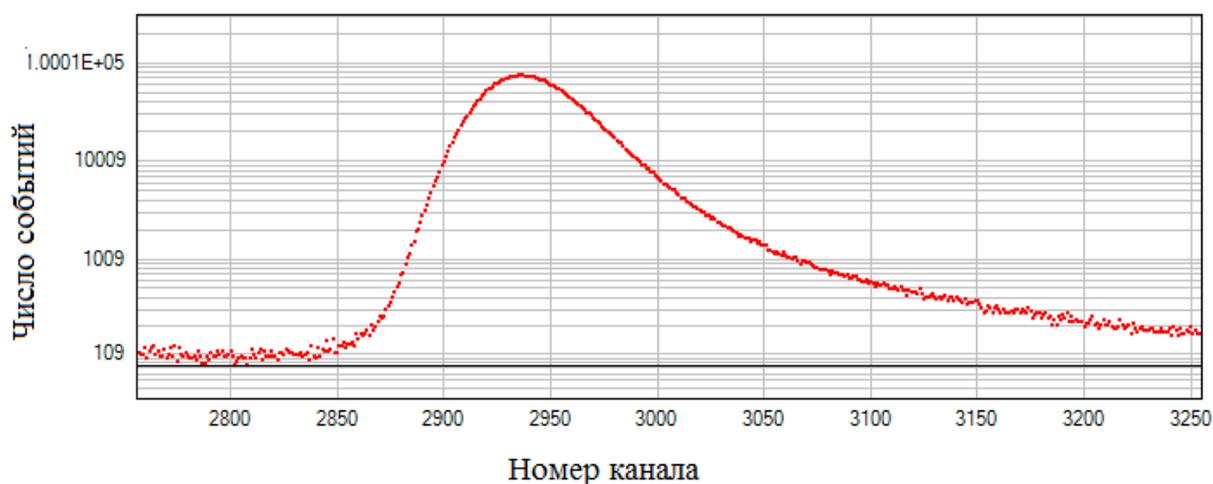


Рисунок – 11. Спектр времени жизни позитронов для Fe

Спектры времен жизни позитронов для других материалов имеют тот же вид, и являются комбинацией функций Гаусса и экспоненты. Для повышения корректности обработки полученных данных, для каждого материала было набрано по два спектра, по 5 - 10 млн. событий в каждом спектре. В предшествующей главе упоминалось, что такого числа событий достаточно для корректного анализа спектра. Форма спектров имеет классическую форму и является функцией Гаусса, это говорит о том, что настоящие спектры были набраны верно и в действительности отражают распределение времени жизни позитронов [1]. Из представленных данных видно, что спектры, набранные для различных материалов, внешне мало отличаются.

Для корректной обработки спектров была проведена настройка порогов применения математической модели. Значение порога “Start” имеет небольшой разброс по значениям для разных элементов и лежит в диапазоне от 2918 до 2922 каналов. Значение порога “Start” выбирается из условия максимальный пик (“Zero”) – 10 канал, с целью исключить из обработки паразитный пик, расположенный на 200 каналов левее основного пика. Иллюстрация определения порога “Start” для Pb представлена на рисунке 12.

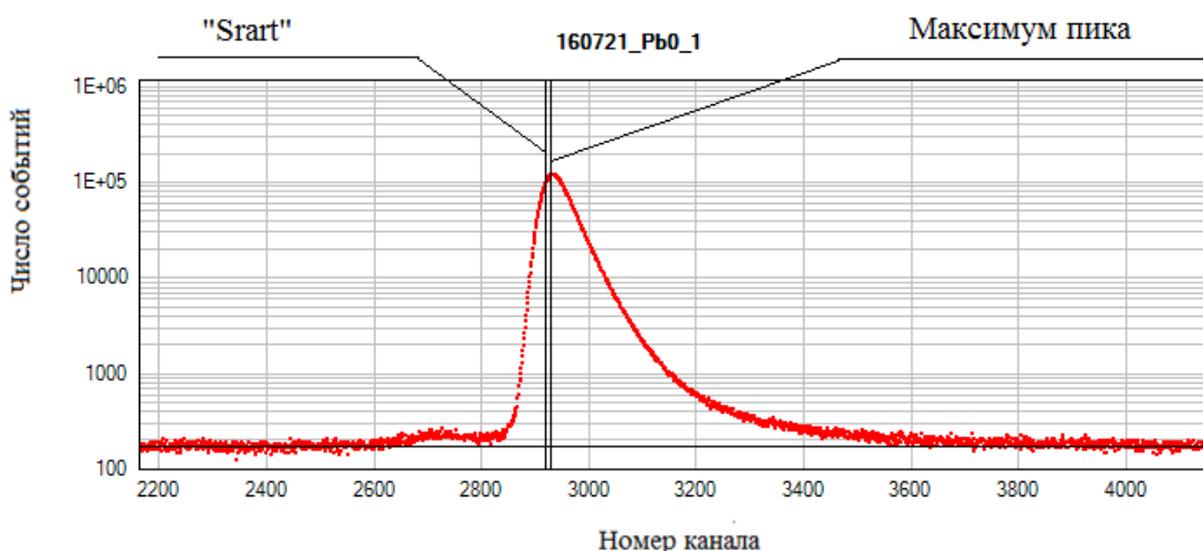


Рисунок – 12. Иллюстрация определения значения “Start”

Значение для “Zero” было установлено в точке с максимальной интенсивностью (максимум пика).

Порог “Stop” имеет одно значение равное 8187 каналов. Значение “Stop” исследователь выбирает самостоятельно исходя из принципа не учитывать те экспериментальные данные, у которых число событий существенно меньше. Пример определения значения порога “Stop” представлен на рисунке 13.

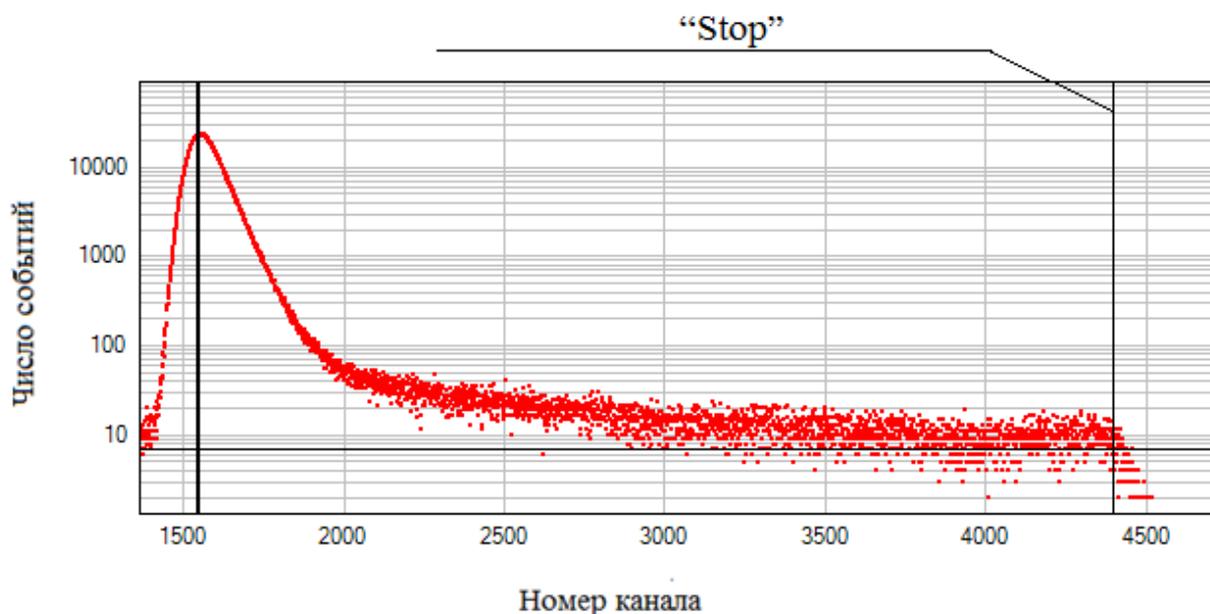


Рисунок – 13. Иллюстрация определения значения порога “Stop”

В указанном примере значение порога “Stop” соответствует номеру канала 4440. Последующие каналы имеют число событий меньше 10 и постепенно приближаются к 0.

В главе 2 упоминалась еще одна важная характеристика – разрешение спектрометра. Величина разрешения спектрометра определяется как ширина на полувысоте Гауссианы, описывающей центральную часть спектра. Данный параметр определяется при помощи программного обеспечения LT10. Схематично принцип определения разрешения спектрометра показан на рисунке 14.

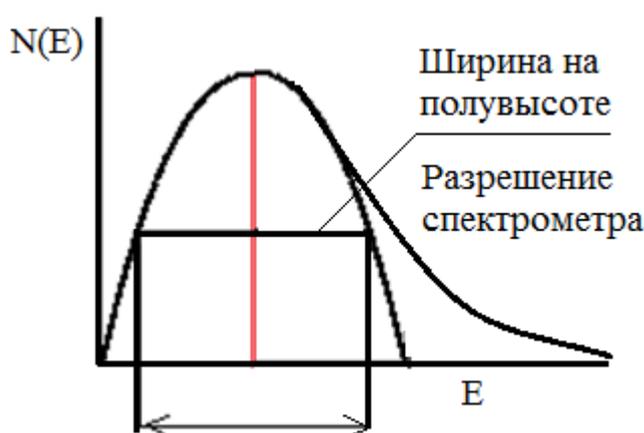


Рисунок – 14. принцип определения разрешения спектрометра для Al
Разрешение спектрометра и значение порогов представлено в таблице 3.

Таблица 3. Основные характеристики спектров времени жизни.

Материалы	“Start”, номер канала	“Stop”, номер канала	Разрешение спектрометра (FWHM), пс	Количество событий, 10^6
Al	2932	8187	2,4300	6.631
Fe	2923	8187	2,2219	4.918
Ni	2918	8187	2,2230	4.934
Cu	2918	8187	2,2900	3.405
Zn	2922	8187	2,1500	2.509
Zr	2900	8187	2,2210	4.950

Pb	2922	8187	2,2400	9.848
----	------	------	--------	-------

Из таблицы 3 видно, что разрешение спектрометра для разных материалов является относительно стабильным параметром. Совокупность схожих значений порогов обработки и стабильность разрешения спектрометра позволяет сравнивать результаты образцов и говорить о том, что спектры для всех образцов были набраны в равных условиях.

В таблице 4 представлены времена жизни позитронов, полученные экспериментально, и значения времени жизни позитронов в бездефектных материалах, согласно обзорной статье [22].

Таблица 4. Время жизни позитронов.

Материалы	Время жизни, пс	Время жизни, пс лит. данные [22]	Fit, χ^2
Al	166,84 ± 0,09	166 ± 2	1,0382
Fe	109,94 ± 0,09	110	0,9954
Ni	106,77 ± 0,05	105	1,0123
Cu	117,42 ± 0,03	122 ± 5	0,9967
Zn	149,48 ± 0,05	152	1,0262
Zr	160,50 ± 0,01	165 ± 5	1,0494
Pb	201,9 ± 0,1	200 ± 2	0,9920

По данным таблицы 4 можно сказать, что полученные времена жизни позитронов соответствуют временам жизни в бездефектных материалах (эталонных) в области погрешности, либо отличаются от таковых незначительно. Работа [22] отражает факт того что значение времени жизни позитронов зависит от температуры, при которой оно было измерено. Так для бездефектного магния время жизни позитронов, измеренное при температуре 77 К, составляет 220 ± 2 пс, при измерениях в других температурных условиях (300 К), время жизни имеет величину 225 пс.

Предполагается, что отклонение экспериментальных значений от значений из литературы вызвано различием температурного режима, в котором проводился эксперимент. На основе этого считается, что исследуемые образцы являются условно “бездефектными”, и они применимы для исследования вклада источника позитронов.

Критерий Карла Пирсона χ^2 (Fit) является распределением суммы квадратов независимых стандартных нормальных случайных величин. Данный критерий учитывает погрешность с точки зрения набора данных и статистики. В данной работе распределение представляет собой экспоненциальное распределение. Это действительно так потому, что плотность вероятности обнаружить позитрон вне образца задаётся уравнением:

$$P(x) = \begin{cases} te^{-tx}, & x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.1)$$

В котором t – время жизни позитрона, x – расстояние от поверхности образца, d – допустимая по условию (1.1) толщина образца.

Плотность вероятности определена из условий (1.1), (2.1). Настоящее распределение является непрерывным. Достоверность обработки экспериментальных данных определяется значением χ^2 . Чем значение ближе к 1, тем достовернее является обработка спектров [62]. По данным таблицы 4 значение χ^2 для всех материалов близко к 1. Это позволяет сказать, что обработка спектров проведена с высокой степенью достоверности.

Помимо времени жизни позитронов в решетке материалов, основной задачей настоящей работы было определить аннигиляционные характеристики в источнике позитронов. Полученные результаты отражены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Время жизни позитронов в источнике.

Область аннигиляции позитрона	Время жизни (время аннигиляции), пс	Интенсивность, %
Титановая фольга	$139,287 \pm 0,009$	50
Радиоактивная соль ($TiCl^4$)	$393,297 \pm 0,002$	42,7

Позитроний	$1349,950 \pm 0,004$	7,3
------------	----------------------	-----

Время жизни позитронов в титановой фольге соответствует времени жизни в бездефектном титане, по данным работы [22]. Значение времени жизни позитрония также согласуется с литературными источниками [63].

Таблица 6. Вклад источника позитронов.

Материалы	Порядковый номер, Z	Вклад источника, %
Al	13	$16,53 \pm 0,02$
Fe	26	$19,39 \pm 0,03$
Ni	28	$20,20 \pm 0,04$
Cu	29	$20,57 \pm 0,04$
Zn	30	$19,91 \pm 0,06$
Zr	40	$22,11 \pm 0,02$
Pb	82	$26,90 \pm 0,02$

Данные таблицы 6 показывают, что действительно имеется зависимость между характеристиками: вклад источника и порядковый номер материалов. Результаты таблицы 6 были аппроксимированы функцией (2.3) методом наименьших квадратов. Результат представлен на рисунке 15.

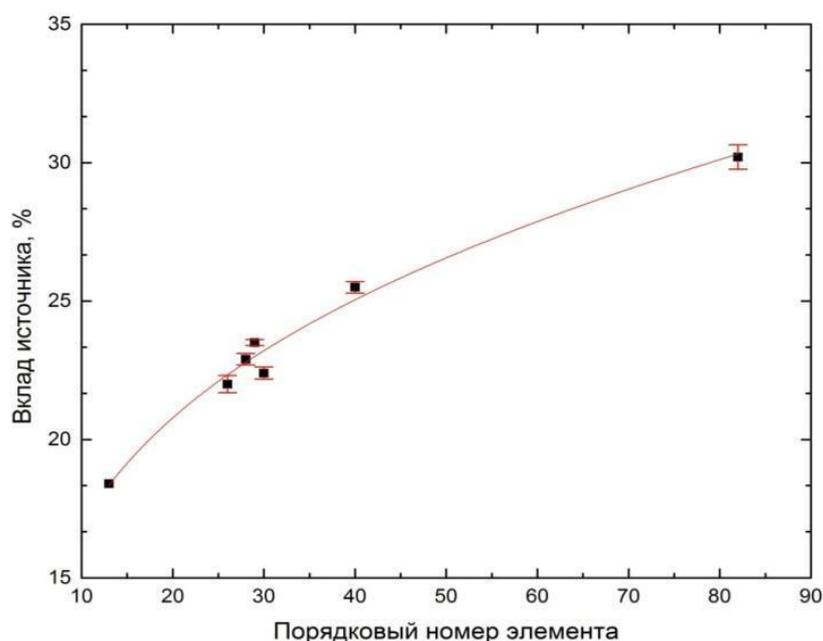


Рисунок – 15. График зависимости порядкового номера элемента от вклада источника

Аппроксимация позволила определить ранее неизвестные коэффициенты: $a = 2,76$; $b = -15$; $c = 2,7$; $d = 0,04$; $e = 8,8$. Погрешность аппроксимации программным пакетом Origin составила менее 2 %. В согласии с выбранной математической формулой (2.3) коэффициент e является свободным от Z . Его физический смысл представляет собой долю позитронов, аннигилирующих в самом источнике позитронов не зависимо от исследуемого образца.

Проделанная работа в значительной степени упрощает обработку спектров времен жизни позитронов и делает ее более корректной. Благодаря полученной зависимости вклада источника и порядкового номера элемента исследователь не нуждается в наличии эталонного материала того же состава что исследуемый образец. По найденной зависимости стало возможно достаточно точно определить вклад источника для материалов, имеющих смешанный состав. Пример применимости полученной зависимости рассмотрен в следующем разделе.

3.2. Исследование аннигиляции позитронов в образцах керамической бумаги Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 .

Согласно методики проведения эксперимента по аннигиляции позитронов в твердых образцах следует выполнить расчет допустимой толщины исследуемых образцов.

Расчет необходимой толщины образцов

1. Была оценена плотность материала, составившая 1,27 и 0,73 г/см³ для образцов Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 , соответственно.
2. Была выбрана необходимая толщина образцов 0,405 см (9 слоев бумаги) и 0,8 см (10 слоев бумаги) для образцов Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 , соответственно. При данной толщине, вероятность аннигиляции позитронов с максимальной энергией 1,47 МэВ в исследуемых образцах составляет 99,37 и 99,67 % для образцов Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 , соответственно.

Полученная вероятность является допустимой, следовательно, толщина образцов подходит для исследования методами ЭПА.

Для каждого материала было набрано по 2 спектра. Необходимость в нескольких спектрах определяется программным обеспечением. Так как в данной работе используется пакет Lt10 и аппроксимация экспериментальных данных осуществляется методом наименьших квадратов 2 спектра для одного материала является самым целесообразным количеством. Данное количество позволяет уменьшить долю некорректных значений и при этом не внести новые.

Для корректного анализа электронной структуры материалов необходимо четко разделить процессы, происходящие в исследуемом образце и в источнике. Другими словами, определить вклад источника. Полученная зависимость (Рисунок – 15) играет важную роль на данном этапе. При ее отсутствии исследователь должен использовать бездефектную копию изучаемых материалов.

Расчета вклада источника для указанных материалов

Вклад источника был рассчитан согласно эмпирической формуле:

$$S.C. = a * Z^b + c * \ln \ln (Z) + d * Z + e,$$

где Z – зарядовое число исследуемого материала, константы a , b , c , d , e для источника Ti^{44} составляют:

$$a = 2,76;$$

$$b = -15;$$

$$c = 2,7;$$

$$d = 0,07;$$

$$e = 8,8.$$

Значения Z для указанных материалов были рассчитаны и составили 10 и 15.33 для образцов Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 , соответственно.

Вклад источника для данных материалов был рассчитан и зафиксирован в программе по обработке спектров: 15,717 и 17,2444 для образцов Al_2O_3 и Ti_3SiC_2 , соответственно.

Далее необходимо было определить время жизни позитрона в исследуемых образцах. Для этого выполняется обработка спектров в программе Lt10 при зафиксированном значении вклада источника.

Обработка спектров

Спектры были обработаны с применением мультиэкспоненциальной модели со свободно-варьируемыми параметрами. Спектры раскладывались на три экспоненциальные компоненты, таблица 7.

Таблица 7. Разложение спектров времени жизни на экспоненциальные
компоненты.

Образец	Fit	I ₁ , %	τ ₁ , пс	I ₂ , %	τ ₂ , пс	I ₃ , %	τ ₃ , пс
Al ₂ O ₃ _1	1,0363	65,398	153,3	30,1	380	4,51	1720
Al ₂ O ₃ _2	1,0504	65,156	153,3	30,4	380	4,47	1720
Ti ₃ SiC ₂ _1	1,0042	56,1651	187,0	41,3	330	2,49	1400
Ti ₃ SiC ₂ _2	1,0470	56,1618	187,0	41,3	330	2,52	1400

В таблице 7 I_i – интенсивность аннигиляции позитронов в определенном состоянии, τ_i – время жизни позитронов в соответствующем состоянии, указанное в пс.

Из литературы известно, что время жизни позитронов в бездефектной решетке Al²O³ составляет 140-150 пс [64,65], в то время, как время жизни в вакансии Al в образце оксида алюминия составляет около 165 пс [66-68]. Полученное значение первой компоненты близко к времени жизни позитронов в бездефектной решетке. Значение второй компоненты соответствует аннигиляции позитронов в крупных вакансионных кластерах. Третья компонента говорит о наличии в образцах крупных пор.

Несмотря на то что аннигиляция позитронов в Ti₃SiC₂ практически не описана в литературе, состав компонент, полученный для Ti₃SiC₂ очень хорошо согласуется с составом компонент, полученных при исследовании Ti₃AlC₂ [69], где были получены две компоненты: 189 пс и 300 пс. В нашем случае значения времени жизни первой и второй компоненты составили 187 и 330 пс, соответственно. Значение первой компоненты близко к значению времени жизни позитронов в дислокации Ti 168-185 пс [70]. Значение второй компоненты соответствует времени жизни позитронов в вакансионных кластерах. Третья

компонента свидетельствует о наличии крупных пор в образцах, где может быть образован позитроний. Радиус данных пор может быть посчитан с применением модели Тао-Элдрупа.

Вывод

В ходе проделанной работы был проведен эксперимент по исследованию влияния атомного номера исследуемого образца на параметры позитронной аннигиляции в источнике позитронов. Была произведена коррекция вклада источника позитронов в спектр времени жизни и получена эмпирическая зависимость для источника позитронов на основе изотопа ^{44}Tl .

С применением полученной зависимости был произведен апробационный эксперимент по исследованию времени жизни позитронов в образцах керамической бумаги. Данное исследование проиллюстрировало область применения найденной зависимости вклада источника от порядкового номера исследуемого материала. Значение коэффициента Пирсона соответствует требованию: ≈ 1 . Это позволяет сказать, что используемое значение вклада источника близко к истинному. Представленная методика обработки временных спектров позитронов показывает, что найденная зависимость упрощает процесс обработки спектров, а также делает ее корректнее и удобнее.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Целью выполнения экономической части дипломной разработки является закрепление знаний по циклу экономической дисциплины, формирование навыков оценок конструкторской разработки, и поиск источников финансирования для проведения научного исследования. Нахождение состояния и перспектив научных исследований станет очень важной темой для разработчиков. Для определения коммерческой привлекательности научного исследования, кроме учета превышения технических параметров, но и необходимо определить цену продуктов, бюджет научного проекта и др.

Для достижения поставленной цели работы, необходимо решить следующие задачи:

1. Определить структуру работ в рамках научного исследования;
2. Определить трудоемкость выполнения работ;
3. Разработка графика проведения научного исследования;
4. Бюджет научно-технического исследования.

1. Организация и планирование работ

Для выполнения научно-исследовательской работы, необходимо формируется рабочая группа, которая состоит из научных сотрудников, преподавателей, лаборантов и студентов. Для каждого типа работы в плане, требуется определить соответствующих исполнителей.

Для достижения цели в данном разделе, составили перечень основных этапов, содержание работы и провели распределение исполнителей по каждому виду работ. Результат перечня этапов, работы и исполнителей представлен в таблице 4.1. Введены обозначения: НР- научный руководитель, С – студент, в

скобках указаны должности соответствующих исполнителей: Д- доцент, МНС – младший научный сотрудник.

Таблица 4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Исполнитель и должность
Постановка целей и задач	Составление и утверждение технического задания	НР (Д)
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	НР (Д) + С (МНС)
	Выбор направления исследования	НР (Д)
	Отработка навыков работы в программе Lt10	С (МНС)
	Календарное планирование работ по теме	НР (Д) + С (МНС)
Настройка спектрометра	Сбор установки	НР (Д) + С (МНС)
	Набор спектров времен жизни позитронов	НР (Д) + С (МНС)
	Калибровка	НР (Д) + С (МНС)
Подготовка образцов	Механическая полировка	С (МНС)
	Отжиг в вакуумной печи	НР (Д) + С (МНС)
Проведение эксперимента	Набор спектров	С (МНС)
	Предобработка текстовых файлов	С (МНС)
Анализ спектров	Обработка спектров в программном обеспечении Lt10	С (МНС)

Аппроксимация полученных данных	Аппроксимация математической моделью экспериментальных данных	С (МНС)
Сопоставление с литературными источниками	Анализ полученных результатов	НР (Д) + С (МНС)
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	Оформление графического материала	С (МНС)
	Составление пояснительной записки	С (МНС)
	Печать в соответствии с требованиями	С (МНС)

1.1. Продолжительность этапов работ

В большинстве научно-исследовательских работ, трудовые затраты представляет собой важную часть в оценке стоимости разработки. Таким образом, определение трудоемкости работы имеет необходимость для каждого участника в научном исследовании.

Для определения трудоемкости выполнения научной работы, применяется экспертный путь в человеко-днях. Трудоемкость зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому значение трудоемкости обладает вероятностным характером. Для оценки среднего значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-

дн; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.

Например: Трудоемкость выполнения первого этапа для научного руководителя:

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3*4+2*6}{5} = 4,8 \text{ чел. дн.}$$

Трудоемкость выполнения работы на этапе выбора исследования для студента:

$$t_{\text{ож}2} = \frac{3*7+2*6}{5} = 6,2 \text{ чел. дн}$$

После получения среднего значения трудоемкости, можно определить продолжительность для каждой работы T_p в рабочих днях. При расчете значения продолжительности, учитывается параллельность выполнения работы несколькими исполнителями. Для определения продолжительности используется выражение:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.2)$$

где $t_{\text{ож}}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в данной работе $K_{\text{вн}} = 1$;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{\text{д}} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель). В расчете указанный коэффициент принимается равным 1,2.

Например:

Продолжительность работы первого этапа для научного руководителя:

$$T_{\text{рд}1} = \frac{4,8}{1} * 1,2 = 5,76 \text{ раб. дн}$$

Продолжительность работы 2го этапа для студента:

$$T_{РД2} = \frac{6,2}{1} * 1,2 = 7,44 \text{ раб. дн}$$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} \quad (4.3)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Пример расчета продолжительности выполнения 1го этапа в календарных днях: $T_{КД1} = 5,76 * 1,205 = 6,94$ каендр. дн.

Результаты расчетов по формулам (4.1)-(4.3) для этапов перечисленных в таблице 4.1. представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Трудозатраты на выполнение проекта

Номер этапа	Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
						$T_{РД}$		$T_{КД}$	
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	Постановка задачи	НР	4	6	4,8	5,76	–	6,94	–
2	Выбор направления исследований	НР	6	5	5,6	6,72	-	8,1	-
		С	7	6	6,2	-	7,44	-	8,97
3	Настройка спектрометра	НР	12	15	13,2	15,84	15,84	19,09	19,09
		С	13	16	14,2	-	17,04	-	20,53
4	Подготовка образцов	НР	7	10	8,2	9,84	-	11,86	-
		С	15	25	19	-	22,8	-	27,47
5	Проведение эксперимента	С	20	60	28	-	33,6	-	40,49
6	Анализ спектров	С	7	14	9,8	-	11,76	-	14,25

7	Аппроксимация данных	С	10	20	14	-	16,8	-	20,24
8	Сопоставление с литературными источниками	НР	4	6	4,8	5,76	-	6,94	-
		С	3	4	3,4	-	4,08	-	4,92
9	Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	С	12	28	18,4	-	22,08	-	26,6
10	Подведение итогов	НР	2	5	3,2	3,84	-	4,63	-
		С	1	4	2,2	-	2,64	-	3,18
Итого:					155	47,76	154,08	57,56	185,67

Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{кд}$ позволяют построить линейный график осуществления – таблица 5.3.

НР – ; С – 

Таблица 4.3. Линейный график работ

Этап	НР	С	январь			февраль			март			апрель			май			июнь		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1	6,94	-	■																	
2	8,1	8,97		■	■															
3	19,09	20,53			■	■														
4	11,86	27,47				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	-	40,49					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	-	14,25											■	■	■	■	■	■	■	■
7	-	20,24																		
8	5,76	4,92																		
9	-	26,6																		
10	4,63	3,18																		

2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Данный расчет материальных затрат включает стоимость всех материалов, которые используются при разработке проекта:

1. Приобретаемые со стороны сырье и материалы, которые необходимы для создания научно-технической продукции;
2. Покупные материалы, которые применяются в процессе создания научно-технической продукции для того, чтобы обеспечить нормальный технологический процесс. Также запасные части для ремонта оборудования;
3. Покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, которые подвергаются в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
4. Сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований.

2.1. Расчет затрат на материалы

Материальные затраты, необходимые для данной работы, показаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Затраты на материал

Наим-е	Габариты , Единица измерени я см ³	Плотность , г/см ³	Кол- во	Цена за ед., Руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Al	0,35	2,7	2	50,53	101,06
Fe	0,177	7,87	2	60,20	120,4
Ni	0,08	8,91	2	71,3	142,6
Cu	0,1175	8,92	2	74,10	148,2

Zn	0,265	7,1	2	74,2	148,4
Zr	0,265	11,34	2	77,02	154,04
Pb	0,171	6,51	2	68,22	136,44
Шлифовальная бумага	шт.	-	14	60	840
Спирт	мл	-	100	0,096	9,6
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	150	Бумага для принтера формата А4	190
Соль TiCl ₄	Гр.		20	200	4000
Итого					6001,34

Указанные цены включают в себя затраты на транспортировку материалов. Расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции) рассчитаны ниже: $C_{\text{мат}} = 60001,34 * 1,05 = 6301,407$ руб. При допущении, что расходы ТЗР от отпускной цены материалов составляют 5%.

2.2. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и младшего научного сотрудника (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное

значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе. В расчете предполагается, что оба участника проекта работают по шестидневному плану рабочей недели.

Оклад по новой системе оплаты труда с 01.01.2017 г. для доцента со степенью кн составляет 33664,00 руб. без рк, с рк составляет 43763,20 руб. Оклад для младшего научного сотрудника без степени составляет 15470 руб. без рк, 20111 руб. с рк.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-г}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-г}} = MO/25,083$$

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}} \quad (4.5)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Результаты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.5.

Таблица 4.5. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэф-ент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664,00	1342,09	48	1,699	109 451,28
МНС	15470	770,30	154	1,62	192 174,44
Итого:					301 625,72

2.3. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}}$
 $C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} * 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц}} = 301\ 625,72 * 0,3 = 90\ 487,73$ руб.

2.4. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{ЦЭ} \quad (4.6)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{ЦЭ} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.2 для студента ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (4.7)$$

где K_t выбран исполнителем самостоятельно и равен 0,6, $T_{\text{рд}}$ – это общее число рабочих дней для студента равное 154.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_C \quad (4.8)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования выраженная кВт, которая в данной работе принята за 0,3 кВт. $K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. В данной работе за коэффициент берется значение 0,85.

Пример расчета для персонального компьютера (ПК):

Из принятых допущений мощность для персонально компьютера вычисляется как:

$$P_{\text{об}} = 0,3 * 0,85 = 0,255 \text{ кВт}$$

Время работы ПК рассчитано по формуле (4.7) при условии, что $T_{рд}$ равняется 154 раб. дней, в часах для восьмичасового дня это составит 1232 часов:

$$t_{об} = 1232 * 0,6 = 739,2 \text{ час}$$

Тогда согласно формуле (5.20), затраты на электроэнергию составят:

$$C_{эл.об} = 0,255 * 739,2 * 5,748 = 1083,48 \text{ руб}$$

Расчет для струйного принтера. В данной работе предполагается, что принтер использован, как студеном, так и научным руководителем. Общее $T_{рд}$ равно 1 рабочему дню, что в часах 8:

$$t_{об} = 8 * 0,6 = 4,8 \text{ час}$$

Номинальная мощность для принтера равна 0,12 кВт. В соответствии с (4.8) потребляемая мощность:

$$P_{об} = 0,12 * 0,85 = 0,1 \text{ кВт}$$

Затраты на электроэнергию для принтера составят:

$$C_{эл.об} = 0,1 * 4,8 * 5,748 = 3 \text{ руб}$$

Для сбора спектров использовался аналоговый спектрометр НЗ378 – 50, который также потреблял электроэнергию. На сбор спектров потребовалось 34 рабочих дня. Сбор данных происходил без перерывов. Это означает, что в пересчете на часы время работы оборудования составит:

$$t_{об} = 34 * 24 * 0,6 = 490 \text{ час}$$

Номинальная мощность спектрометра составляет порядка 0,17 кВт.

Потребляемая мощность:

$$P_{об} = 0,17 * 0,85 = 0,145 \text{ кВт}$$

Затраты на электроэнергию для работы спектрометра составляет:

$$C_{эл.об} = 0,145 * 490 * 5,748 = 408,4 \text{ руб}$$

Результаты расчетов затрат на электроэнергию необходимую для достижения цели дипломной работы отражены в таблице 4.9.

Таблица 4.9. Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Delta_{об}$, руб.

Персональный компьютер	739,2	0,255	1083,48
Струйный принтер	8	0,1	3
Аналоговый спектрометр	490	0,145	408,4
Итого:			1494,88

2.5. Расчет амортизационных расходов

В разделе произведены расчёты амортизации используемого оборудования за время выполнения исследовательской работы. В качестве расчетной формулы:

$$C_{AM} = \frac{N_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_d} \quad (4.9)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования (обратная величина СА);

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. В расчете F_d принимается равным за 303 раб. дня, что в часах 2424 часа (при 8ми часовой работе в день и шестидневной рабочей неделе) для 2019 года.

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Расчет амортизации для ПК. Стоимость ПК 45000 руб, время использования 1232 часа. Срок амортизации (СА) для ПК составляет 3 года. Обратная величина СА равна 0,33. F_d составляет 2424 часа. Расчет $C_{ам}$:

$$C_{AM}(ПК) = (0,33*45000*739*1)/2424 = 4\ 527 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для струйного принтера. Стоимость принтера 12000 руб., его $F_D = 100$ часов (использовался 2 года).; $N_A = 0,5$; $t_{pф} = 8$ час., тогда его $C_{AM}(Пр) = (0,5*12000*8*1)/100 = 480$ руб.

Расчет амортизации для аналогового спектрометра. Суммарная стоимость всех составляющих спектрометра принята за 30000 руб. Его F_D составляет 1224 часа. CA составляет 8 лет, соответственно N_A равно 0,125. $t_{pф} = 490$ час., тогда его $C_{AM}(Пр) = (0,125*30000*490*1)/1224 = 1\ 500$ руб. Итого начислено амортизации 6 508,23 руб.

2.6. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Данная научно-исследовательская работа полностью проводилась в лаборатории 3 корпуса ТПУ, научные и производственные командировки не предусматривались, поэтому затраты на них нулевые.

Не одно из используемых приборов/материалов не арендовалось. Затраты на услуги связи нулевые. В настоящей работе исполнители не прибегали к услугам сторонних организаций.

2.7. Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам} + C_{нп}) \cdot 0,1 \quad (4.10)$$

Где $C_{мат} = 6301,407$ руб., $C_{зп} = 301\ 625,72$ руб., $C_{соц} = 90\ 487,73$ руб., $C_{эл.об.} = 1\ 494,88$ руб., $C_{ам} = 6\ 508,23$ руб., $C_{нп} = 0$.

Таким образом прочие расходы составили 40 641,8 руб.

2.8. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта, таблица 4.10.

Таблица 4.10. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	6 301,407
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	301 625,72
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	90 487,73
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1 494,88
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	6 508,23
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	40 641,8
Итого:		447 059,77

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 447\ 059,77$ руб.

3. Оценка экономической эффективности проекта

Настоящая исследовательская работа представляет собой фундаментальное исследование. Перспективы использования полученных результатов за пределами лаборатории не определены. Поэтому невозможно оценить экономическую эффективность работы.

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

Условия труда являются безопасными, если исключено воздействие вредных или опасных производственных факторов, либо их воздействие не превышает установленные нормативы. Исполнители проекта обязаны соблюдать технику безопасности и в случае возникновения ЧС следовать согласно соответствующим инструкциям.

Данная дипломная работа проводилась с использованием такого оборудования, как установка Gas Reaction Controller LPB, фирмы Advanced Material, спектрометрического комплекса электрон-позитронной аннигиляции, ПЭВМ, микрометр. В работе использовалась электронно-вычислительная и измерительная аппаратура. Поэтому организация безопасной и безаварийной работы требует соблюдения производственной дисциплины, уверенности знания правил эксплуатации и техники безопасности, а также ясного представления об опасностях, возможных при выполнении работ.

Процесс исследовательской работы также характеризуется такими вредными факторами, как недостаток естественного освещения, недостаточная освещенность рабочего места, возможность короткого замыкания и поражение исследователя током.

В последующем исследовании рассмотрены и найдены решения для обеспечения удовлетворительных условий труда исследователя. Проведена характеристика производственных процессов, анализ вредных и опасных факторов при данном виде производственной деятельности и решению вопросов безопасности на основе требований, действующих нормативно-технических документов.

В процессе выполнения данной выпускной квалификационной работы было использовано несколько рабочих помещений. Часть работ, связанная с аналитической и расчетной деятельностью, проводилась в научно-учебной аудитории третьего корпуса ТПУ. Данное помещение оборудовано необходимой

техникой для выполнения исследований, использования стандартного и специфического программного обеспечения. В данном разделе для этого рабочего помещения будет приведен расчет таких производственных факторов, как освещенности и шума. Второе рабочее помещение представляет собой бункер в подвальном помещении лаборатории 3го корпуса ТПУ. Время работы в подвале существенно меньше чем в первой указанной зоне.

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства.

Настоящее исследование было четко ограничено временами рамками и для своевременного окончания работы над исследованием необходимо было работать по шестидневному графику. В соответствии с трудовым законодательством продолжительность рабочего времени не превышало 40 часов в неделю, что означает продолжительность работы за один день составляла чуть больше бти часов. На основании статьи 108 ТК РФ исполнителям проекта был представлен перерыв для отдыха и питания. Время на перерыв выбиралось исполнителями самостоятельно, однако его диапазон был регламентирован от 30 минут до 2 часов. Время перерыва в рабочее время не включается [76].

Обработка персональных данных работников проекта проводилась в соответствии на основе федерального закона 185. Передача персональных данных исполнителей третьим лицам не осуществлялась [76].

Большую часть времени работа выполнялась сидя. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех элементов соответствовала антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Условия труда не допускали регулирования высоты рабочей поверхности, однако была предусмотрена подставка для ног. Таким образом, обеспечивалось оптимальное положение работника в соответствии с ТК РФ [ГОСТ 12.2.032-78](#) ССБТ [77].

Основная работа производилась с помощью персонального компьютера. Так как компьютер представляет собой совокупность приборов: процессор, экран (дисплей), клавиатура и компьютерная мышь, необходимо выполнение эргономических требований. Так на используемую клавиатуру накладывались определенные требования: расположение клавиатуры должно обеспечивать оптимальную видимость экрана, клавиатура должна иметь возможность свободного перемещения и прочее. Требования к дисплею: расположение дисплея должно позволять различать изображение без необходимости изменения положения головы, дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора [78]. На протяжении всей работы выполнялись требования, регламентированные ГОСТ Р 50923-96 [79].

В соответствии с Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30 марта 1999 года N 52-ФЗ в процессе эксплуатации ПК соблюдались санитарные правила, оговоренные в [80].

К работе в лабораторных условиях допускались лица старше 18 лет прошедшие дополнительный инструктаж. При работе с радиоактивным источником работники имели средства индивидуальной защиты – свинцовый комбинезон и свинцовая шапка. При механической шлифовке образцов исполнители были соответствующе экипированы: плотные перчатки, очки, фильтрующая маска для дыхания. Все работы, проводившиеся в лаборатории, выполнялись строго с правилами, указанными в [81].

1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Используемое рабочее помещение имеет линейные размеры 5x8м и высоту 3 м, находится на первом этаже здания. Помещение имеет два окна размерами 1,8x1,5м, которые имеют расположение, обеспечивающее достаточное проникновение солнечного света. С противоположной от окон стороны находится дверной проем.

Помещение обеспечивает 3 рабочих места, оборудованных необходимой техникой, а именно персональными компьютерами. Расположение оборудования приведено на Рисунке 5.1.

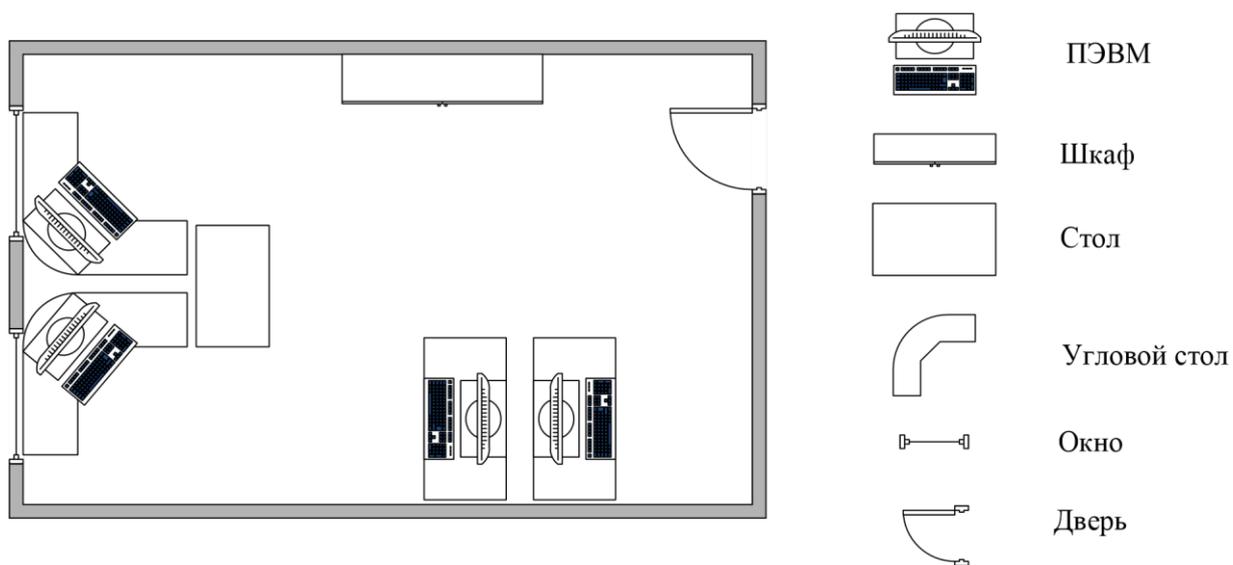


Рисунок – 5.1. Расположение оборудования

Расположение стула и границы рабочей поверхности составляет 350 мм. Положение столов обеспечивает проход слева/справа от стола 500 мм. Высота стола 725 мм, его форма прямоугольная без углублений. Протяженность стола около 500 мм. Высота сиденья составляет 400 мм. Подставка для ног имеет рифлёную поверхность и регулируемую высоту. Комбинация перечисленных объектов позволяет работать в соответствии с требованиями [82].

2. Производственная безопасность.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для данной исследовательской работы представлен в таблице 5.1 в соответствии с классификацией, регламентированной ГОСТ 12.0.003-2015 [78].

Таблица 5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ	Нормативные документы
---------	-------------	-----------------------

(ГОСТ 12.0.003-2015)	Пл ани ров ани е	Про вед ени е экс пер име нта	Анал из и офор млен ие резул ьтато в	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (1 октября 1996 г. N 21)
2. Превышение уровня шума		+	+	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
5.Влияние электромагнитного поля и возможность короткого замыкания	+	+	+	ГОСТ 30323-95 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания
6.Производственные факторы, связанные с повышенным		+		ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов

уровнем ионизирующих излучений, вызванным потоком бета-частиц				безопасности труда. Термины и определения
7.Радиоактивное загрязнение поверхностей и материалов производственной среды, включая средства защиты работающих и их кожные покровы		+		Федеральный закон № 3-ФЗ от 09 января 1996 г. «О радиационной безопасности населения»

2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Объект исследования настоящей работы является источник позитронов на основе радиоактивной соли $TiCl^4$. Источник позитронов представляет собой “сэндвич” из соли и титановой фольги, рисунок 2.

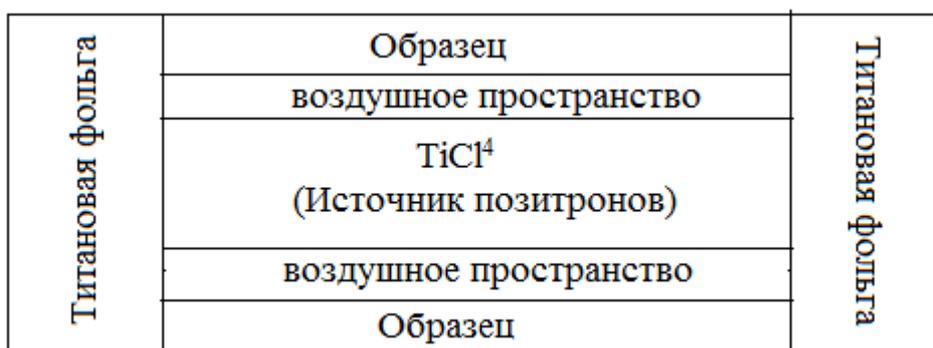


Рисунок – 5.2. Схематическое представление источника позитронов
Источник излучает бета-частицы – позитроны. Мощность источника составляет 2,5 МБк. При такой мощности и предусмотренной защищающей экипировки опасных факторов для жизни человека нет. Однако имеется накопительный эффект. Необходимо соблюдать временное ограничение при работе с источником. Допустимой величиной облучения является 0,2 микрозиверт в час. Время работы является не единственным ограничением.

Второе ограничение в соответствии с президентским постановлением № 162 запрещает брать на работу женщин «на тяжелые специальности и виды работ, которые могут быть травмоопасны и нанести вред здоровью», или же могут ослабить репродуктивные способности женщин [79].

При выполнении работ с радиоактивным источником выполнялись необходимые требования, а именно время работы с источником составляло не больше 4 часов в день и работающий персонал состоял из мужчин.

Рабочее место представляет собой свинцовый бункер, все содержимое, которого покрыто защищающей фольгой. Поэтому радиоактивное загрязнение поверхностей и материалов производственной среды скапливается непосредственно на фольге. Со временем с помощью дозиметра измеряют уровень радиации и в случае превышения нормы фольгу снимают и утилизируют в соответствии с требованиями [80]. В период исследовательской работы превышения нормы радиационного фона не наблюдалось.

2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Обработка результатов, ведение отчетности, а также планирование исследования производилось в рабочей зоне с ПК, рисунок 1. В помещении где расположена рабочая зона не имеется достаточно приборов для контроля микроклимата. Поэтому его значения часто отклонялись от норм.

Для полноценной работы сотрудников необходимо соблюдение нормального физиологических процессов в организме человека. Это возможно при соблюдении условия, если тепло выделяемое в помещении выделялось в окружающую среду. При соблюдении этого условия у сотрудника не возникает каких-либо ощущений термического дискомфорта - холода или перегрева.

1. Тип работ, выполняемых в рассматриваемом помещении, относится к категории Ia. Эти работы относятся к работам интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), которые производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением. Оптимальные величины показателей микроклимата приведены в таблице 5.2 [81].

Таблица 5.2. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	60-40	0,1

Постановление Правительства Российской Федерации от 5 июня 1994 года, N 625 “5.4. Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°С” не соблюдалось должным образом. Требования к относительной влажности воздуха для различных температур выполнялось в соответствии с [81]. Скорость движения воздуха не превышало нормы и имело среднее значение 0,1 м/с. Источниками теплового излучения служили батареи. Интенсивность такого излучения полностью регулировалась работниками.

В лаборатории осуществляется естественная и искусственная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери, а также через специальную систему контроля микроклимата. При такой системе вентиляции приточный воздух, поступающий в помещение через систему контроля микроклимата, проходит предварительную очистку.

Следующий негативный фактор – шум. Источниками шума в ходе исследовательской работы были: жесткий диск с уровнем шума 40 дБ, вентилятор ПК с 45 дБ, монитор с меньшим уровнем шума 17 дБ, клавиатура с 10 дБ, работа устройства трехмерного бесконтактного профилометра MicroMeasure 3D Station с высоким уровнем шума порядка 50 дБ.

Не одно оборудование и их совокупность не превышает предельно установленную величину в 60 дБА, что говорит о соблюдении уровня шума в рабочей зоне. В данном случае нет необходимости использовать средства коллективной защиты (СКЗ) от шума, такие как акустическая планировка

помещений или звукоизоляцию. Однако в целях снижения нагрузки на слуховые органы рабочих приветствуется использование средств индивидуальной защиты (СИЗ), такие как противошумные вкладыши (беруши) или наушники.

Негативный фактор, который присутствует на всех этапах выполнения работ - **отсутствие или недостаток естественного и искусственного света**. Качество освещения влияет на работоспособность сотрудника, на его психологическое состояние в процессе выполнения работ. Наиболее благоприятное влияние на состояние сотрудника оказывает преимущественно естественное освещение. Нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий представлены в СНиПе 23-05-95 [82].

Наиболее используемая рабочая зона обладает 2мя источниками естественного освещения – два окна, искусственное освещение реализуется с помощью 6 светильников с четырьмя люминесцентными лампами по 18 Вт.

Помимо этого, присутствует аварийное освещение. В данной рабочей зоне используется светильник накладной ЛПО 218/ЛПО 418, крепящийся на поверхность потолка, мощностью 4x18 Вт, производитель «Lightlux». Параметры светильника: 595x595x80 мм. Схема расположения светильников показана на рисунке 5.3.

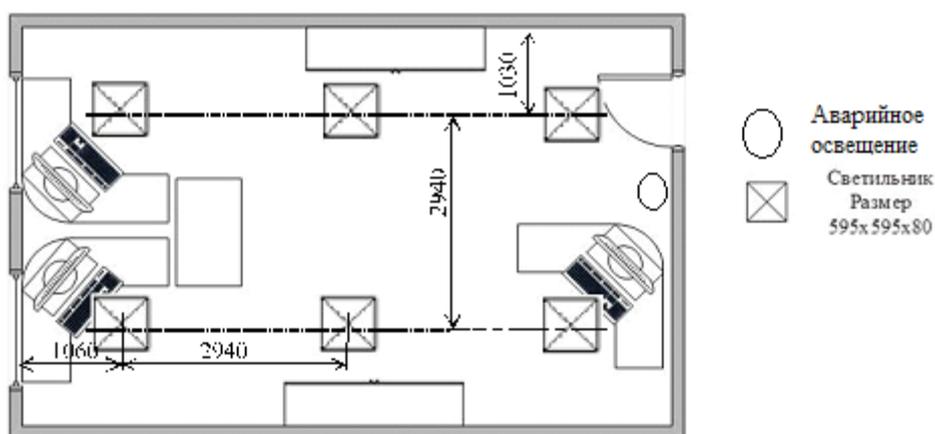


Рисунок – 5.3. План размещения светильников в помещении.
Размеры указаны в мм

В соответствии с требованиями по работе с ПК [75], при работе с экраном в сочетании с работой над документами наиболее оптимальной для работы с экраном является освещенность 300 лк. Используемые светильники позволяют добиться соответствующей освещенности.

В рабочей зоне – бункер естественное освещение полностью отсутствует. Это связано с тем что многие эксперименты должны проводится без влияния электромагнитного излучения. В бункере имеются источники искусственного освещения – светильники той же фирмы «Lightlux» и аварийная лампа, расположенная у выхода.

Использование коллективных средств защиты не требуется так, как в первой рабочей зоне освещённость удовлетворяет нормам СНиПе 23-05-95 [82], а во второй рабочей зоне необходимо соблюдать требования эксперимента. В качестве индивидуальных средств защиты можно использовать специальные компьютерные очки, настольные лампы, которые обеспечивают локализованную освещенность.

На всех этапах работ используются приборы, которые испускают **электромагнитное излучение**. К ним относятся: линии электропередач, экраны ПК, телекоммуникации и устройства для вещания, телефоны. В рассматриваемом помещении, основным источником электромагнитного излучения можно считать ПК, частоты излучения приведены в таблице 5.3 [83].

Таблица 5.3. Частоты излучения ПК.

Источник	Диапазон частот
Монитор: <ul style="list-style-type: none"> • Сетевой трансформатор блока питания • статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания • блок кадровой развертки и синхронизации • ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ) 	50 Гц
	20-100 кГц
	48-160 Гц
	0 Гц (Электростатика)

Системный блок	50 Гц – 1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20 – 100 кГц

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ [84] и СанПиН. Предельно допустимые значения плотности потока энергии электромагнитного поля составляют – 25 мкВт/см² в течение 8 часов, 100 мкВт/см² максимальное значение не превышает 1000 мкВт/см².

Электромагнитное поле с частотой от 60 кГц до 300 МГц нормируются отдельно по электрической и по магнитной составляющей, т.к. на этих частотах на человека действуют и электрическое, и магнитное поле. Для полей СВЧ диапазона (300 МГц - 300 ГГц) нормируют предельно-допустимую плотность потока энергии, которая не должна превышать 10 Вт/м² Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для ПК приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4. Предельно допустимые уровни электромагнитного поля.

Источник	Диапазон	Значение ПДУ
Видеодисплейный терминал ПЭВМ	5 Гц – 2 кГц	$E_{нды} = 25 \text{ В/м}$ $B_{нды} = 250 \text{ нТл}$
	2 – 400 кГц	$E_{нды} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{нды} = 25 \text{ нТл}$
	Поверхностный электростатический потенциал	$V = 500 \text{ В}$

На протяжении выполнения работ уровни электромагнитного поля не превышали предельно допустимых. Для защиты от негативного воздействия электромагнитного поля необходимо использовать оградительные устройства, которые представляют собой перегородки от рядом расположенного ПК.

При работе с приборами, которые работают от сети и подключены кабелями в сеть необходимо соблюдать технику безопасности согласно с [85]. При коротких замыканиях возможен летальный исход, поэтому необходимо

обезопасить себя и пройти дополнительный инструктаж. В настоящей работе такими приборами служат: аналоговый спектрометр, ПК.

Перед работой за электрическими приборами необходимо осмотреть состояние проводов и напряжения сети. Под ногами всегда должен находиться резиновый ковер. Согласно с классификацией [85] ПК относится к приборам 1го класса, спектрометр принадлежит классу 0. Оба прибора имеют заземление. При резких скачках напряжения сети в приборах предусмотрена система защиты – размыкание сети.

Для того чтобы коллективно защититься от поражения электрическим током необходимо использовать: устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения. Для индивидуальной защиты необходимо использовать резиновый ковер, при работе с кабелями спектрометра использовать специальные перчатки.

3. Экологическая безопасность.

3.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.

В силу того, что объектом исследования является радиоактивный источник позитронов возможно увеличение дозы радиации (ионизирующего излучения) [86]. Увеличение дозы излучения приводит к раковым опухолям, мутациям и летальным исходам.

При соблюдении требований по работе с радиоактивными источниками [98] негативный фактор снижается до допустимых значений.

3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

Все исследования проводились на ПК, поэтому негативных факторов, влияющих на окружающую среду, нет.

3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Согласно ГОСТ 23649-79 [98] каждый радиоактивный источник имеет свой паспорт, который содержит следующие данные: символ поставщика или

изготовителя; номер паспорта; обозначение типа; символ радионуклида и прочее. Транспортировка источников должно осуществляться всеми видами транспорта, кроме общественного, в соответствии с [89].

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

По причине нарушения герметичности упаковки (разрыв фольги) радиоактивная соль может просыпаться. Это вызовет резкое повышение ионизирующего излучения и радиоактивное загрязнение помещения. Работники получат дозу облучения не превышающую смертельную норму. Однако работать в таких условиях будет невозможно.

4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Так как большинство работ выполняется за ПК – электрическим прибором может произойти замыкание электрической цепи. По причине короткого замыкания могут случиться ЧС: пожар, поражение человека электрическим током.

4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Рассмотрим первую ЧС – разрыв защитной фольги. В первую очередь необходимо сообщить руководящему лицу о происшествии ЧС. Руководитель должен снарядить ответственного за предотвращение ЧС специальной униформой – свинцовым костюмом и защитными перчатками. Ответственный удаляет всю фольгу, которая покрывает все объекты в бункере. Утилизирует радиационные отходы в соответствии с [89].

При возникновении пожара в рабочей зоне с ПК необходимо сообщить руководителю и пожарной охране о происшествии. В случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение. Оповестить людей о пожаре – включить сигнализацию. При необходимости отключить электроэнергию.

Основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О пожарной безопасности" [90] и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [91].

При несчастном случае при пожаре необходимо: освободить пострадавшего от дальнейшего воздействия по-вреждающего фактора и оценить его состояние; определить характер и степень повреждения; произвести комплекс мероприятий по спасению пострадавшего (восстановить проходимость дыхательных путей, выполнить наружный массаж сердца и искусственную вентиляцию легких, остановить крово-течение, иммобилизовать место перелома); поддерживать основные жизненные функции пострадавшего до прибытия медицинского работника; вызвать медицинских работников (скорую помощь) либо при-нять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

В случае эвакуации необходимо следовать следующему плану, указанному на рисунке 5.4.:



Рисунок 5.4. План эвакуации для лаборатории 3го корпуса ТПУ.

При поражении человека электрическим током необходимо оказать помощь пострадавшему до прибытия врача согласно с инструкцией выданной перед началом работы. Для этого необходимо: положить пострадавшего на спину на твердую поверхность; проверить наличие у пострадавшего дыхания (определить по подъему грудной клетки, запотеванию зеркала и пр.); проверить наличие пульса на лучевой стороне у запястья или на сонной артерии на переднебоковой поверхности шеи; выяснить состояние зрачка, широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга; вызов врача по телефону 03 во всех случаях обязателен.

Вывод

В настоящем разделе были рассмотрены необходимые правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности в которых регламентируются условия труда, необходимые инструкции по работе со специальным оборудованием, а также гигиенические требования к организации работы.

В разделе представлен анализ опасных и вредных факторов производственной среды. К вредным факторам относится: воздействие электрического напряжения на организм человека, микроклимат, воздействие шума и высоких электромагнитных полей. К опасным фактором можно отнести: электробезопасность, термическую опасность и воздействие ионизирующего излучения.

К факторам рабочего места, влияющим на окружающую среду относится – радиоактивное загрязнение. Для предотвращения негативного влияния эксплуатации радиоактивного источника используются необходимые защитные капсулы, фольга, спец. одежда из свинца. Установка аналогового спектрометра ежегодно проходит поверку и аттестацию.

Помимо этого, в разделе рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на спектрометре, ПК и порядок действий при ЧС. Приведен план

эвакуации при пожаре и других чрезвычайных ситуациях из помещения, в котором проводились работы.

Список используемой литературы

1. Графутин В. И., Прокопьев Е. П. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества //Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – №. 1. – С. 67-83.
2. Nortier F. M. Large-scale production of isotopes at LANL. – Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States), 2010. – №. LA-UR-10-07702; LA-UR-10-7702.
3. Ищенко А. А. и др. Сверхбыстрая электронная дифракция и электронная микроскопия: современное состояние и перспективы //Успехи физических наук. – 2014. – Т. 184. – №. 7. – С. 681-722.
4. Slugen V. What kind of information we can obtain from positron annihilation spectroscopy? //European Commission EUR. – 2006. – Т. 22468. – С. 94.
5. T.N. Horsky, G.R. Brandes, K.F. Canter, C.B. Duke, S.F. Horng, A. Kahn, D.L. Lessor, A.P. Mills, A. Paton, K. Stevens, K. Stiles, Phys. Rev. Lett. 62 (1989) 1876, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.62.1876>.
6. Hasegawa, Y. Nagai, Z. Tang. Positron annihilation techniques. 32nd Course of the International School of Solid State Physics: Radiation Effects in Solids. July 19-28, 2004.
7. Čížek J. Characterization of lattice defects in metallic materials by positron annihilation spectroscopy: A review //Journal of Materials Science & Technology. – 2018. – Т. 34. – №. 4. – С. 577-598.
8. Bloomfield M., Bennet F. G. Reactor kinetics: a bibliography. – Atomics International Div., North American Aviation, Inc., Canoga Park, Calif., 1959. – №. NAA-SR-3808.
9. Perkins A., Carbotte J. P. Effect of the positron-phonon interaction on positron motion //Physical Review B. – 1970. – Т. 1. – №. 1. – С. 101.
10. Jensen K. O., Walker A. B. Positron thermalization and non-thermal trapping in metals //Journal of Physics: Condensed Matter. – 1990. – Т. 2. – №. 49. – С. 9757.
11. Nieminen R. M., Oliva J. Theory of positronium formation and positron emission at metal surfaces //Physical Review B. – 1980. – Т. 22. – №. 5. – С. 2226.

12. Vanhala H., Soininen H., Kukkonen I. Detecting organic chemical contaminants by spectral-induced polarization method in glacial till environment //Geophysics. – 1992. – Т. 57. – №. 8. – С. 1014-1017.
13. Mascher P., Dannefaer S., Kerr D. Positron trapping rates and their temperature dependencies in electron-irradiated silicon //Physical Review B. – 1989. – Т. 40. – №. 17. – С. 11764.
14. Mascher P., Dannefaer S., Kerr D. Positron trapping rates and their temperature dependencies in electron-irradiated silicon //Physical Review B. – 1989. – Т. 40. – №. 17. – С. 11764.
15. Čížek J. et al. Hydrogen-vacancy complexes in electron-irradiated niobium //Physical Review B. – 2009. – Т. 79. – №. 5. – С. 054108.
16. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Springer Science & Business Media, 1999. – Т. 127.
17. Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Графутин В.И., Мясищева Г.Г., Фунтиков Ю.В. Позитроника ионных кристаллов, полупроводников и металлов. Монография. -М.: МИЭТ, 1999. -176 с.
18. Лотков А. И., Батулин А. А. Позитронная спектроскопия В2-соединений титана: электронная структура, точечные дефекты и мартенситные превращения //Томск: Изд-во НТЛ.–2004. – 2004.
19. Wang Y. et al. The influence of amorphous Al₂O₃ coating on hydrogen uptake of materials //Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – Т. 464. – №. 1. – P. 13-16.
20. Gorodetsky A. E. et al. Interaction of hydrogen with radiation defects in metals //Journal of Nuclear Materials. – 1980. – Т. 93. – С. 588-593.
21. Tamura M., Noma M., Yamashita M. Characteristic change of hydrogen permeation in stainless steel plate by BN coating //Surface and Coatings Technology. – 2014. – Т. 260. – С. 148-154.
22. Campillo Robles J. M., Plazaola F. Collection of data on positron lifetimes and vacancy formation energies of the elements of the periodic table //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications, 2003. – Т. 213.

23. Jakub Cizek. Investigation of Crystal Lattice Defects in Deformation and Irradiation Damaged Solids by Means of Positron Annihilation. – Prague. – 2001. – P. 98.
24. Mohamed Elsayed. The appearance of vacancies during Cu and Zn diffusion in III-V compound semiconductors. – Halle. – 2011. – P. 135
25. Puska M. J., Corbel C., Nieminen R. M. Positron trapping in semiconductors //Physical Review B. – 1990. – T. 41. – №. 14. – C. 9980-10000.
26. J. Mäkinen, C. Corbel, P. Hautojärvi, P. Moser, and F. Pierre, Phys. Rev. B 39, 10162 (1989).
27. J. Mäkinen, P. Hautojärvi, and C. Corbel, J. Phys.: Condens. Matter 4, 5137 (1992).
28. J.M. Campillo Robles, F. Plazaola, Defect Diffus. Forum 213-215 (2003) 141–235.
29. Y.K. Park, J.T. Waber, M. Meshii, C.L. Snead, C.G. Park, Phys. Rev. B 34 (1986) 823–836.
30. L.C. Smedskjaer, M. Manninen, M.J. Fluss, J. Phys. F: Met. Phys. 10 (1980) 2237–2250.
31. K. Sato, T. Yoshiie, T. Ishizaki, Q. Xu, Phys. Rev. B 75 (2007) 094109.
32. H. Häkkinen, S. Mäkinen, M. Manninen, Phys. Rev. B 41 (1990) 12441–12453.
33. P. Hautojärvi, C. Corbel, Positron spectroscopy of solids, in: A. Dupasquier, A.P. Mills (Eds.), Proc. Int. School of Physics ‘Enrico Fermi’(Varenna), IOS Press, Amsterdam, 1995, pp. 491–532.
34. J. Cířek, Ě. I. Procházka, T. Kmjec, Ě. P. Vostry, Ě. Phys. Stat. Sol. A 180 (2000) 439–458.
35. G. Dlubek, Mater. Sci. Forum 13-14 (1987) 11–32.
36. J. Cířek, Ě. I. Procházka, J. Kocík, Ě. E. Keilová, Phys. Stat. Sol. A 178 (2000) 651–662.
37. Howell R. H., Rosenberg I. J., Fluss M. J. Production and use of low-energy, monoenergetic positron beams from electron linacs //Applied Physics A. – 1987. – T. 43. – №. 4. – C. 247-255.
38. Segers D. et al. Beam handling with a penning trap of a linac-based slow positron beam //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: 92

- Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1994. – Т. 337. – №. 2-3. – С. 246-252.
39. Бреховских В. В., Горев В. В. Получение позитронов с использованием пучка электронов //Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2014. – №. 3 (31).
40. Stein T. S., Kauppila W. E., Roellig L. O. Production of a monochromatic, low energy positron beam using the $^{11}\text{B} (p, n) ^{11}\text{C}$ reaction //Review of Scientific Instruments. – 1974. – Т. 45. – №. 7. – С. 951-953.
41. Yang Yu. Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy Studies of Amorphous and Crystalline Molecular Materials. – 2011. –P. 115.
42. E. W. Bodnaruk. Nuclear Engineering (North Carolina State University, Raleigh, North Carolina). – 2008.
43. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Источники энергии и эволюция звезд //Ядерная физика. М.: Наука. – 1980. – С. 599.
44. Bosnar D. et al. Applications of positron annihilation spectroscopy //Proceedings of International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, 4-8 May 2009, Vienna. – 2009.
45. Asoka-Kumar P. et al. Increased elemental specificity of positron annihilation spectra //Physical Review Letters. – 1996. – Т. 77. – №. 10. – С. 2097.
46. C. Hohenemser, J.M. Weingart, S. Berko, Phys. Lett. A 28 (1968) 41–42.
47. S. Berko, M. Haghoie, J. Mader, J. Mader, Phys. Lett. A 63A (1977) 335–338.
48. P.J. Schultz, K.G. Lynn, Rev. Mod. Phys. 60 (1988) 701–779. 28.
49. Ch. Hugenschmidt, Surf. Sci. Reports 71 (2016) 547–594.
50. Coleman, Positron Beams and Their Applications, Word Scientific Publishing, Singapore, 2000.
51. P. Hautojärvi, Introduction to positron annihilation, in: P. Hautojärvi (Ed.), Positrons in Solids, Springer-Verlag, Berlin, 1979, pp. 1–24.
52. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron annihilation in semiconductors: defect studies. – Springer Science & Business Media, 1999. – Т. 127.

53. Bisi A., Faini G., Gatti E., Zappa L. Positron lifetime in metals. - Phys. Rev. Letters. – 1960. – 2, V5. – P. 59-60.
54. Abdel-Hady E. E. Application of the Positron Lifetime Spectroscopy to the Study of Microstructural Defects in Steel. - Egypt. J. Sol. – 2003. – 2, V26. – P. 165-174.
55. Иванов Ю.Ф., Итин В.И., Лыков С.В. и др. Структурно-морфологические основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий// Известия РАН Металлы. – 1993. – №3. –С. 132 -140.
56. Reino Aavikko. Positron Lifetime Spectroscopy: Digital Spectrometer and experiments in SiC. – Helsinki University of Technology. - 2006. – P. 52.
57. Бордулев Ю. С. и др. Оптимизация параметров спектрометра для исследования времени жизни позитронов в материалах //Современные наукоемкие технологии. – 2013. – №. 8-2. – С. 184-189.
58. Gedcke D.A., McDonald W.J. Design of the constant fraction of pulse height trigger for optimum time resolution. Nuclear Research Center, Physics Department, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada. Nucl. Instr. and Meth. 58(2): 253 (1968).
59. В. И. Графутин, Е. П. Прокопьев, УФН, 2002, том 172, номер 1, 67–83.
60. Giebel D., Kansy J. LT10 program for solving basic problems connected with defect detection. Physics Procedia. - 2012. - 35. - P. 122 – 127.
61. Čížek J. et al. Annealing process in quenched Al-Sn alloys: A positron annihilation study //Physical Review B. – 2005. – Т. 71. – №. 6. – С. 064106.
62. Cochran W. G. The χ^2 test of goodness of fit //The Annals of Mathematical Statistics. – 1952. – С. 315-345.
63. Tao S. J. Positronium annihilation in molecular substances //The Journal of Chemical Physics. – 1972. – Т. 56. – №. 11. – С. 5499-5510.
64. Hasegawa M, Nagashima Y, Kawashima K, Hyodo T, Yamaguchi S, Forster M and Schaefer H-E 1994 Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 91 263.
65. Xu J, Somieski B, Hulett L D, Pint B A, Tortorelli R and Ohdaira T 1997 Appl. Phys. Lett. 71 3165.

66. M. Forster, W. Claudy, H. Hermes, M. Koch, K. Maier, J. Major, H. Stoll, and H.-E. Schaefer, Mater. Sci. Forum 105–110, 1005 (1992).
67. M. Forster, W. Claudy, H. Hermes, M. Koch, K. Maier, J. Major, H. Stoll, and H.-E. Schaefer, Mater. Sci. Forum 105–110, 1005 (1992).
68. HANS-ECKHARDT SCHAEFER, MARTIN FORSTER, As-grown Metal Oxides and Electron-irradiated Al₂O₃ Studied by Positron Lifetime Measurements, Materials Science and Engineering, A109 (1989) 161-167.
69. Wesley H. K. Ng et.al., Ti₃AlC₂ MAX-phase as an efficient catalyst for oxidative dehydrogenation of n-butane, Angew. Chem. Int. Ed. 10.1002/anie.201702196.
70. N. M. Nancheva, K. Saarinen, G.S. Popov. Positron Annihilation in Shock Loaded Titanium, Phys. Stat. sol. (a) 95, 531 (1986).
71. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 1.04.2019).
72. [ГОСТ 12.2.032-78](#) ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
73. [ГОСТ Р 50948](#).
74. [ГОСТ Р 50923-96](#). Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
75. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
76. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
77. [ГОСТ 12.2.032-78](#) ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
78. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

79. Постановление Правительства РФ от 25 февраля 2000 г. N 162 "Об утверждении перечня тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда женщин": <http://base.garant.ru/181761/#ixzz5o0w2fjBc>
80. Постановление Правительства РФ от 10.09.2012 N 899 "Об утверждении Положения о передаче радиоактивных отходов на захоронение, в том числе радиоактивных отходов, образовавшихся при осуществлении деятельности, связанной с разработкой, изготовлением, испытанием, эксплуатацией и утилизацией ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения".
81. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России, Москва. – 1997.
82. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. N 18-78.
83. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
84. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
85. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
86. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах

- и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
87. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
88. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
89. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. N 190-ФЗ "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"
90. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. N 190-ФЗ "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.
91. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г.