

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт международного образования и языковой коммуникации
Направление подготовки 03.03.02 Физика
Кафедра Общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Позитронная спектроскопия дефектной структуры сплавов циркония Э110 и Э125 после термического упрочнения

УДК 669.296:539.143.43

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Му Юйчэнь		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

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
Доцент	Пустовойтова М. И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общая физика	Лидер А. М.	к.ф.-м.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 03.03.02 Физика,
квалификация - бакалавр

Код Результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13,), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий	Требования ФГОС (<i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности	Требования ФГОС (<i>ОК-12, ОК-16, ОК-21, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-7</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС (<i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт – Международного образования и языковой коммуникации
 Специальность – 03.03.02 «Физика»
 Кафедра – Общей физики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Лидер А.М.
 (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
150Б20	Му Юйчэнь

Тема работы:

Позитронная спектроскопия дефектной структуры сплавов циркония Э110 и Э125 после термического упрочнения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Объектом исследования являлась дефектная структура циркониевого сплава после термического упрочнения.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Обзор литературы по дефектам в твердых телах, радиационно-индуцированным дефектам и их взаимодействию. Обработка и обсуждение экспериментальных данных по применению позитронной спектроскопии для исследования дефектной структуры сплавов циркония после деформации и термического упрочнения в сплавах циркония Э110 и Э125. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» Раздел «Социальная ответственность»
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ассистент КОФ ФТИ	Бордулев Ю. С.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Му Юйчэнь		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Му Юйчэнь

Институт	Международного образования и языковой коммуникации	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

*Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):
материально-технических, энергетических,
финансовых, информационных и человеческих*

Нормы и нормативы расходования ресурсов

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

*Оценка коммерческого потенциала, перспективности и
альтернатив проведения НИ с позиции
ресурсоэффективности и ресурсосбережения*

*Планирование и формирование бюджета научных
исследований*

*Определение ресурсной (ресурсосберегающей),
финансовой, бюджетной, социальной и экономической
эффективности исследования*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Оценка конкурентоспособности технических решений

Альтернативы проведения НИ

График проведения и бюджет НИ

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.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Му Юйчэнь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Му Юйчэнь

Институт	Международного образования и языковой коммуникации	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: 1) вредных проявлений факторов производственной среды 2) (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) 3) опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) 4) негативного воздействия на окружающую природную 5) среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) 6) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа проводилась в лаборатории на подвальном этаже в третьем корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Позитронная спектроскопия радиационных дефектов в циркониевом сплаве. В процессе возникли следующие вредные факторы: - превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений - отклонение показателей микроклимата в помещении - превышение уровней шума; - недостаточная освещенность рабочей зоны; и опасный фактор – электрический ток. В работе возникают отходы спирта, которые могут вызвать загрязнение гидросферы. Возможно, возникают пожар и взрыв газовых баллонов, и пожар в процессе работы.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	- СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. - СанПиН 2.2.4.548 – 96. - ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. - ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. - СанПиН 2.2.2/2.4.1340– 03.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: 1) физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; 2) действие фактора на организм человека; 3) приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); 4) предлагаемые средства защиты 5) (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	В связи с работой насоса в лаборатории возникло превышение уровней шума. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума принято считать: 55 децибел (дБ) в дневное время и 40 децибел (дБ) ночью. Одним из средств защита от шума балансировка вращающихся деталей, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач, применение соответствующей смазки.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей	Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер.

<i>последовательности</i> 1) механические опасности (источники, средства защиты); 2) термические опасности (источники, средства защиты); 3) электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 4) пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА). Основные коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств. Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок.
3. Защита в чрезвычайных ситуациях: 1) перечень возможных ЧС на объекте; 2) выбор наиболее типичной ЧС; 3) разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 4) разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 5) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	В связи с использованием высокой температуры в процессе выполнения работы имитации радиационных дефектов, существует опасности пожара и взрыва. Чтобы избежать такой опасности необходимы следующие мероприятия: 1) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 2) наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о пожаре и взрыве; 3) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1) специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 2) организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	1.Организационные мероприятия обеспечения безопасности. 2.Особенности законодательного регулирования проектных решений.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Му Юйчэнь		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Международного образования и языковой коммуникации

Специальность – 03.03.02 Физика

Уровень образования – Бакалавриат

Кафедра – Общей физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.05.2016	Обзор литературы	30
01.06.2016	Экспериментальная часть	30
04.06.2016	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20
04.06.2016	Раздел «Социальная ответственность»	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ассистент КОФ ФТИ	Бордулев Ю. С.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер А. М.	к.ф.-м.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 93 с, 13 рис., 21 табл., 42 источника литературы.

Ключевые слова: Циркониевые сплавы Э110 и Э125, радиационные дефекты, методы электрон-позитронной аннигиляции.

Объектом данного исследования являются дефектная структура в сплавах цирконии Э110 и Э125.

Цель работы – исследование дефектной структуры циркониевого сплава после термического упрочнения.

В процессе исследования проводились измерения спектров времени жизни позитронов и Допплеровского уширения аннигиляционной линии. Установлено влияние термического упрочнения на аннигиляционные параметры образцов сплавов циркония Э110 и Э125.

В результате исследования было определено время жизни позитрона в дислокации циркония (236 пс). Метод имитационного отжига, разработанный в ВНИИНМ имени А. А. Бочвара показал формирование вакансий и дислокаций в сплаве Э125 и дислокаций в сплаве Э110. Концентрация дефектов после термической обработки для сплава Э125 оказалась выше, чем для сплава Э110.

Степень внедрения: 1) По результатам выполненных исследований сделан доклад на XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», которая проходила в Томске с 26 по 29 апреля 2016 года. 2) По результатам выполненных исследований сделан доклад на VIII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», которая проходила в Томске с 1 по 3 июня 2016 года.

В первой главе описано влияние дефектов (актуальные проблемы) в ядерном материаловедении и физические основы методов

электрон-позитронной аннигиляции.

Во второй главе описаны исследуемые материалы и методы их исследования, а также экспериментальные результаты и обсуждения.

В третьей главе описан финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В четвертой главе описана социальная ответственность проведенного исследования.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	15
1 Теоретическая часть	17
1.1 Типы дефектов в твердых телах	17
1.1.1 Нульмерные дефекты	17
1.1.2 Одномерные дефекты	18
1.1.3 Двумерные дефекты	19
1.1.4 Трёхмерные дефекты	20
1.2 Радиационные дефекты в циркониевых сплавах	21
1.2.1 Условия образования радиационных дефектов	21
1.2.2 Источник дефектов	22
1.2.3 Радиационный рост	23
1.2.4 Радиационное распухание	23
1.2.5 Радиационные упрочнение и охрупчивание	24
1.2.6 Радиационная ползучесть	25
1.3 Методы позитронной аннигиляции для исследования дефектов	26
1.3.1 Позитрон	26
1.3.1.1 Источники позитронов	29
1.3.1.1.1 β -распад	29
1.3.1.1.2 Космические лучи	30
1.3.1.1.3 Рождение электрон-позитронных пар	31
1.3.2 Физические основы методов позитронной аннигиляции	33
1.3.2.1 Электрон-позитронная аннигиляция	33
1.3.2.2 Термализация позитрона	33
1.3.2.3 Диффузия позитрона	34
1.3.2.4 Методы исследования	34
1.3.2.4.1 Спектрометрия времени жизни (СВЖ) позитронов	34

1.3.2.4.2 Спектрометрия Допплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ)	35
2 Экспериментальная часть	37
2.1 Материалы и методы исследования	37
2.1.1 Циркониевый сплав и подготовка образцов	37
2.1.2 Влияние деформации на показатели позитронной аннигиляции	38
2.1.3 Влияние отжига на дефектную структуру	40
2.1.4 Методы исследования	40
2.1.4.1 Спектрометр времени жизни позитронов	41
2.1.4.2 Спектрометр Допплеровского уширения аннигиляционной линии	42
2.2 Результаты и обсуждения	44
2.2.1 Исследование деформированных образцов	44
2.2.1.1 Анализ ДУАЛ	44
2.2.1.2 Анализ СВЖ позитронов	47
2.2.2 Исследование образцов после отжига	49
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	52
3.2 Анализ конкурентных технических решений	54
3.3 Структура работ в рамках научного исследования	57
3.4 Определение трудоемкости выполнения работ	60
3.5 Разработка графика проведения научного исследования	61
3.6 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	65
3.7 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	67
3.8 Заработная плата исполнителей темы	68
3.9 Отчисления во внебюджетные фонды	69
3.10 Накладные расходы	70
3.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	71
3.12 Определение эффективности исследования	72
3.13 Выводы по финансовой части	74

4 Социальная ответственность	75
4.1 Проблемы безопасности	75
4.2 Техногенная безопасность	77
4.2.1 Микроклимат	77
4.2.2 Электромагнитные поля	79
4.2.3 Электрическое напряжение	80
4.2.4 Воздействие высокой температуры	80
4.3 Региональная безопасность	81
4.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	82
4.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений	83
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
4.7 Выводы по социальной ответственности	86
Заключение	87
Список использованных источников	89

Введение

Циркониевые сплавы находят применение в качестве конструкционных материалов в ядерной энергетике. В частности, сплав Zr1Nb применяется для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в водо-водяных энергетических реакторах (ВВЭР). В процессе эксплуатации, в оболочках ТВЭЛов образуются дефекты от двух источников. Во первых, оболочки ТВЭЛов подвергаются облучению нейтронами и накапливают в себе радиационные дефекты. Во вторых, водород проникает в оболочки ТВЭЛов и создает в них т.н. водород-индуцированные дефекты [1]. Данные факторы приводят к снижению срока эксплуатации ТВЭЛов в ядерных реакторах (ЯР). Таким образом, исследование радиационных дефектов и водород-индуцированных дефектов в сплавах Zr1Nb является актуальной задачей для продления срока службы оболочек ТВЭЛов. Объектом данного исследования являются радиационные дефекты.

Для исследования дефектной структуры, в данной работе применялись методы электрон-позитронной аннигиляции. Электрон-позитронная аннигиляция (ЭПА) это процесс преобразования между массой и энергией частиц. Методы ЭПА используют аннигиляционное излучение конденсированной материи для того чтобы получить информацию о микроструктуре, распределении электронов по импульсам и типах дефектов в материале. Методика позитронов имеет много преимуществ в изучении вещества. Она обеспечивает неразрушающий метод, потому что информация передается через аннигиляционное излучение. При реализации данных методов нет необходимости в специальной подготовке образцов. Самым главным преимуществом методов ЭПА является их высокая чувствительность к изменениям дефектной структуры материалов (10^{-7} вакансий/атом) [2].

Для того чтобы проводить исследования радиационных дефектов материала, необходимо проводить облучение материалов на реакторе в течение

длительного срока. Данные эксперименты требуют много финансовых и временных затрат. В связи с этим актуальной проблемой также является разработка методов имитации радиационных дефектов. Один из таких методов имитации был разработан на базе ВНИИНМ им. А.А. Бочвара [3]. При имитации, исследователи из данного центра ориентируются на механические свойства материала, которые после имитации становятся идентичными механическим свойствам материала после облучения. Однако, на сегодняшний момент не известно о реальном состоянии дефектной структуры материала после подобных имитационных экспериментов.

Таким образом, **целью** данной работы является: исследование дефектной структуры циркониевого сплава после воздействия, имитирующего радиационное разрушение.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. определение времени жизни позитрона в дислокациях циркония.
2. определение соотношения различных типов дефектов в образцах после имитации.

1 Теоретическая часть

1.1 Типы дефектов в твердых телах

Дефект - это место кристаллической решетки, отличающееся от идеальной кристаллической структуры. Когда высокоэнергетические частицы (быстрые нейтроны) взаимодействуют с металлом, они обеспечивают передачу энергии атому и способствуют изменению его расположения в кристалле (формируются вакансии).

Дефекты можно условно разделить на три типа.

- 1) Нульмерные дефекты (точечные дефекты);
- 2) Одномерные дефекты (линейные дефекты);
- 3) Двумерные дефекты (плоские дефекты);
- 4) Трёхмерные дефекты (объемные дефекты) [4].

1.1.1 Нульмерные дефекты

Точечный дефект также называется нульмерным дефектом. Нульмерный дефект - это локальное нарушение в кристаллической структуре. Размер точечных дефектов примерно равен одному или нескольким (немногим) межатомным расстояниям во всех трех измерениях.

Нульмерные дефекты можно условно разделить на несколько основных типов:

- 1) вакансии – это свободное место в кристаллической решетке;
- 2) межузельный атом – это атом, который был выбит из первоначального места и находящийся в междоузлиях кристаллической решетки.
- 3) примесный атом замещения – это атом примеси, который замещает место атома основного вещества в кристаллической решетке. В позициях замещения могут находиться атомы, которые по своим размерам и электронным свойствам относительно слабо отличаются от основных атомов [4].

4) примесный атом внедрения – это примесный атом, который располагается между кристаллическими ячейками.

Так как частицы находятся в постоянном движении, дефект является неизбежным. Пока температура кристалла выше абсолютного нуля, атомы в кристалле будут в постоянном движении, и их взаимодействие с окружающими атомами достигает равновесия. При повышении температуры, энергия движения атомов увеличивается, поэтому атомы имеют шанс выйти из положения равновесия и создать дефекты. Эти точечные дефекты, полученные из-за теплового движения, являются тепловыми дефектами. Тепловой дефект может быть представлен в двух основных формах: дефекты Френкеля и дефекты Шоттки [5].

1.1.2 Одномерные дефекты

Одномерные (линейные) дефекты представляют собой дефекты кристалла, размер которых по одному направлению много больше параметра решетки, а по двум другим - соизмерим с ним. К линейным дефектам относят дислокации и дисклинации. Общее определение: дислокация - граница области незавершенного сдвига в кристалле. Дислокации характеризуются вектором сдвига (вектором Бюргерса), углом ϕ между ним и линией дислокации [4].



Рисунок 1. Схематическое изображение винтовой дислокации [6]

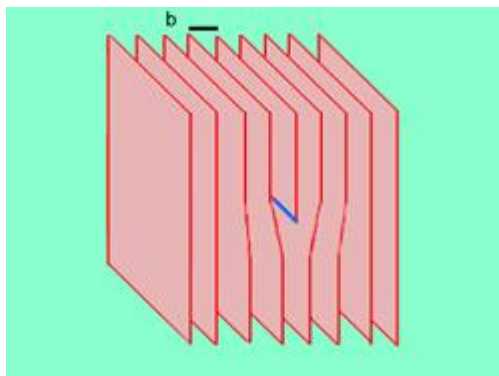


Рисунок 2. Схематическое изображение краевой дислокации [6]

Винтовая дислокация - это тип дислокации, в которой $\phi = 0$ (рисунок 1); краевая дислокация - это тип дислокации, в которой $\phi = 90^\circ$ (рисунок 2); смешивание двух типов (винтовой и краевой) дислокации приводит к разным дислокациям с разными углами. Основным процессом создания дислокации является процесс роста кристалла. Кроме этого, дислокации также могут возникать в процессе пластической деформации и многих других случаях. Их распределение и поведение при внешних воздействиях определяют важнейшие механические свойства, в частности, такие как прочность, пластичность и др. Дисклинация — граница области незавершенного поворота в кристалле. Характеризуется вектором поворота [4].

1.1.3 Двумерные дефекты

Основными двумерными дефектами (плоские дефекты) являются межзеренные границы и межфазные границы. Для описания двумерных дефектов, необходимо знать, что такое зерно. Зерно — это нерегулярный кристалл, который был создан в ограниченном пространстве. Поэтому зерна имеют различную форму.

Между зёрнами создается свободное пространство. Пространство между зёрнами чистого металла называется межзеренной границей. Пространство между зёрнами разных структур или химических составов называется межфазной границей. Межзеренные границы можно разделить на два типа.

Если угол между зернами больше чем 15° , то границы зерен являются большеугловыми границами зерен. Если угол между зернами меньше чем 15° , то границы зерен являются малоугловыми границами зерен [7]. Свободный объем создаваемый большеугловыми границами зерна больше свободного объема создаваемого малоугловыми границами зерна.

1.1.4 Трехмерные дефекты

Трехмерные дефекты – это объёмные дефекты. К ним относятся скопления вакансий, образующие поры и каналы; частицы, оседающие на различных дефектах (декорирующие), например пузырьки газов, скопления примесей в виде секторов (песочных часов) и зон роста. Как правило, это поры или включения примесных фаз. Представляют собой конгломераты из многих дефектов. Происхождение - нарушение режимов роста кристалла, распад пересыщенного твердого раствора, загрязнение образцов. В некоторых случаях (например, при дисперсионном твердении) объемные дефекты специально вводят в материал, для модификации его физических свойств [4].

Самый обычный трёхмерный дефект является кластер. Кластер – это результат процессов объединения одиночных вакансий. Этот процесс является преобразованием между микро- и макроструктурами.

1.2 Радиационные дефекты

Циркониевые сплавы используются в качестве конструкционных материалов в ядерной энергетике. В процессе ядерной реакции, оболочки ТВЭЛов подвергаются облучению нейтронами и накапливают в себе структурные радиационные дефекты. Радиационное повреждение оболочек ТВЭЛов, вызванное потоком нейтронов является причиной изменений линейных размеров компонентов реактора, радиационного распухания и деформации материала. Таким образом, в данной работе были исследованы радиационные дефекты в сплавах циркония для защиты и прогнозирования структуры ТВЭЛов в ядерной реакторе.

1.2.1 Условия образования радиационных дефектов

Атомы, которые получили энергию от ионизирующего излучения, вылетают из своих положений и оказывают влияние на другие атомы, образуя большое количество точечных дефектов. Например, смещенные атомы и рассеянные атомы. Они вместе образуют другие типы дефектов. Например, зона смещения и зона обеднения (рисунок 3).

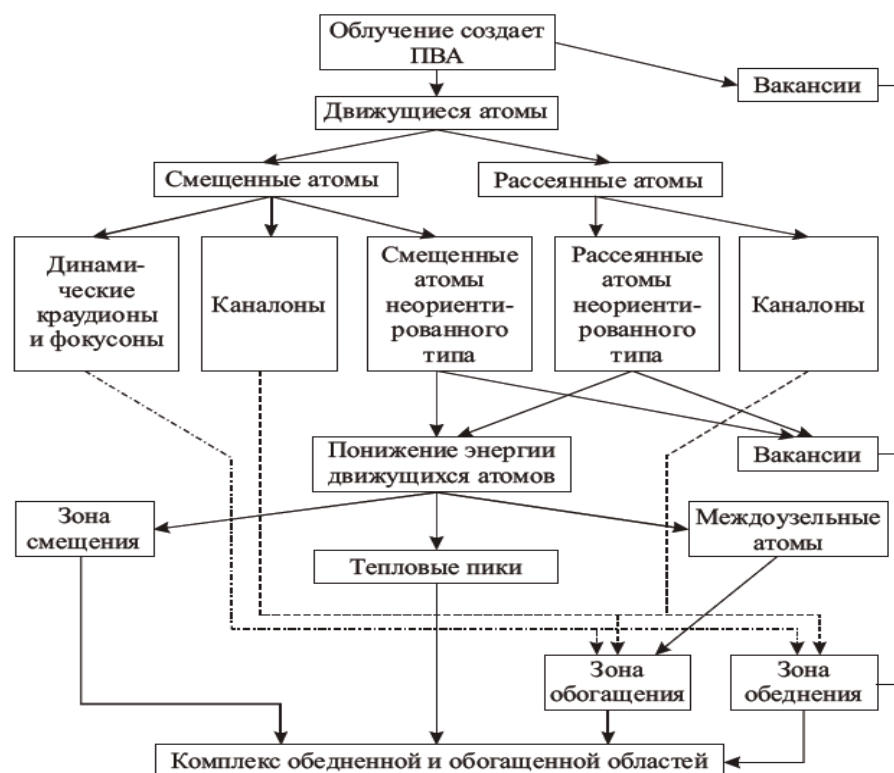


Рисунок 3. Схема создания радиационных дефектов [8]

Известно, что если энергия нейтронов больше чем 14 – 35 эВ [9] (для циркония 25 – 27 эВ) [10], то когда нейтроны падают на металл, они могут создать дефекты. Энергия тепловых нейтронов (медленных нейтронов) примерно равна 0,025 эВ [11]. Поэтому радиационные дефекты не создаются тепловыми нейтронами. Поэтому в реакторе на тепловых нейтронах, радиационные дефекты создаются в процесс падения быстрых нейтронов на металл.

1.2.2 Источник дефектов

В реакторе нейтроны создают радиационные дефекты. Ядерные реакторы могут быть классифицированы по энергии нейтронов. Если энергия нейтронов больше чем 0,1 МэВ, то эти нейтроны являются быстрыми нейтронами. Если энергия нейтронов примерно 0,025 эВ, то эти нейтроны являются тепловыми нейтронами [11].

Когда нейтрон поглощается ядром U^{235} , создаются ядра U^{236} . U^{236}

является неустойчивым, поэтому он претерпевает распад на несколько нейтронов и других ядер. Эти нейтроны будут поглощаться другими ядрами U^{235} . Эта реакция называется цепной реакцией, она изображена на рисунке 4.

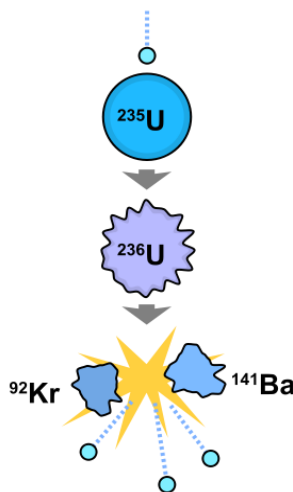


Рисунок 4. Цепная реакция U^{235} [12]

При делении U^{236} создаются быстрые нейтроны (энергия $> 0,1$ МэВ). Эти нейтроны, проходя через замедлитель (воду) теряют свою энергию до примерно $0,025$ эВ (тепловые нейтроны). После этого, эти нейтроны поглощаются U^{235} и создают U^{236} . Перед тем как быстрые нейтроны проходят через замедлитель, они проходят через циркониевый ТВЭЛ и создают радиационные дефекты в данном материале. Процесс образования радиационных дефектов в материале ухудшает физико-механические свойства материала и приводит к негативным эффектам, описанным в разделе 1.2.3 – 1.2.6.

1.2.3 Радиационный рост

Радиационный рост – это деформация, которая определяет степень радиационных воздействий на материал, при отсутствии напряжений [13]. Радиационный рост – это следствие процесса накопления точечных дефектов на поверхности зерна. Таким образом, объём точечных дефектов становится

больше объёма атомов, вследствие чего увеличивается объём материала [14].

Под явлением радиационного роста понимается анизотропное изменение размеров кристаллов в условиях облучения без приложения внешней нагрузки. Явление радиационного роста свойственно анизотропным материалам. Например, радиационный рост зависит от флюенса нейтронов, длительности облучения, температуры и исходного состояния циркониевого сплава [13]. Зависимость радиационного роста металлов от флюенса носит сложный характер, свидетельствующий о смене механизма роста с увеличением флюенса. Кроме того, в процессе облучения на развитие радиационного роста оказывают влияние релаксация макронапряжений в холоднодеформированных образцах, изменение плотности металла. При высокой температуре монокристалл растёт интенсивнее поликристалла. Цирконий, удлиняется вдоль оси a и сокращаются вдоль оси c [15].

1.2.4 Радиационное распухание

Проблема радиационного распухания в ядерной энергетике включает в себя два аспекта.

Во первых, данная проблема регистрируется для оболочек ТВЭЛов. С этой точки зрения - радиационное распухание это увеличение удельного объема стали или сплава, используемого в конструкциях ядерного реактора, вследствие образования в структуре пор и межузельных атомов при взаимодействии с потоками быстрых нейтронов (образованных при реакции деления ядер, их энергия 0,1-10 МэВ). [16].

Во вторых, данная проблема также наблюдается для топлива. В этой области радиационное распухание обусловлено в основном двумя факторами:

- 1) Когда атомные ядра делятся, плотность материала уменьшается и объём увеличивается, на два атома.
- 2) Деление ядер создает элементы инертных газов. Эти газы собираются в пузырьки и вызывают распухание материала [14].

1.2.5 Радиационное упрочнение и охрупчивание

Когда скольжение дислокаций становится больше, сопротивление этому скольжению также становится больше. Обедненная зона и точечные дефекты также оказывают влияние на него. Это приводит к упрочнению металла. Дефекты будут снижать температуру, при которой в металлах ударная вязкость превращается в хрупкость. Кроме того, при высоких температурах, часть газа будет растворяться в металле. Например, гелий и водород образуют гелий- и водородное охрупчивание соответственно. Это называется радиационным упрочнением и охрупчиванием [14].

Относительно природы явления радиационного упрочнения к настоящему времени более или менее утвердились два объяснения, в одном из которых упрочнение связывается с тем, что создаваемые при облучении радиационные дефекты являются дополнительными центрами закрепления дислокаций и снижают эффективность действия источников дислокаций, а в другом – с образованием в кристаллической решетке дефектов–барьеров, препятствующих движению дислокаций в своих плоскостях скольжения [17].

1.2.6 Радиационная ползучесть

Ползучесть материалов — медленная, происходящая с течением времени деформация твёрдого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения [18].

Когда металл нагревают неравномерно, в нем появляются механические напряжения. Если напряжение меньше предела текучести материала, оно будет создавать ползучесть. Когда температура выше, чем $0,3T_{пл}$, ползучесть будет значительной [14].

1.3 Методы позитронной аннигиляции для исследования дефектов

Методы позитронной аннигиляции (ПА) являются самыми чувствительными методами для исследования дефектной структуры в твердых телах. Помимо этого, данные методы представляют собой неразрушающий метод контроля дефектной структуры.

1.3.1 Позитрон

Позитрон — античастица электрона, имеющая одинаковый, но противоположный по знаку заряд, остальные характеристики такие же, как и у электрона.

История развития методов позитронной аннигиляции началась 86 лет назад и делится на несколько этапов.

В 1928 году Поль Адриен Морис Дирак впервые предложил существование позитрона. В теории Дирака показан не только электрон, который имеет отрицательный электрический заряд, но и аналогичная частица, которая имеет положительный заряд. В то время существование позитрона еще не было подтверждено, поэтому такой вывод считался как «лишнее решение» уравнений Дирака. Однако позитронное открытие явилось первой победой данной теории.

В теории Дирака показано, что существует связь между электроном и позитроном (электрон-позитронная пара). Позитрон может аннигилировать с электроном. В этом процессе должны появиться два фотона, которые имеют сумму энергии $2 \times 0,511$ МэВ. Поскольку были известны естественные радиоактивные вещества, испускавшие γ -кванты с энергией больше 1 МэВ, представлялось возможным получить позитроны в лаборатории, что и было сделано. Экспериментальное сравнение свойств позитронов и электронов показало, что все физические характеристики этих частиц, кроме знака электрического заряда, совпадают [19].

Позитрон был открыт в 1932 году американским физиком Андерсоном

при наблюдении космического излучения с помощью камеры Вильсона, помещённой в магнитное поле. Он сфотографировал следы частиц, которые очень напоминали следы электронов, но имели изгиб под действием магнитного поля, противоположный следам электронов, что свидетельствовало о положительном электрическом заряде обнаруженных частиц. Вскоре после этого открытия, также с помощью камеры Вильсона, были получены фотографии, проливающие свет на происхождение позитронов: под действием γ -квантов вторичного космического излучения позитроны, рождались в парах с обычными электронами. Такие свойства вновь открытой частицы оказались в поразительном согласии с уже имевшейся релятивистской теорией электрона Дирака. В 1934 году Ирен и Фредерик Жолио-Кюри во Франции открыли ещё один источник позитронов — β^+ -радиоактивность.

Название «позитрон» придумал сам Андерсон. Андерсон также предлагал переименовать электроны в «негатроны»; этот термин в отношении электронов по-прежнему используют в случаях, когда электроны и позитроны рассматриваются совместно; в этих случаях термин «электрон» часто относят к обеим частицам — электрону (негатрону) и позитрону.

Позитрон оказался первой открытой античастицей. Существование античастицы электрона и соответствие суммарных свойств двух античастиц выводам теории Дирака, которая могла быть обобщена на другие частицы, указывали на возможность парной природы всех элементарных частиц и ориентировало последующие физические исследования. Такая ориентация оказалась необычайно плодотворной, и в настоящее время парная природа элементарных частиц является точно установленным законом природы, обоснованным большим числом экспериментальных фактов [19].

Хронологически история развития антиматерии (античастиц) можно охарактеризовать следующими событиями [20]:

- 1929 год – Теория Дирака предсказала существование позитрона.

- 1932 год – Андерсон открывает экспериментально существование позитрона.
- 1934 год – MoHrovicic предсказывает существование связанного состояния электрона и позитрона.
- 1937 год – L. Simon и K. Zuber открыли образование электрон-позитронных пар.
- 1945 год – A. Eruark предложил имя Позитроний (Ps) для связанного состояния электрона с позитроном.
- 1945 год – A. Ore высказывает модель Ore, которая является моделью образования позитрония в газе.
- 1951 год – M. Deutsch экспериментально подтвердил существование позитрония.
- 1953 год – R. E. Bell и R. L. Graham измерили сложный спектр аннигиляции позитронов в твердом теле.
- 1956 год – R. A. Ferrell предложил усовершенствование модели Ore об образовании позитрония в твердых телах и жидкостях.
- 1974 год – O. E. Mogensen высказывает Spur модель образования позитрония (Ps).

Позитрон относится к антивеществу, имеет электрический заряд $+1$, спин $1/2$, лептонный заряд -1 и массу, равную массе электрона. При аннигиляции позитрона с электроном их масса превращается в энергию в форме двух (и гораздо реже — трёх и более) гамма-квантов.

Позитроны возникают в одном из видов радиоактивного распада (позитронная эмиссия), а также при взаимодействии фотонов с энергией больше $1,022$ МэВ с веществом. Последний процесс называется «рождением пар», ибо при его осуществлении фотон, взаимодействуя с электромагнитным

полем ядра, образует одновременно электрон и позитрон. Также позитроны способны возникать в процессах рождения электрон-позитронных пар в сильном электрическом поле [19].

1.3.1.1 Источники позитронов

В настоящее время известны три распространенных способа получения позитронов:

- 1) β -распад;
- 2) космические лучи;
- 3) рождение электрон-позитронных пары.

β -распад является наиболее распространенным методом, используемым в настоящее время.

1.3.1.1.1 β -распад

β -распад — тип радиоактивного распада, обусловленный слабым взаимодействием и изменяющий заряд ядра на единицу, без изменения массового числа. При этом ядро излучает бета-частицу (электрон или позитрон), а также нейтральную фундаментальную частицу с полуцелым спином (электронное антинейтрино или электронное нейтрино, соответственно). Если распад происходит с испусканием электрона и антинейтрино, он называется «бета-минус-распадом» (β^-). В случае распада с испусканием позитрона и нейтрино — «бета-плюс-распадом» (β^+). Кроме β^- и β^+ -распадов, к бета-распадам относят также электронный захват, когда ядро захватывает атомный электрон и испускает электронное нейтрино. Нейтрино (антинейтрино), в отличие от электронов и позитронов, крайне слабо взаимодействует с веществом и покидает точку распада, унося с собой часть выделившейся при распаде энергии [21]. На рисунок 5 представлена схема β -распада радиоизотопа ^{44}Ti .

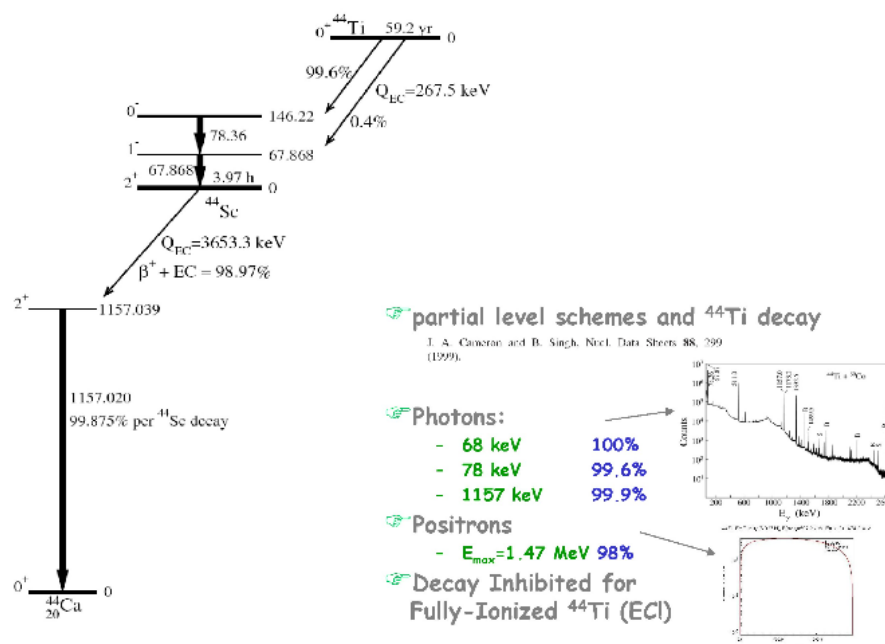


Рисунок 5. Схема распада ^{44}Ti [22]

1.3.1.1.2 Космические лучи

Космические лучи — элементарные частицы и ядра атомов, движущиеся с высокими энергиями в космическом пространстве. Именно в ходе исследования космических лучей был открыт позитрон (рисунок 6).

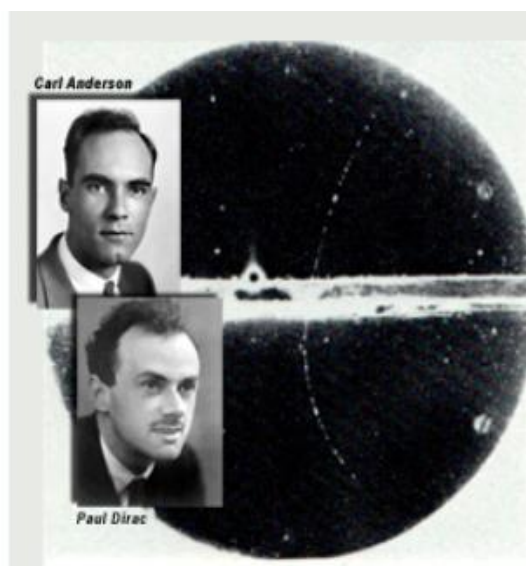


Рисунок 6. Карл Андерсон, Поль Дирак, и след позитрона наблюдается в камере Вильсона [23]

Космические лучи являются составляющей естественной радиации (фоновой радиации) на поверхности Земли и в атмосфере.

До развития ускорительной техники космические лучи служили единственным источником элементарных частиц высокой энергии. Так, позитрон и мюон были впервые найдены в космических лучах.

Химический спектр космических лучей в пересчете энергии на нуклон более чем на 94 % состоит из протонов, ещё на 4 % — из ядер гелия (альфа-частиц). Есть также ядра других элементов, но их доля значительно меньше. В пересчете энергии на частицу доля протонов составляет около 35 %, доля тяжёлых ядер соответственно больше.

По количеству частиц космические лучи на 90 % состоят из протонов, на 7 процентов — из ядер гелия, около 1 % составляют более тяжелые элементы, и около 1 процент приходится на электроны.

Позитрон был впервые найден в космических лучах. В 1932 г Андерсон исследуя космические лучи, обнаружил позитрон в камере Вильсона, что является первым использованием данного метода для получения позитрона [24].

1.3.1.1.3 Рождение электрон-позитронных пар

Рождение пар — в физике элементарных частиц обратный аннигиляции процесс, в котором возникают пары частица- античастица (реальные или виртуальные). Для появления реальной пары частиц закон сохранения энергии требует, чтобы энергия, затраченная в этом процессе, превышала удвоенную массу частицы. Минимальная энергия E_p , необходимая для рождения пары данного типа, называется порогом рождения пар. Кроме того, для рождения реальной пары необходимо выполнение других законов сохранения, применимых к данному процессу. Так, законом сохранения импульса запрещено рождение в вакууме реальной электрон – электрон-позитронной пары (или пары любых других массивных частиц) одним фотоном, поскольку

единичный фотон в любой системе отсчёта несёт конечный импульс, а электрон-позитронная пара в своей системе центра масс обладает нулевым импульсом.

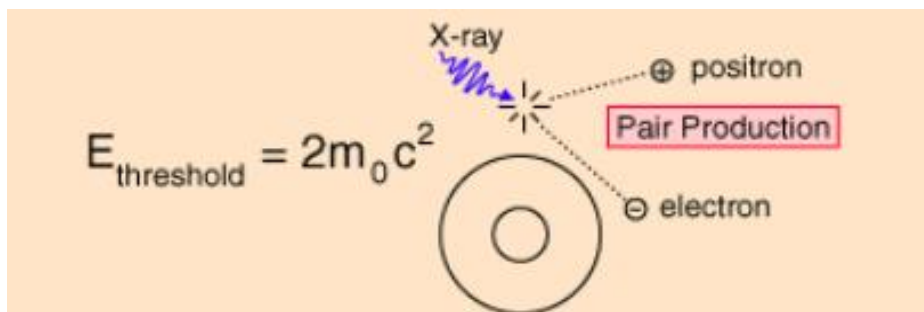


Рисунок 7. Производство пары электрон-позитрон [25]

Рождение электрон-позитронных пар при взаимодействии гамма-кванта с электромагнитным полем ядра (в сущности, с виртуальным фотоном) является преобладающим процессом потери энергии гамма-квантов в веществе при энергиях фотонов более 3 МэВ (при более низких энергиях действуют в основном комптоновское рассеяние и фотоэффект, при энергиях ниже $E_p = 2m/c^2 = 1,022$ МэВ рождение пар вообще отсутствует). Вероятность рождения пары в таком процессе пропорциональна квадрату заряда ядра.

Рождение электрон-позитронных пар гамма-квантами (в камере Вильсона, помещённой в магнитное поле для разделения треков электрона и позитрона) впервые наблюдали Ирен и Фредерик Жолио-Кюри в 1933 г, а также Патрик Блэккетт, получивший в 1948 г за это и другие открытия Нобелевскую премию по физике [26].

1.3.2 Физические основы методов позитронной аннигиляции

Использование аннигиляции позитронов в спектроскопии для изучения электронной и дефектной структуры имеет ряд преимуществ. Методы ЭПА обеспечивают неразрушающий инструмент исследования. Помимо этого, важнейшей характеристикой методов ЭПА является их высокая чувствительность к структурным дефектам в материале.

1.3.2.1 Электрон-позитронная аннигиляция

Электрон-позитронная аннигиляция - это относительно новая технология ядерной физики. Электрон-позитронная аннигиляция является процессом преобразования между массой и энергией. Техника электрон-позитронной аннигиляции в настоящее время превратилась в инструмент исследования внутренней структуры материала – ЭПА.

Когда позитроны рождаются, они попадают в материал. После этого происходят процессы термализации и диффузии (описано ниже). После этого наблюдается процесс электрон-позитронной аннигиляции, в результате которого испускаются два фотона.

1.3.2.2 Термализация позитрона

Термализация позитрона это процесс, во время которого позитрон теряет энергию в веществе до теплового уровня.

Когда позитроны попадают в материал, в течение примерно 1 пс в процессах неупругого рассеяния атомов, уменьшающих энергию позитронов до тепловой энергии (около 0,025 эВ) [27].

Время термализация позитрона значительно меньше, чем время жизни позитрона. Таким образом, время термализации вносит наименьший вклад во время жизни позитронов.

1.3.2.3 Диффузия позитрона

После термализации позитрона следует процесс диффузии позитрона. Диффузионная длина составляет около 100 нм. Если в процессе диффузии происходит аннигиляция с электронами, происходит излучение двух или трех фотонов. Благодаря инвариантности квантовой электродинамики, можно получить соотношение событий аннигиляции, в результате которых излучается два и три фотона, соответственно 371: 1.

1.3.2.4 Методы измерений

В настоящее время, методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА), являются самыми чувствительными методами для исследования дефектной и электронной структуры материалов.

Эти методы называются:

- 1) спектрометрия времени жизни позитронов, (СВЖП);
- 2) метод угловой корреляции аннигиляционных фотонов. (УРАФ);
- 3) спектрометрия Допплеровского уширения аннигиляционной линии. (ДУАЛ);
- 4) медленный пучок позитронов.

В данной работе были использованы первый и третий методы из перечисленных выше.

1.3.2.4.1 Спектрометрия времени жизни (СВЖ) позитронов

Спектрометрия времени жизни позитронов (метод временного распределения аннигиляционных фотонов) может предоставить информацию о плотности электронов и структурных дефектов.

Спектр времени жизни позитронов является распределением времени жизни позитронов.

С помощью данного эксперимента можно получить распределение электронов в образце для изучения дефектных структур образца. Поэтому

можно предоставить информацию о плотности электронов и структурных дефектов.

Полученный экспериментальный спектр можно описать через выражение:

$$y(t) = R(t) * N(t) + B$$

$y(t)$ - это полученный спектр. $N(t)$ - это теоретический спектр. $R(t)$ - это функция разрешения, B - это уровень фона.

Теоретический спектр можно описать следующей функцией:

$$N(t) = \sum_{i=1}^n I_i \exp(-\lambda_i t)$$

Эксперимент в основном используется в физике металлов и других областях.

1.3.2.4.2 Спектрометрия Допплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ)

Спектрометрия Допплеровского уширения аннигиляционной линии может предоставить информацию о импульсе и энергии электронов и получить информацию о микроскопических изменениях в веществе.

Есть два параметра для описания спектра Допплеровского уширения аннигиляционной линии.

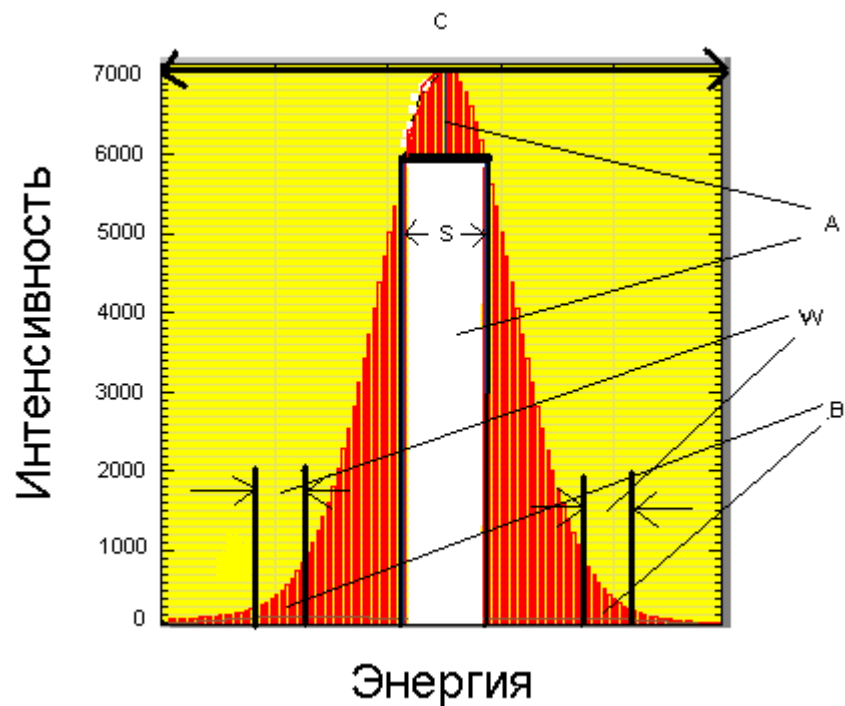


Рисунок 8. Пример спектра доплеровского уширения аннигиляционной линии

$$S = A / C, W = B / C.$$

Параметр S , так называемый валентный параметр аннигиляции, отражает низкие импульсы электронов. Параметр W , является параметр аннигиляции ядра, рассматривается в области высокого импульса спектра. Точки пересечения двух кривых (бездефектного и пластически деформированного образца) - это предел интервала A [28].

С помощью данного эксперимента можно получить распределение электронов в образце для изучения микроскопической структуры образца.

2 Экспериментальная часть

2.1 Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования в данном эксперименте были выбраны сплавы циркония Э110 (Zr1Nb) и Э125 (Zr2,5Nb). Данные сплавы используются в качестве конструкционного материала в российских ядерных реакторах типа ВВЭР. Образцы были вырезаны из листа в состоянии поставки при помощи электроискровой резки. После этого поверхность образцов была отшлифована и образцы были подвержены отжигу.

2.1.1 Циркониевый сплав и подготовка образцов

После шлифовки образцы были подвержены отжигу при температуре 847 °С в течение 54 часов. Данные образцы являются условно бездефектными и далее будут именоваться как «бездефектные» [29].

В качестве объекта исследования в данной работе представлены радиационные дефекты в сплавах циркония. Однако, радиационные дефекты являются сложными дефектами. Следовательно, для их изучения, необходимо в первую очередь обладать информацией о простых дефектах (вакансии, дислокации) в цирконии. Информация о вакансиях в цирконии, изученных методами позитронной аннигиляции (время жизни позитронов в вакансии циркония) представлена в литературе [29]. Однако, дислокация в цирконии мало изученf методами позитронной аннигиляции. В частности, в литературе отсутствует информация о времени жизни позитрона в дислокации циркония. Таким образом, для исследования радиационных дефектов, в данной работе в первую очередь была поставлена задача получить значение времени жизни в дислокации циркония.

Для исследования дислокационных дефектов, образцы были подвержены деформации холодной прокаткой до различной степени деформации. Прокатка - это процесс пластической деформации тел на прокатном стане между вращающимися приводными валками (часть валков

может быть непригодными) [30]. В данной работе, толщины образцов уменьшались на следующие величины (в процентах): 2, 5, 10.

Несколько образцов были подвержены технологическому отжигу при температуре 580 °С в течение 3 часов. Данные образцы далее будут именоваться как «исходные». Метод имитации заключается в нагревании металлического циркония в состоянии поставки до температуры 400 °С и выдержке при данной температуре в течение 24 часов. Данные образцы в дальнейшем будут именоваться как «имитационные». По результатам данного отжига, полученным в ВНИИНМ им. Бочвара, микротвердость образцов после отжига соответствует значению микротвердости образцов после испытаний на реакторе [31].

2.1.2 Влияние деформации Zr на показатели АП

Тип деформации в данной работе является необратимым. Однако объект при пластической области деформации сначала подвергается упругой деформации, которая является обратимой, так что объект будет возвращать часть своей первоначальной формы. Мягкие термопласты имеют довольно большую область пластической деформации, как и некоторые металлы, которые имеют хорошую удельную вязкость, например, медь, серебро и золото. Твердые реактопласты, например, резины, кристаллы, и керамика имеют минимальные диапазоны пластической деформации. Материал с большой зоной пластической деформации может быть растянут в десятки раз относительно своей первоначальной длины.

Под действием растягивающего напряжения, пластическая деформация характеризуется упрочнением и утонением области деформации и, наконец, переломом (также называемый разрыв). Деформационное упрочнение материала становится сильнее через движение атомных дислокаций. Утонение области деформации фиксируется сокращением площади поперечного сечения образца. Шейка утонения начинает появляться после того, как достигается

предел прочности. Во время уменьшения поперечного сечения, материал больше не может выдерживать максимальную нагрузку и напряжение в образце быстро увеличивается. Пластическая деформация заканчивается разрушением материала [32].

Холодная пластическая деформация приводит к увеличению прочности (пределы прочности и текучести, твердости) и снижению ударной вязкости [33]. Это является следствием того, что холодная пластическая деформация приводит к увеличению дислокаций. Потому что с точки зрения микроструктуры увеличение взаимодействия между дислокациями приводит к снижению ударной вязкости и увеличению прочности.

Для исследования структурных дефектов существует много методов, например, рассеяние излучения (рентгеновских лучей) и электронный микроскоп. Однако, методы ПА являются самым чувствительным инструментом в этой области. Таким образом, в данной работе был использован ПА для исследования материала с дислокациями.

Если в металле есть высокая концентрация дефектов, то наблюдается насыщенный захват позитронов этими дефектами. Насыщенный захват - это ситуация, когда все позитроны захвачены и аннигилируют в дефектах. При одном типе дефектов, место аннигиляции позитронов не меняется, поэтому время жизни позитронов в дислокации не меняется [34]. Интенсивность дислокаций не может постоянно увеличиваться. Таким образом, когда интенсивность дислокации больше не изменяется, время жизни позитронов в образце с дислокациями (без других дефектов) является временем жизни позитронов в дислокации в этом металле. Увеличение дислокаций приводит к увеличению количества захваченных позитронов. Таким образом, деформация приводит к увеличению времени жизни позитронов в металле.

2.1.3 Влияние отжига на дефектную структуру

Отжиг, в металлургии и материаловедении, представляет собой термическую обработку, которая изменяет физические и иногда химические свойства материала, чтобы увеличить пластичность и снизить ее жесткость, что делает его более работоспособным. Отжиг включает в себя нагревание материала до температуры выше температуры рекристаллизации, выдержку при данной температуре и последующее охлаждения. При отжиге, в кристаллической решетке вакансии мигрируют и число дислокаций уменьшается, что приводит к изменению пластичности и прочности.

Диффузионный отжиг состоит в нагреве до температур, значительно превосходящих критические точки, и продолжительной выдержке; используется для литого материала, обеспечивает получение равновесной структуры. Диффузионный отжиг приводит к достижению более однородных свойств по объёму изделия и особенно улучшению механических свойств в поперечном (по отношению к прокатке) направлении. В необходимых случаях для предотвращения обезуглероживания стали производят отжиг в защитных атмосферах. При диффузионном отжиге идут следующие процессы:

- 1).выравнивание химического состава до равновесного;
- 2).растворение избыточных фаз;
- 3).выделение фаз из пересыщенного твёрдого раствора - особый случай - гетерогенизация во время гомогенизации, наблюдается в алюминиевых сплавах, содержащих хром, цирконий и скандий;
- 4).рост зерна;
- 5).образование и рост пор [35].

В данной работе, отжиг используется для удаления дефектов в сплаве циркония Э110 после шлифования.

2.1.4 Методы исследования

В качестве методов исследования дефектной структуры материала, в

данной работе были применены два метода: спектрометрия по времени жизни позитронов (СВЖП) и спектрометрия Допплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ).

2.1.4.1 Спектрометр времени жизни позитронов

В качестве источника позитронов в данном методе применяется ^{44}Ti . Исследуемые образцы должны быть достаточно толстыми, которые могут поглощать все позитроны. Когда происходит β -распад в данном источнике, он будет излучать не только позитрон, но и фотон, который обладает энергией 1,157 МэВ. Момент появления данного фотона, является моментом «ноль». Этот момент является свидетельством введения позитронов в образец. После момента электрон-позитронной аннигиляции создаются фотоны, которые обладают энергией 0,511 МэВ. Эти фотоны являются сигналом окончания измерения. Время между сигналом «ноль» и «один» называется времен жизни позитрона. Интервал времени между испусканиями позитронов является время, необходимое для реакции аннигиляции. Когда достаточное количество событий регистрируется, можно получить спектр времени жизни позитронов.

На рисунке 9 представлена схема спектрометра времени жизни позитронов с применением источника ^{44}Ti .

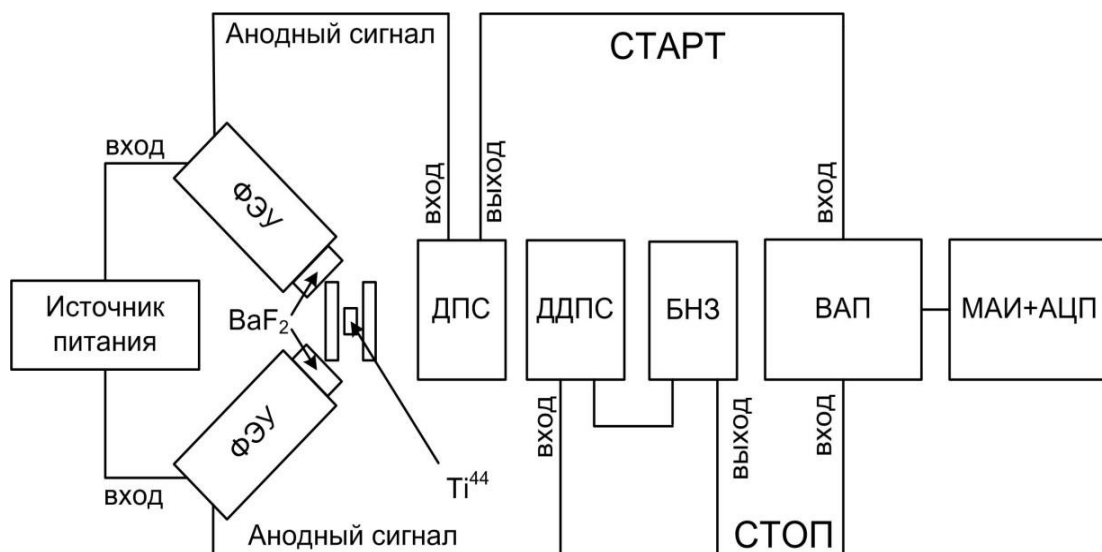


Рисунок 9. Схема спектрометра для измерения времени жизни позитронов в материале [2], где: ДПС (дискриминатор постоянной составляющей) –

непосредственно принимает стартовый сигнал с фотоэлектронного умножителя; ДДПС (дифференциальный ДПС) - непосредственно принимает стоповый сигнал с фотоэлектронного умножителя; ВАП (время-амплитудный преобразователь) – преобразует отрезок времени в амплитудный сигнал; МАИ (многоканальный анализатор импульса) - классифицирует и подсчитывает импульсы в разных каналах в зависимости от амплитуды; БНЗ (блок нано-секундной задержки) – задерживает сигналы на несколько наносекунд; АЦП (Аналого-цифровой преобразователь) – это устройство, которое помогает преобразовать входной аналоговый сигнал в дискретные цифры в процессе работы метода СВЖ позитронов.

Детекторы для регистрации сигналов состоят из двух частей: сцинтиллятор и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

Сцинтилляторы получают фотоны и создают вспышку света. Данные процессы приводят к пересозданию фотонов. Эти фотоны проходят через фотокатод и энергия фотонов приводит к эмиссии электронов за счет внешнего фотоэффекта. Далее электронный поток умножается до тех пор, пока не достигнет анода, где происходит считывание сигнала.

2.1.4.2 Спектрометр Допплеровского уширения аннигиляционной линии

Когда в источнике позитронов ^{44}Ti происходит распад, там рождаются позитроны. Позитроны будут введены в образец. После процесса электрон-позитронной аннигиляции, будут созданы фотоны, обладающие энергией 0,511 МэВ.

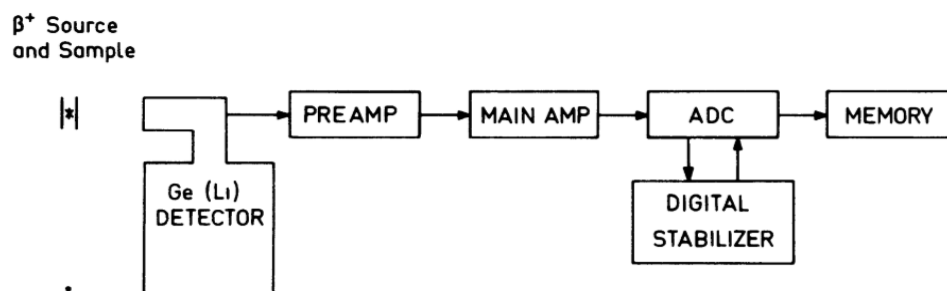


Рисунок 10. Система для измерения Допплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) [36]

Детекторы регистрируют эти фотоны. Сигнал проходит через усилитель и становится больше. В конце создается спектр в многоканальном анализаторе импульсов (multichannel analyzer – MCA).

Таким образом, можно получить спектр Допплеровского уширения аннигиляционной линии, являющимся распределением энергии фотонов. Таким образом, можно получить информацию об импульсе и энергии электронов и получить информацию о микроскопических изменений в материале.

2.2 Результаты и обсуждения

Для исследования дефектной структуры в циркониевых сплавах, в данной работе были применены методы АП. По результатам обработки спектров, были получены данные о дефектной структуре циркониевых сплавов.

2.2.1 Исследование деформированных образцов

Спектры ДУАЛ обрабатывались с помощью программного обеспечения SP. После обработки были получены следующие результаты (рисунок 12, 13).

Спектры времени жизни обрабатывались с помощью программного обеспечения LT10. После этого были получены два набора результатов: среднее время жизни и много-компонентное разложение.

2.2.1.1 Анализирование ДУАЛ

Для оценки изменения типа дефектов, преобладающих в материале методом ДУАЛ, применяется анализ R-параметра. Данный параметр определяется как величина тангенса угла наклона прямой, соединяющей исходный и дефектный образцы на диаграмме $S(W)$. R-параметр не зависит от плотности дефектов, но зависит только от типа дефектов [37]. В данной работе зависимость $S(W)$ показана на рисунке 12.

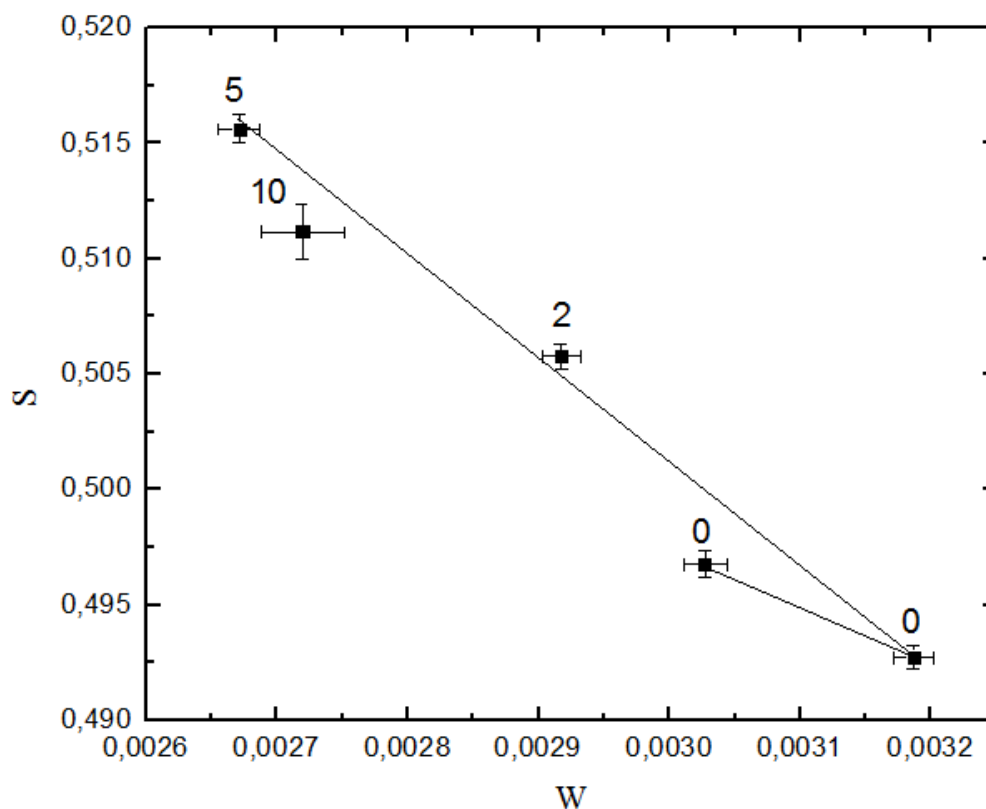


Рисунок 12. Отношения между параметрами S и W

Из рисунка 12 видно, что отношения между параметрами S и W лежат все примерно на одной линии. Это говорит о том, что тип дефектов одинаковый во всех деформированных образцах.

В данной работе образцы с разными толщинами имеют разные плотности дислокаций. Для каждого спектра данных образцов определялись величины S- и W- параметрами. Зависимость S- и W-параметров от степени деформации материала представлена на рисунке 13.

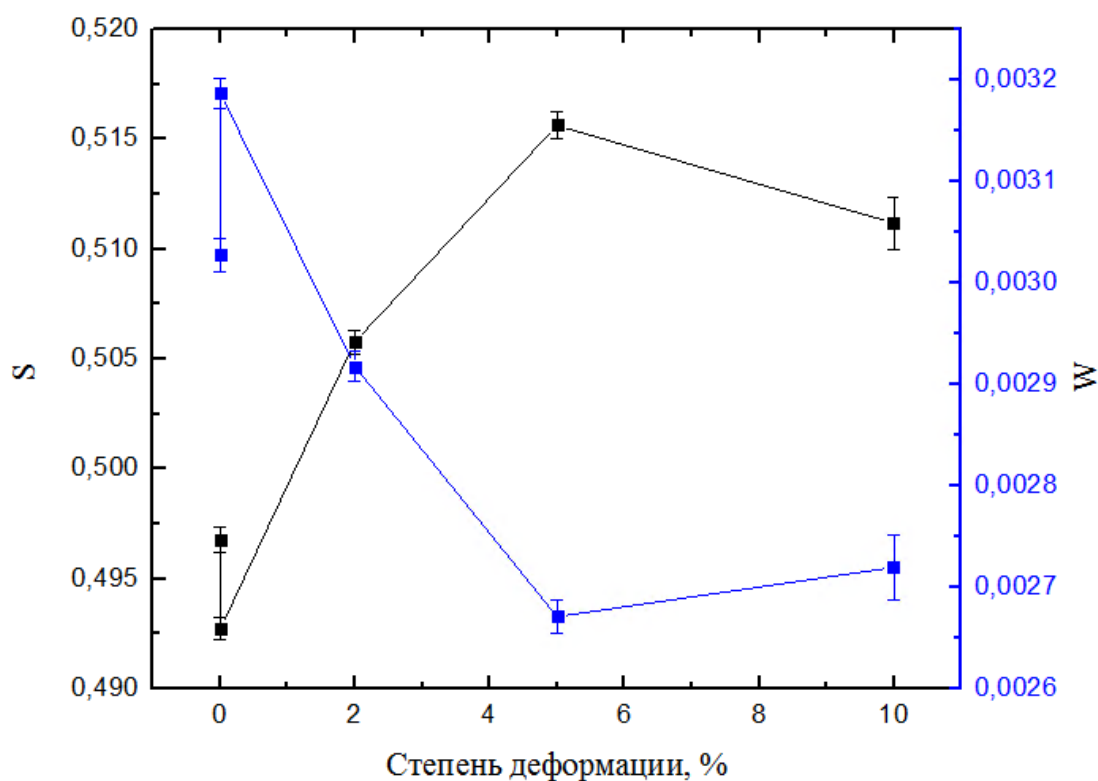


Рисунок 13. Зависимость S- и W-параметров от степени деформации материала

Из рисунка 13 видно, что характер изменения параметров S и W при различных степенях деформации меняется обратно пропорционально. Параметр S для 0 % степени деформации меньше чем для 2 % степени деформации и 2 % степени деформации меньше чем 5 % степени деформации, а параметр W 0 % степени деформации больше чем 2 % степени деформации и параметр W 2 % степени деформации больше чем 5 % степени деформации. Это говорит о том, что в деформированных образцах возрастает свободный объем в виде дефектов. Однако, уже при 5 % деформации, количество дефектов достаточно для того чтобы захватывать все позитроны, попавшие в материал. Таким образом, при 5 % деформации, в образцах наступает насыщенный захват позитронов дислокациями циркония, тогда в материале уже высокая концентрация дислокации. После 5 % степени деформации, параметр S уменьшается, а параметр W увеличивается. Это говорит о том, что в деформированных образцах концентрация дислокационной петли

увеличивается. Это происходит потому что в процессе, в котором частицы вторых фазы препятствуют движению дислокаций, создаются дислокационные петли. Важным фактором данного процесса является достаточная концентрация дислокации. При 5 % степени деформации данный фактор уже выполняется, поэтому интенсивность дислокационной петли видимо увеличивается при 10 % степени деформации.

2.2.1.2 Анализ СВЖ позитронов

Помимо компоненты материала, в спектрах также имеется компонента источника. В данной работе источники позитронов состоят из трех составляющих, которые поглощают позитроны. Эти компоненты занимают 43,2 % от общего числа позитронов. Таблица 1 показывает время жизни позитронов и интенсивность каждой компоненты источника (в 43,2 %).

Таблица 1. Параметры времени жизни позитронов источников

Компоненты источника	Время жизни позитронов (τ), пс	Интенсивность, %
Ti	144	77
⁴⁴ TiCl	399	19,4
Позитроний	1449,7	3,66

Среднее время жизни является наиболее робастным параметром спектра, который может быть оценен просто как его центр масс и не зависит от способа обработки спектра. Таким образом, данный параметр должен быть оценен в первую очередь.

Таблица 2. Среднее время жизни позитронов в образцах циркония после холодной деформации

Деформация, %	Время жизни позитронов (τ), пс
---------------	---------------------------------------

0	162,4
2	234,2
5	236,2
10	231,4

Согласно литературным данным, время жизни позитронов в чистом цирконии равно 166 пс и время жизни позитронов чистом ниобии равно 120 пс [38].

Время жизни позитронов в Zr_{1Nb} и $Zr_{2,5Nb}$ примерно равно 165 пс. Этот факт можно интерпретировать двумя причинами.

1) Время жизни позитронов в чистом ниобии меньше чем время жизни позитронов в чистом цирконии. Поэтому концентрация электронов ниобия меньше чем циркония. Таким образом, время жизни позитронов в сплавах $Zr - Nb$ (без дефектов) всегда меньше чем время жизни позитронов чистом Zr .

2) Доля ниобия очень мала в сплавах Э110 и Э125, поэтому эффекты ниобия также играют незначительную роль. Таким образом, время жизни позитронов в сплавах Э110 и Э125 примерно равно времени жизни позитронов в чистом цирконии.

Из таблицы 2 видно, что в процессе холодной прокатки создаются дефекты. В связи с данным анализом ДУАЛ, при 5 % деформации, в образцах наступает насыщенный захват позитронов дислокациями циркония. Поэтому время жизни позитронов в дислокации равно 236 пс.

Для получения более детальной информации, в данной работе был применен метод много-компонентного разложения. Для реализации метода много-компонентного разложения была применена 3-компонентная модель захвата позитронов дефектами [39]. Результаты данного разложения представлены в таблице 3.

Интенсивность компоненты дислокации в спектрах сначала увеличивается, а потом уменьшается. Когда она уменьшается, интенсивность

компоненты дислокационной петли увеличивается. В это время интенсивность компоненты бездефектного материала примерно равна нулю. Поэтому сначала основными типами дефектов в Zr1Nb являются дислокации, а потом концентрация дислокационной петли увеличивается и в 5 % степень деформации имеется насыщенный захват.

В процессе данного разложения, были зафиксированы значения времени жизни позитрона в бездефектном цирконии (163 пс) [29], в дислокационной петле циркония (215 пс) [40], и дислокации циркония (236 пс). Данные значения фиксировались в процессе обработки. В таблице 3 представлены интенсивности данных компонент во всех спектрах. Если параметры времени жизни позитронов в дислокации и дислокационной петле не фиксировать, то спектры корректно не обрабатываются. Поэтому данные параметры были зафиксированы.

Таблица 3. 3-компонентное разложение

Деформация, %	Интенсивность бездефектного материала, %	Интенсивность дислокации, %	Интенсивность дислокационной петли, %
0	100	0	0
2	8	92	0
5	0	100	0
10	0	76	24

2.2.2 Исследование образцов после отжига

Для исследования типов дефектов в циркониевых сплавах Э110 и Э125, в данной работе был применен метод СВЖП. Спектры времени жизни обрабатывались с помощью программного обеспечения LT10. После этого были получены два набора результатов: среднее время жизни и

много-компонентное разложение.

Таблица 4. Среднее время жизни позитронов в образцах циркония

Образец	Время жизни позитронов (τ), пс
Zr (бездефектный)	163
Zr1Nb (исходный)	175
Zr1Nb (имитационный)	188
Zr2,5Nb (исходный)	184
Zr2,5Nb (имитационный)	236

Из таблицы 4 можно сделать следующие выводы.

Среднее время жизни позитронов в бездефектном образце циркония Э110 составило 163 пс что хорошо согласуется с литературными данными [29]. Это значение говорит о том, что данный образец можно считать бездефектным. Среднее время жизни в исходном образце циркония Э110 и Э125 составило 175 и 184 пс, что говорит о том, что в данном образце имеются структурные дефекты (наличие дефектов увеличивает время жизни позитронов в материале). Имитационный отжиг приводит к увеличению среднего времени жизни в обоих сплавах до значений 188 и 236 пс для сплавов Э110 и Э125, соответственно. Это говорит о том, что имитационный отжиг действительно индуцирует формирование дефектов в обоих сплавах.

Для получения более детальной информации о дефектной структуре, в данной работе был применен метод много-компонентного разложения спектров. В процессе данного разложения, были зафиксированы значения времени жизни позитрона в бездефектном цирконии (163 пс) [29], дислокации циркония (236 пс) и вакансии циркония (252 пс) [41]. Интенсивность компоненты вакансии в спектрах Zr1Nb (исходный), Zr1Nb (имитационный) и Zr2,5Nb (исходный) примерно равна нулю. Основными типами дефектов в Zr1Nb (исходный), Zr1Nb (имитационный) и Zr2,5Nb (исходный) являются

дислокации (25,4 %, 41,5 % и 36,8 %, соответственно). В образце Zr_{2,5}Nb (имитационный) интенсивность вакансионной компоненты составила 10,5 %, в то время как интенсивность дислокаций составила 88,5 %.

Таблица 5. Много-компонентное разложение

Образец	Интенсивность вакансии, %	Интенсивность дислокаций, %
Zr (бездефектный)	0	0
Zr ₁ Nb (исходный)	0	25,4
Zr ₁ Nb (имитационный)	0	41,5
Zr _{2,5} Nb (исходный)	0	36,8
Zr _{2,5} Nb (имитационный)	10,5	88,5

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для введения результатов выпускной квалификационной работы на тему «Позитронная спектроскопия дефектной структуры сплавов циркония Э110 и Э125 после термического упрочнения» на целевой рынок, необходимо прежде всего произвести анализ потребителей результатов исследования и в свою очередь выявить сегмент рынка.

Для выявления определенной части рынка или группы потребителей, обладающих определенными общими признаками, необходима реализация сегментирования, т.е. формирование определенных групп, испытывающих необходимость в данном товаре.

Реализация сегментирования рынка услуг по спектру проведения научных исследований в области термического упрочнения металлической фольги по следующим критериям представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка услуг по спектру проведения исследований термического упрочнения металлической фольги

		Широкий температурный диапазон проведения эксперимента	Непродолжительные сроки проведения эксперимента	Исследование защитных покрытий и модификаций поверхностного слоя
Методика исследования	Методика термического упрочнения			
	Методика термического упрочнения и масс - спектрометрического анализа			

	Методика термического упрочнения в газовой среде при высоких давлении и температуре			
--	--	--	--	--

На карте сегментирования рынка услуг по спектру проведения исследований термического упрочнения металлической фольги приведены следующие научно-исследовательские институты и лаборатории, представленные в таблице 7.

Таблица 7 – Научно-исследовательские институты и лаборатории

Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов (ВНИИНМ) имени академика А.А. Бочвара г. Москва	
Национальный научный центр Харьковский физико-технический институт г. Харьков	

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Для успешного выхода на рынок, необходимо проводить систематический анализ конкурирующих товаров, т.к. новые разработки постоянно пребывают с течением определенного промежутка времени.

Результатом анализа конкурирующих товаров, являются важные коррективы и поправки, вносимые в научное исследование, с целью постоянного повышения спроса и преимущества на рынке.

Рассматривая данный анализ со стороны ресурсоэффективности и ресурсосбережения, следует ряд оценок сравнительной эффективности научной разработки и определение ее развития и конкурентоспособности в будущем.

Для выполнения данного анализа, воспользуемся оценочной картой, приведенной в таблице 8.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто- способность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _{КФ}	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1) Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,04	0,02	0,02
2) Помехоустойчивость	0,05	0,02	0,03	0,04	0,001	0,0015	0,002
3) Энергоэкономичность	0,05	0,04	0,03	0,01	0,002	0,0015	0,0005

4) Надежность	0,1	0,06	0,05	0,08	0,006	0,005	0,008
5) Уровень шума	0,05	0,05	0,03	0,01	0,0025	0,0015	0,0005
6) Безопасность	0,01	0,01	0,007	0,009	0,0001	0,0001	0,0001
7) Простота эксплуатации	0,05	0,04	0,03	0,03	0,002	0,0015	0,0015
8) Качество интеллектуального интерфейса	0,03	0,01	0,02	0,02	0,0003	0,0006	0,0006
9) Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,02	0,01	0,02	0,015	0,0002	0,0004	0,0003
10) Быстрота обработки полученных результатов	0,1	0,1	0,05	0,08	0,01	0,005	0,008
11) Компактность	0,02	0,02	0,005	0,005	0,0004	0,0001	0,0001
12) Необходимость контролирования выполняемых процессов оператором установки	0,05	0,02	0,02	0,03	0,001	0,001	0,0015
Экономические критерии оценки эффективности							
1) Конкурентоспособность продукта	0,05	0,03	0,04	0,05	0,002	0,002	0,0025
2) Уровень термического упрочнения на рынок	0,02	0,01	0,01	0,02	0,0004	0,0002	0,0004
3) Цена	0,03	0,02	0,01	0,008	0,0006	0,0003	0,0002
4) Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	0,03	0,02	0,02	0,0002	0,0004	0,0004
5) Послепродажное обслуживание	0,01	0,008	0,006	0,003	0,0001	0,0001	0,0001

6) Финансирование научной разработки	0,08	0,07	0,05	0,03	0,0056	0,004	0,0024
7) Срок выхода на рынок	0,05	0,04	0,03	0,03	0,002	0,0015	0,0015
8) Наличие сертификации разработки	0,01	0,008	0,006	0,005	0,0001	0,0001	0,0001
Итого	1	0,796	0,564	0,595	0,0765	0,0467	0,0506

Итогом данного анализа, приведенного в оценочной карте сравнения конкурентных технических решений (разработок), следует, что методы термического упрочнения исследования термического упрочнения металлической фольги превосходит своих конкурентов по многим критериям, в частности, как удобство в эксплуатации, энергоэкономичность, безопасность, простота эксплуатации и т.д. Экономические критерии оценки эффективности также превосходят своих конкурентов по многим факторам. Обладая рядом преимуществ перед конкурирующими товарами, методика термического упрочнения исследования механического свойства обладает высоким уровнем качества и конкурентоспособности при стандартном наборе определяющих его параметров.

3.3 Структура работ в рамках научного исследования

Для достижения и выполнения конкретной цели при выполнении научных исследований в выпускной квалификационной работе, необходимо формирование рабочей группы. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В таблице 9 приведен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования в выпускной работе.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления исследований	Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент
	7	Разработка экспериментальной модели	Студент

	8	Изготовление необходимы конструкций и деталей	Инженер
	9	Сборка экспериментальной установки и отработка методики работы	Студент
	10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технической документации	13	Выбор и расчет конструкции и основных частей	Студент
	14	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Студент
	15	Проектирование основных экспериментальных компонентов	Студент
Изготовление опытного образца	16	Изготовление опытного образца	Инженер
	17	Лабораторные испытания стенда	Студент

Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	18	Составление пояснительной записки	Студент
	19	Составление и оформление научных публикаций	Студент

3.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Главным фактором отражения основной части стоимости научной разработки являются трудовые зарплаты. Исходя из этого, важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для оценки трудоёмкости выполнения научного исследования выпускной квалификационной работы используют экспертный путь, определяемый человеко-днями. Для определения ожидаемого значения трудоемкости используют следующее соотношение:

$$t_{ожі} = (3t_{mini} + 2t_{maxi}) / 5$$

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

Рассчитав ожидаемую трудоемкость работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения:

$$T_{pi} = t_{ожі} / Ч_i$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.5 Разработка графика проведения научного исследования

Для проведения научного исследования, представленного в выпускной квалификационной работе, выбирают специальную узко направленную научную тему. Для этого строится специальный ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для построения графика необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением:

$$k_{кал} = T_{кал} / (T_{кал} - T_{вых} - T_{пр})$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитаем коэффициент календарности:

$$k_{кал} = 365 / (365 - 52 - 14)$$

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнит.	Длител.			Длител.				
	t _{min} , чел-дни			t _{max} , чел- дни			t _{ожi} , чел-дни				работ в рабочих днях T _{pi}			работ в календар. днях T _{ki}				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3		
Разработка технического задания	1			3			3,2			Научный рук.			1			1,6		

Итого	отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	Изготовление опытного образца	Разработка технической документации	Обобщение и оценка результатов	Теоретические и экспериментальные исследования	Выбор направления исследований
						2
	32	18	23	28	24	28
		8			3	
						5
	40	29	36	39	28	26
		16			с	
						1,4
	35,2	22,4	28,2	32,4	25,6	27,2
		11,2			3,8	
						Научный рук.
	Студент	Студент	Студент	Студент	Студент	Студент
		Инженер			Инженер	
10						9
51,8	11,7	7,5	9,4	10,8	8,5	3,9
5		3,7			1,3	
						0,69
	17,3	10,9	13,8	15,9	12,6	13,3
		5,4			1,8	

На основании таблицы 10 построим календарный план-график.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме
«Разработка экспериментальной установки спектрометра ЭПА для
исследования термического упрочнения металлической фольги»

№ работ	Вид работ	Исполнит	$T_{кис}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Разработка технического задания	Науч. рук.	1,6															
2	Выбор направлений исследований	Студент,	13,3															
		Науч. рук.	0,69															
3	Теоретические и экспериментальные исследования	Студент,	12,6															
		Инженер	1,8															
4	Обобщение и оценка результатов	Студент	15,9															
5	Разработка технической документации	Студент	13,8															

6	Изготовление опытного образца	Студент,	10,9					
		Инженер	5,4					
7	Оформление отчета по НИР	Студент	17,3					

Таблица 12 – Исполнители календарного план-графика

Научный руководитель	
Студент	
Инженер	

3.6 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Оргстекло	см ³			25			21			525
Болт	шт.		4			12			48	
Гайка	шт.		4			7			28	
Шайба	шт.		4			5			20	
Стеклянная колба	шт.		2			160			320	
Трубка термического упрочнения	см.		30			3			90	
Прокладка резиновая	шт.		4			30			120	
Герметик	шт.		1			128			120	

силиконовый										
Серная кислота	см ³	1000			2,2			2200		
Лист циркония Э110	см ²	20			19			1000		
Медные провода	см.		30			2			60	
Вольтметр	шт.		1			560			560	
Халат для термического упрочнения	шт.	1			490			490		
Резиновые перчатки	шт.	5			21			105		
Итого								3795	1366	525

3.7 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Для выполнения выпускной квалификационной работы, был приобретен специального контрольно-измерительной прибор – вольтметр SVL0005, и 8 грамм платины, необходимых для проведения работ по научной теме

Все расчеты по приобретению вольтметра и платины, приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты на специальное оборудовани

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	8 гр.	1500	12000
Итого				12000

3.8 Заработная плата исполнителей темы

Для вычисления основной заработной платы необходимо учесть научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, участвующих в выполнении выпускной квалификационной работе.

Для расчета основной заработной платы необходимо сформировать баланс рабочего времени, приведенного в таблице 16.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Инженер
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	13	13	13
Потери рабочего времени отпусков	48	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252	252

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	k_t	$Z_{тс},$ руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_m,$ руб	$Z_{дн},$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн},$ руб.
Руководитель	1	18221,96	0,3	0,2	1,3	35532,8	1423,59	10	14235,9
Инженер	1	9043,71	0,3	0,2	1,3	17635,2	706,54	5	3532,7
Студент	1	14874,45	0,3	0,2	1,3	29005,2	1118,16	51,8	57920,7
Итого $Z_{осн}$	75689,3								

3.9 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды является обязательным фактором, согласно законодательству Российской Федерации, нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Для расчета отчислений во внебюджетные фонды воспользуемся формулой:

$$З_{внеб} = k_{внеб} З_{полн}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 30 %.

3.10 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на организацию, управление и обслуживание процесса производства товара, оказания услуги; носят комплексный характер, т.е. включают различные экономические элементы затрат.

Накладные расходы составляют 50% от суммы основной, дополнительной заработной платы и от страховых взносов, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} * (\text{сумма статей 1/7})$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

3.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Формирование бюджета научно-исследовательского проекта является основой для определения бюджета затрат проекта, и формируется исходя их вышеприведенных расчетов.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Научный руководитель	Студент	Инженер
1) Материальные затраты НТИ	3795	1366	525
2) Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	12000	12000	12000
3) Заработной плате исполнителей темы	16015,4	65460,8	3974,3
4) Отчисления во внебюджетные фонды	4804,6	19638,2	1192,3
5) Накладные расходы	5858,4	15754,4	2830,7
6) Бюджет затрат НТИ	42473,4	114219,4	20522,2
Итого	177215		

3.12 Определение эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект Критерии	Весовой коэффициент параметра	руководитель	Студент	Инженер
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	2	5	4
Удобство в эксплуатации	0,15	2	5	4
Помехоустойчивост ь	0,15	3	5	4

Энергосбережение	0,20	5	3	3
Надежность	0,25	5	3	3
Материалоемкость	0,15	4	4	4
Итого	1	3,8	3,95	3,55

Таблица 19 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	руководитель	Студент	Инженер
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,37	1	0,18
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,95	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	1,41	3,95	0,64
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,36	1	0,16

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволило определить сравнительную эффективность проекта, по таблице 20 наиболее целесообразный вариант исполнения 1.

3.13 Выводы по финансовой части

Для исследования термического упрочнения металлической фольги методами термического упрочнения, была разработана и сконструирована экспериментальная установка спектрометра ЭПА, позволяющая исследовать термические упрочнение металлической фольги, а также производить сравнение методов защиты от термического упрочнения и оценку их эффективности при исследовании процессов термического упрочнения металлической фольги до нанесения защитным покрытий и после, с использованием методики термического упрочнения.

Бюджет затрат, приведенный в таблице 11 обусловлен необходимостью разработки экспериментальной методики для быстрого и качественного исследования термического упрочнения металлической фольги в металлических фольгах, а также непосредственной реализации оценки различных защитных покрытий, необходимых для дальнейшего исследования при высоких температурах.

Полученные в ходе исследования результаты, при затрате 177215 рублей на реализацию, могут быть использованы для дальнейших исследований систем металла после термического упрочнения в условиях высоких температур, а также в целях разработки защитных методик подготовки образцов посредством нанесения покрытий и модификации поверхностного слоя. Работа имеет большую практическую ценность и в полной мере способствует решению многих фундаментальных задач.

4 Социальная ответственность

4.1 Проблемы безопасности

Циркониевые сплавы находят применения в качестве конструкционных материалов в ядерной энергетике. В частности, сплав $Zr1Nb$ применяется для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в водо-водяных энергетических реакторах (ВВЭР), сплав $Zr2.5Nb$ применяется для изготовления системы управления и защит реактора (СУЗ) в реактор больших мощностях канальных (РБМК). В процессе ядерной реакции, оболочки ТВЭЛов подвергаются облучению нейтронами и накапливают в себе структурные радиационные дефекты. Радиационное повреждение оболочек ТВЭЛов, вызванное потоком нейтронов является причиной изменений линейных размеров компонентов реактора, радиационного распухания и деформации материала. Данные процессы приводят к снижению срока эксплуатации ТВЭЛов. Таким образом, исследование процессов накопления радиационных дефектов в сплавах $Zr1Nb$ является актуальной задачей для продления срока службы оболочек ТВЭЛов. Для того чтобы проводить исследования дефектной структуры материала после облучения, необходимо проводить облучение материалов на реакторе в течение длительного срока. Данные эксперименты требуют много финансовых и временных затрат. В связи с этим актуальной проблемой также является разработка методов имитации радиационных дефектов. Один из таких методов имитации был разработан на базе ВНИИНМ им. Бочвара. При имитации, исследователи из данного центра ориентируются на механические свойства материала, которые после имитации становятся идентичными механическим свойствам материала после облучения. Однако, на сегодняшний момент не известно о реальном состоянии дефектной структуры материала после подобных имитационных экспериментов.

Методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) являются самыми чувствительными методами для исследования дефектной и электронной структуры материалов. В данной работе использованы две методики ЭПА.

Метод спектрометрии времени жизни позитронов (СВЖП) может быть использован для прецизионного исследования дефектной структуры материала, определения концентрации, размера и типа дефектов материала. Метода спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) дает информацию об импульсном распределении электронов в материале и дефектах различного типа.

В результате исследования было установлено снижение общего уровня дефектности исследуемого Zr с повышением температуры отжига по результатам анализа параметров формы спектра ДУАЛ и среднего времени жизни. Был выявлен локальный минимум в точке, соответствующей 240°C, соответствующей началу процесса рекристаллизации. Также было выявлено, что большая часть позитронов (99%) аннигилирует из захваченного состояния. Основными ловушками, захватывающими позитроны, являются вакансионные кластеры (5-15%), дислокации и границы зерен (85-95%). Присутствие моновакансий в материалах не обнаружено. Объем вакансионных кластеров возрастает в образцах, отожженных при температуре 60 °C и убывает по экспоненциальному закону при дальнейшем повышении температуры. Метод имитации заключался в отжиге образцов при температуре 400 °C в течение 24 часов. Данные образцы в дальнейшем будут именоваться как «имитационные». По результатам данного отжига, полученным в ВНИИНМ им. Бочвара, микротвердость образцов после облучения соответствует значению микротвердости образцов после испытаний на реакторе. Была получена корреляция результатов, полученных с помощью методов ЭПА.

4.2 Техногенная безопасность

Работа установки спектрометра ЭПА осуществляется за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В, экспериментальные исследования проводятся в газовой среде (азот, воздух). При проведении работ на установки спектрометров ЭПА возможно воздействие вредных факторов таких, как:

- 1) микроклимат;
- 2) электромагнитные поля;
- 3) освещение;
- 4) шум;
- 5) эргономика.

Также возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- a) электрическое напряжение;
- b) воздействие высокой температуры;
- c) эксплуатация газовых баллонов (азот, аргон), работающих под давлением.

4.2.1 Микроклимат

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха.

Эти параметров от нормы приводит к ухудшению самочувствия работника, снижению производительности труда и к возникновению различных заболеваний.

Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем – ослабляется внимание, ухудшается координация движений,

замедляется реакция и т.д. При работе на газоанализаторе важно отметить, что запрещается прикасаться к высоко разогретым элементам экспериментального комплекса, во избежание получения термических ожогов при работе.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно СанПин 2.2.4.548-96, представляющий в таблице 20.

Таблица 20 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia(до139)	23-25	22-26	60-40	0,1

Для удобства работы в помещении необходима нормирование параметров микроклимата. Необходимо применение защитных мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционировании воздуха, искусственное

освещение и т.п.

4.2.2 Электромагнитные поля

Дипломная работа выполнялась с применением персональных компьютеров (ПЭВМ) типа IBM PC. Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров	Нормы в диапазоне частот	ВДУ
Напряженность электрического поля	5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

При Вредном воздействие ПЭВМ на организм человека происходит нагрузка на зрение, заболевание кожи лица, нервные и психические заболевания и т.д. Допустимая напряжённость электрического поля: 25 В/м (5Гц-2кГц) и 2,5 В/м (2-400 кГц). Для защиты от электромагнитных полей используются различные фильтры. Ориентация свет-проемов должна быть северо-восточной или северной. Источники искусственного освещения: люминесцентные лампы типа ЛБ и ДРЛ. Оптимальные параметры микроклимата. При работе с ПЭВМ уровень звука не должен превышать значений, установленных для данных видов работ. Кроме этого, для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны).

4.2.3 Электрическое напряжение

Воздействие электрического напряжения на человека связано с протеканием через него тока. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь, до приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

4.2.4 Воздействие высокой температуры

Запрещается открывать крышку нагретой печи, дотрагиваться до камеры, а также необходимо одевать спецодежду, во избежание получения термических ожогов при работе с установкой, в которую помещен исследуемый образец.

4.3 Региональная безопасность

Лабораторная работа всегда связана с постоянным образованием различных отходов: отходы инструмента, технологической оснастки, абразивных материалов, отходы бумаги и т.д.

При работе с установкой спектрометров ЭПА возможно образование отходов: бумага и металл (Zr Э110). Бумагу используют для записи результатов экспериментов. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

4.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

Работа с установкой спектрометров ЭПА должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора.

- После окончания работы с установкой необходимо:
- Закрыть вентили газовых баллонов;
- Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
- Выйти из программы, отключить питание компьютера;
- Отключить установку спектрометров ЭПА и насос от электросети;
- Проверить целостность газовых баллонов, их закрепление, отсутствие утечки газа.

4.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе на установки спектрометров ЭПА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установки спектрометров ЭПА, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установки спектрометров ЭПА;
- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 2000 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;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При обнаружении неисправной работы установки спектрометров ЭПА необходимо прекратить работу, выйти из программы, отключить питание компьютера, отключить насос, установку спектрометров ЭПА от электросети и известить об этом руководителя.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

4.7 Вывод по социальной части

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по имитацию радиационных дефектов с помощью установки спектрометров ЭПА, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Заклучение

В ходе проделанной работы было изучено влияние имитационного отжига и холодной прокатки на дефектную структуру циркония. После холодной прокатки сплава Э110 ($Zr1Nb$) в спектре имеются не только дислокации, но и дислокационные петли. Насыщенный захват позитронов дислокациями наблюдается уже при 5 % деформации. При 10 % деформации наблюдается возникновение дислокационных петель в структуре циркония. При ситуации насыщенного захвата, время жизни позитрона в дислокации циркония составило 236 пс. Данный результат, полученный впервые, был использован для обработки спектров времени жизни позитронов в образцах циркония Э110 и Э125 после имитационного отжига.

В ходе проделанной обработки было изучено влияние температурного отжига, как имитационного метода создания радиационных дефектов в сплавах циркония Э110 и Э125. После имитационного отжига сплава Э110 ($Zr1Nb$) в спектре имеются только дислокации. Согласно литературным данным [42], - радиационными дефектами являются вакансии и междоузельные атомы, а также кластеры. После имитационного отжига сплава Э125 ($Zr2,5Nb$) в спектре имеются как вакансии, так и дислокации. Таким образом, можно сделать вывод, что метод имитационного отжига является успешным для сплава Э125.

Помимо этого, было показано, что для исходного сплава Э110 ($Zr1Nb$) и сплава Э125 ($Zr2,5Nb$) технологический отжиг не удаляет все дефекты, поэтому данный метод отжига не является оптимальным для удаления дефектов. Возможно, хорошим решением будет продлить время отжига сплава в состоянии поставки Э125 и Э110 или увеличить температуру отжига.

В образце $Zr1Nb$ (имитационный) имеются только дислокации. Это говорит о том, что либо в образце не было вакансий, либо вакансии в образце диффундировали и сформировали дислокации в процессе имитационного отжига. Т.к. в $Zr2,5Nb$ (имитационный) имеются вакансии, то я склоняюсь утверждать, что в сплаве Э110 (имитационный) вакансии также имелись в

процессе имитации. В этом случае можно предположить, что наличие большего количества ниобия в сплаве Э125 закрепляет движение дефектов (как дислокаций, так и вакансий) при термической обработке. Это объясняет наличие дислокаций и вакансий в имитационном образце Э125. Таким образом, можно сделать предположение о том, что длительный отжиг циркониевых сплавов Э110 и Э125 при температуре 400 °С приводит к формированию вакансий, которые в дальнейшем также коагулируют в дислокации, что в принципе может происходить во время облучения данных материалов нейтронами.

Список использованных источников

1. В. С. Неустроев, В. Г. Дворецкий, З. Е. Островский, В. К. Шамардин, Г. А. Шиманский. Исследования микроструктуры и механических свойств стали 08X18H10T после облучения в активной зоне реактора ВВЭР-1000 // Вопросы атомной науки и техники. 2003. № 3УДК 669.018.25:539.12.04.
2. Бордулев Ю. С., Лаптев Р. С. Спектрометр времени жизни позитронов [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 131-132. - Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/ctt/proceedings/2013>.
3. ОАО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва, Россия.
4. Орлов А. Н. Дефекты // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. - М.: Советская энциклопедия, 1988. - Т. 1. - С. 595-597. - 704 с. - 100 000 экз.
5. Типы дефектов // China Digital Science and Technology Museum. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://amuseum.cdstm.cn/AMuseum/crystal/4501.html#_pageTop.
6. Дислокация (кристаллография) // Материал из Википедии - свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2011. - Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dislocation>. (дата обращения: 27.01.2011).
7. Межзёренная граница // Материал из Википедии - свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Межзёренная_граница. (дата обращения: 01.12.2014).
8. Радиационные эффекты в твердых телах / В. В. Углов // - Минск : БГУ, 2011. -207с.

9. Келли Б., Радиационное повреждение твердых тел, пер. с англ., М-, 1970.
10. Ян Л. Радиационные эффекты ядерного материала // Библиотека Байту. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: <http://wenku.baidu.com/view/463c4038c850ad02df80410a.html?from=search>.
11. Взаимодействие нейтронов с веществом. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm04.htm>.
12. Иллюстрация на тему распада урана-235 // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2010. - Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Nuclear_fission.svg. (дата обращения: 03.05.2010).
13. Деформация оболочек ТВЭЛов в результате радиационной ползучести и роста. [Электронный ресурс]. - 2015. - Режим доступа: <http://tesiaes.ru/?p=13749>. (дата обращения: 18.08.2015).
14. Радиационные дефекты в металлах // Библиотека Байту. [Электронный ресурс]. - 2013. - Режим доступа: <http://wenku.baidu.com/view/7539c8f1b14e852459fb5714.html>.
15. Радиационный рост. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://istorhis.ru/termojd/sintez115.htm>.
16. Гольдберг А. С. Радиационное распухание // Англо-русский энергетический словарь. [Электронный ресурс]. - 2006. - Режим доступа: <http://translate.academic.ru>.
17. Никончук В. В. Ползучесть неравномерно нагретого по радиусу сплошного цилиндра в условиях облучения // Министерство образования Республики Беларусь. - Минск: Белорусский Национальный Технический Университет, 2008.
18. Работнов Ю. Н. Теория ползучести. В кн.: Механика в СССР за 50 лет. Том. 3. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1972. С. 119—154.

19. Позитрон // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Позитрон>.
20. Техника позитронной аннигиляции // Материал из Байту — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: <http://baike.baidu.com/view/952560.htm>.
21. Бета-распад // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бета-распад>.
22. Roland Diehl The Origin of ^{44}Ti . [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www2011.mpe.mpg.de/gamma/science/lines/44Ti/44Ti_science.html. (дата обращения: 17.01.2009).
23. The Particle Zoo in Cosmic Rays // The Basic Building Blocks of Matter. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.learner.org/courses/physics/unit/text.html?unit=1&secNum=3>.
24. Космические лучи // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Космические_лучи.
25. Pair Production // HyperPhysics. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/relativ/releng.html#c1>.
26. Рождение пар // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2014. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Рождение_пар;
27. Schultz P. J. and Lynn K. G., Rev Mod. Phys . 60, 701.1988.
28. Чэнь Ч. Основные принципы методики аннигиляции позитронов. [Электронный ресурс]. — 2003. Режим доступа: <http://www.geocities.jp/chenzq1969/pas.htm>. (дата обращения: 01.07.2003).

29. Hood G. M. and McKee B. T. A. 1978 J. Phys. F: Met. Phys. 8 1457-65.(29).

30. Прокатка // Материал из Википедии - свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2015. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Прокатка>. (дата обращения: 16.05.2015).

31. Маркелов В. А., Гусев А. Ю., Котов П. В., Новиков В. В., Сабуров Н. С. Температурные зависимости скорости замедленного гидридного растрескивания оболочек твэлов из сплавов циркония различного состава // Деформация и разрушение материалов. 2012. № 11. С. 42-47.

32. Deformation (engineering) // From Wikipedia, the free encyclopedia. [Электронный ресурс]. - 2015. - Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deformation_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deformation_(engineering)). (дата обращения: 16.10.2015).

33. Влияние пластических деформаций на структуру и свойства металла // Раздел библиотека технической литературы. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/8/11.htm>;

34. R. Krause-Rehberg, V. Bondarenko, E. Thiele, R. Klemm, N. Schell Determination of absolute defect concentrations for saturated positron trapping – deformed polycrystalline Ni as a case study // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 240 (2005) 719–725, 20 апреля 2005.

35. Отжиг // Материал из Википедии - свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. - 2015. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Отжиг>. (дата обращения: 11.08.2015).

36. P. Hautojärvi. Positrons in Solids// - Кафедра технической физики, Хельсинкский технологический университет, 1979;

37. M. Clement, J. M. M. de Nijs, P. Balk, H. Schut, и A. van Veen Analysis of positron beam data by the combined use of the shape and wing-parameters // AIP Publishing, 1996 American Institute of Physics. S0021-8979(96)02912-X, Journal of Applied Physics 79, 9029 (1996). No. 12, 15 июнь 1996.

38. P. Mukherjee, P.M.G. Nambissan, Pintu Sen, P. Barat, S.K. Bandyopadhyay, Proton irradiation effects in Zr-1.0 Nb-1.0 Sn-0.1 Fe probed by positron annihilation, *Journal of Nuclear Materials* 273 (1999) 338-342\$
39. P. Hautojärvi, C. Corbel, in: *Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course CXXV*, Ed. A. Dupasquier, A.P. Mills, IOS Press, Varenna 1995, p.1491
40. Hatakeyama M., Toyama T., Yang J., Nagai Y., Hasegawa M., Ohkubo T., Eldrup M. and Singh B. N. *Journal of Nuclear Materials* // - *J NUCL MATER*, 2009, vol. 386, 852-855p.
41. Hood G. M., Eldrup M., Pedersen N. J., *Positron Annihilation* 5, ed.: Hasiguti R. R., Fujiwara K. - Japan Institute of Metals, Sendai, 1979. – 751 p.
42. Углов В. В. Радиационные эффекты в твердых телах // - Минск : БГУ, 2011. -207с.