

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка диагностики для определения энергетического спектра легких ионов при коллективном ускорении

УДК 537.533:539.121.167

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4TM72	Примбетов Мурат Исаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ	Журавлев Михаил Валерьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»	
P1	Понимать и применять в профессиональной деятельности <i>основные принципы и методы</i> научно-технической деятельности, специфику научного мировоззрения, способы взаимодействия достижений науки и техники с другими областями духовной деятельности человека. Использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
P2	Использовать способы и принципы поиска, сбора, обработки научной и технической информации в развитии отрасли с использованием <i>современных информационных технологий</i> .
P3	<i>Применять иностранный язык</i> для академического и профессионального взаимодействия
P4	<i>Выполнять функции преподавателя</i> в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования
P5	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, реализовывать приоритеты собственной профессиональной деятельности.
P6	Использовать <i>углубленные теоретические и практические знания</i> , применять новые технологии для решения инженерных задач в области электроэнергетики и высоковольтной электротехники; понимать основные научные принципы проблем в своей предметной области.
P7	<i>Формулировать цели и задачи научных исследований</i> в соответствии с тенденциями и перспективами развития <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областей науки и техники; Планировать, выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера; внедрять результаты исследований в производство; Уметь работать в научном коллективе в качестве члена команды, а также руководить командой.
P8	<i>Проектировать</i> конкурентоспособную наукоемкую продукцию в сфере <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областях науки и техники; <i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; Применять на практике навыки и умения в <i>организации опытно-конструкторских работ</i> , использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Профиль «Техника и физика высоких напряжений»	
P9	<i>Применять знания</i> физических и технологических основ генерирования высоких напряжений и сильных токов для <i>получения электрических и магнитных полей, электрических разрядов в диэлектриках</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.
P10	<i>Применять знания</i> физико-химических и технологических основ генерирования <i>мощных электронных, ионных пучков и потоков плазмы</i> для <i>модификации поверхности материалов, синтеза нанопорошков, обработки жидкостей и газов</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4TM72	Примбетов Мурат Исаевич

Тема работы:

Разработка диагностики для определения энергетического спектра легких ионов при коллективном ускорении	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3829/с от 16.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2019 года
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные данные, результаты при прохождении преддипломной практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор. 2. Расчет и проектирование спектрометра Томсона. 3. Разработка конструкции спектрометра Томсона. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность.

Перечень графического материала		Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна	
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна	
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
2. Работы по регистрации заряженных частиц посредством спектрометра Томсона		
3. Трековые детекторы		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23 января 2019 г.
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Примбетов Мурат Исаевич		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Уровень образования: магистратура
Отделение материаловедения
Период выполнения: 2018 /2019 учебный год

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2019 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01/04/2019	<i>Литературный обзор</i>	20
06/05/2019	<i>Расчет и проектирование спектрометра Томсона</i>	30
31/05/2019	<i>Разработка конструкции спектрометра Томсона</i>	30
16/04/2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	5
02/05/2019	<i>Социальная ответственность</i>	5
03/06/2019	<i>Разделы, выполненные на иностранном языке</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, 42 рисунков, 22 таблиц, 41 источника и 1 приложения.

Ключевые слова: СПЕКТРОМЕТР ТОМСОНА, ИОННЫЙ ПУЧОК, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР, КОЛЛЕКТИВНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОНОВ, ДИАГНОСТИКА ПУЧКА.

Цель работы – разработка спектрометра Томсона для определения энергетического спектра легких ионов.

В процессе разработки проводились расчеты и моделирование магнитной и электрической составляющих спектрометра.

В результате разработки сконструирован спектрометр Томсона с диапазоном измерения энергий протонов 1,3-5 МэВ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: отклоняющая система имеет индукцию магнитного поля – 0,8 Тл, напряженность электрического поля – 20 кВ/см.

Степень внедрения: на стадии апробации методики.

Область применения: диагностика ионного пучка.

В будущем планируется создание импульсного ускорителя высокоэнергетических легких ионов для синтеза ультра короткоживущих изотопов.

ABSTRACT

Final qualification work consists of 118 pages, 42 figures, 22 tables, 41 sources and 1 attachment.

Keywords: THOMSON SPECTROMETER, ION BEAM, ENERGY SPECTRUM, COLLECTIVE ION ACCELERATION, BEAM DIAGNOSTICS.

The purpose of the work is to develop a Thomson spectrometer to determine the energy spectrum of light ions.

In the process of development were carried out calculations and modeling of the magnetic and electrical components of the spectrometer.

As a result of the development, the Thomson spectrometer was designed with a proton energy measurement range of 1.3-5 MeV.

The main design, technological, technical and operational characteristics: the deflecting system has a magnetic field induction – 0.8 Tl, the electric field intensity – 20 kV/cm.

The degree of implementation: at the stage of testing the methodology.

Scope: ion beam diagnostics.

In the future, it is planned to create a pulsed accelerator of high-energy light ions for the synthesis of ultra-short-lived isotopes.

Оглавление

Введение.....	10
1 Методы диагностики пучка заряженных частиц	13
1.1 Цилиндр Фарадея	13
1.2 Тепловизионная диагностика	14
1.3 Спектрометрия заряженных частиц.....	15
1.3.1 Времяпролетная диагностика	15
1.3.2 Спектрометр Томсона	16
2 Исследования по определению энергетического спектра пучка с использованием спектрометра Томсона	18
3 Трековые детекторы.....	22
3.1 Твердотельные трековые детекторы.....	22
3.2 Методы травления трековых детекторов	26
4 Приборы и методы исследования.....	30
5 Расчет и проектирование спектрометра Томсона для регистрации ионов с энергиями до 5 МэВ.....	34
5.1 Определение габаритов спектрометра.....	34
5.2 Выбор источника постоянного магнитного поля	35
5.3 Расчет спектрометра Томсона	37
5.3.1 Расчет магнитной составляющей спектрометра Томсона.....	38
5.3.2 Расчет электрической составляющей спектрометра Томсона	44
5.3.3 Выбор габаритов детектора	46
5.3.4 Расчет отклонений ионов с учетом ошибки.....	49
5.4 Моделирование магнитного поля в среде Elcut.....	51
5.5 Моделирование электрического поля в среде Elcut.....	53
6 Разработка конструкции спектрометра.....	55
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	61
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	61
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	62
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	63
7.1.3 SWOT-анализ	66

7.2 Планирование научно-исследовательских работ	69
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	69
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	70
7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	71
7.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
7.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	74
7.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	76
7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	76
7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	78
7.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды.....	79
7.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	80
7.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования ..	80
8 Социальная ответственность	86
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
8.2 Производственная безопасность	88
8.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия	96
опасных и вредных факторов	96
8.3 Экологическая безопасность.....	98
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	99
Заключение	101
Список использованных источников	102
Приложение А	106

Введение

На сегодняшний день в мире и в частности в России с прогрессией растет количество заболеваний раком. На учете в онкологических учреждениях России состоит более 2,5 млн. больных, а прирост показателя за последние десять лет составил 16%. По данным Росстата ежегодно в стране регистрируются около 485 тысяч выявленных впервые случаев злокачественных новообразований, что соответствует заболеваемости 336,6 на 100 тыс. населения [1].

Самая эффективная диагностика раковых заболеваний – это позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). В человека помещают радиоактивный изотоп и смотрят где локализуется основная его часть, поглощаемая раковыми клетками.

В современной ядерной медицине для изготовления радиофармпрепаратов (РФП) используются циклотроны, входящие в состав ПЭТ сканеров, для радионуклидной диагностики организма. Циклотрон обладает большой стоимостью, поскольку для него надо строить отдельно стоящее помещение. Он окупается, если количество жителей в населенном пункте, где находится циклотрон, превышает 1 млн. Ориентировочная стоимость циклотронов – \$1-3 млн., ещё около \$2 млн. стоит капитальное строительство центра, связанное с большим весом циклотрона (более 20 тонн) и необходимостью защиты от ионизирующего излучения. Операционное обслуживание циклотрона около \$300 тыс. в год. Для эффективного использования столь дорогого в установке и обслуживании ускорителя необходимо производить РФП для более 20000 ПЭТ сканирований в год. Это соответствует полной загрузке пациентами 4-5 ПЭТ сканеров. Зачастую ПЭТ сканеры находятся в разных клиниках, и доставка РФП от ПЭТ-центра к сканеру является непростой задачей. Возникает проблема распада наработанного вещества, помимо задач радиационного контроля. На одну единицу активности, доставленную в клинику, необходимо наработать 3-4 единицы РФП. В итоге, наибольшая доля в стоимости дозы РФП (около 450 \$)

приходится на наработку запаса активности и доставку. Высокая стоимость и сроки перевозки РФП по России, связанные в частности с большими расстояниями между населёнными пунктами и качеством дорог, является серьёзным барьером для распространения ПЭТ диагностики в стране. Сюда же следует отнести и потенциальную опасность несанкционированного использования как РФП, так и изотопа с достаточно высокой активностью. Очень часто клинике приходится приобретать не только ПЭТ сканер, но и ПЭТ-центр для наработки изотопа и синтеза РФП.

Поэтому актуальным является поиск новых методов получения РФП. Одним из перспективных методов является коллективное ускорение ионов. Но несмотря на большое количество исследований в данной области, отсутствует единая теория, описывающая механизм ускорения. Механизм ускорения и параметры пучка важно знать, чтобы можно было разработать оптимальную конструкцию ускорителя, который будет работать на данном принципе. Один из важных параметров – это энергетический спектр ионного пучка. На данный момент научная группа в лаборатории пользуется косвенными методами определения энергии пучка: тепловизионная диагностика, сцинтилляционная диагностика, диагностика посредством цилиндра Фарадея. К прямым методам относятся: ядерно-физическая диагностика, времепролетная диагностика и диагностика посредством спектрометра Томсона. Однако, для ядерно-физической диагностики, чтобы регистрировать ионы разных типов, необходимо менять мишени, к тому же она даст информацию лишь при энергии ионов выше пороговой. Времепролетная диагностика эффективна при методах прямого ускорения. Самым точным методом является диагностика с использованием спектрометра Томсона. Он способен определять распределения энергий одновременно для ионов с различной величиной массы и заряда.

Цель работы – разработка спектрометра Томсона для определения энергетического спектра легких ионов. Информация по энергиям в свою очередь необходима для получения в дальнейшем ультра короткоживущих

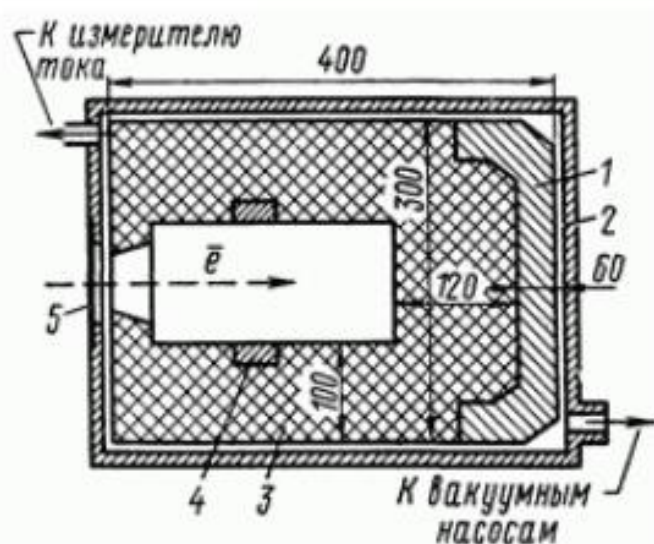
изотопов, внедряемых в организм человека для диагностики раковых, сердечно-сосудистых и других заболеваний. Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие *задачи*:

- определение габаритов спектрометра;
- выбор источника постоянного магнитного поля;
- расчет магнитной составляющей спектрометра;
- расчет электрической составляющей спектрометра;
- выбор габаритов детектора;
- расчет отклонений ионов с учетом ошибки;
- моделирование магнитного поля в среде Elcut;
- моделирование электрического поля в среде Elcut;
- разработка конструкции спектрометра.

1 Методы диагностики пучка заряженных частиц

1.1 Цилиндр Фарадея

Цилиндр Фарадея – один из старейших, но до сих пор используемых датчиков интенсивности пучка, основным достоинством которого является высокая точность измерения заряда. В простейшем виде цилиндр Фарадея представляет собой массивный, электрически изолированный электрод, стоящий на пути пучка заряженных частиц – электронов, протонов или ионов. Когда пучок частиц поглощается материалом электрода, цилиндр Фарадея оказывается электрически заряженным. К электроду с помощью подводящего провода подключается сопротивление, замыкающее цепь на землю.



1 – свинец; 2 – сталь; 3 – графит; 4 – магнит; 5 – полиэфирная пленка.

Рисунок 1 – Цилиндр Фарадея [2]

Таким образом, цилиндр Фарадея является частью замкнутой электрической цепи, состоящей из двух частей – вакуумной, в которой носителями заряда являются частицы пучка, и твердотельной, где носителями заряда являются электроны проводимости. При отсутствии потерь заряда электрический ток в проводнике эквивалентен току пучка в вакууме. Ток в проводнике измеряется прецизионным амперметром, включенным непосредственно в цепь, или вольтметром, измеряющим падение напряжения

на сопротивлении, замыкающем цепь на землю. Посредством осциллографа снимаются показания.

1.2 Тепловизионная диагностика

Методика обеспечивает регистрацию:

- пространственного распределения плотности энергии электронного пучка по сечению;
- пространственного распределения плотности энергии электронного пучка по глубине мишени;
- пространственного распределения электронов с энергией в выбранном диапазоне;
- полной энергии электронного пучка.

Тепловизионная диагностика основана на измерении теплового отпечатка электронного пучка на мишени из пенополистирола (материала с низкой объемной плотностью и низкой теплопроводностью). Для регистрации теплового отпечатка используется тепловизор. В отличие от методики с использованием радиочувствительных (дозиметрических) материалов, тепловизионная диагностика не требует дорогостоящих расходных материалов и много времени на обработку [3].

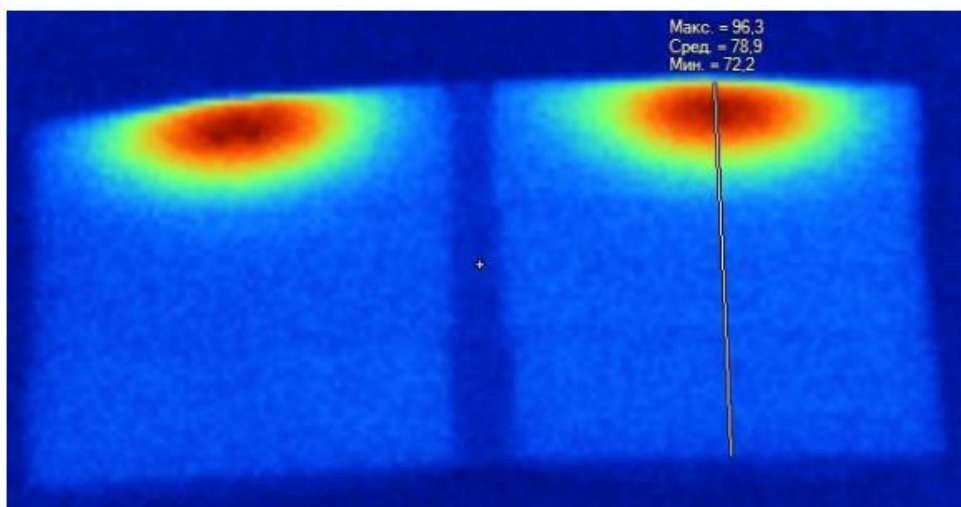


Рисунок 2 – Регистрация теплового изображения мишени из пенополистирола посредством тепловизора

Изображение обрабатывается программой, которая преобразует тепловое изображение в зависимость температуры на пенопласте от глубины проникновения.

1.3 Спектрометрия заряженных частиц

Массовый и энергетический анализ различных видов ионов, которые выделяются из плазмы, проводился в различных лабораториях в течение многих лет [4]. Такие исследования важны не только для определения выхода ионов, но и для понимания физических явлений, происходящих внутри плазмы. Для ионного анализа можно применять различные методы диагностики, например, посредством камеры-обскуры, электростатических и / или магнитных анализаторов ионов (спектрометр Томсона), времяпролетных спектрометров и т. д.

1.3.1 Времяпролетная диагностика

В данном методе энергия частицы определяется по времени, которое она затрачивает на пролет определенного фиксированного расстояния. Чаще всего методика времени пролета используется для измерения энергетических спектров нейтронов. Для нейтронов эта методика часто оказывается единственной, обеспечивающей требуемую точность измерений. Однако она применяется и с заряженными частицами для их идентификации.

Время пролета определяется моментом времени t_0 , когда частица проходит начало пролетной базы и моментом времени t_1 , когда она достигает детектора ($t_f = t_1 - t_0$). Для фиксации момента t_1 используется сигнал детектора, для фиксации момента t_0 часто используют импульсные пучки с короткими сгустками. Энергетическое разрешение спектрометра практически полностью определяется временным разрешением. Временное разрешение в свою очередь определяется длительностью сгустков частиц и временными характеристиками детектора и регистрирующей аппаратуры [5].

Основным достоинством времяпролетной диагностики можно назвать быструю обработку результатов измерений, также, при контроле параметров пучка не требуется сложное оборудование. К минусам времяпролетной диагностики можно отнести некорректность измерения, связанную с тем, что ионы, разные по массе, могут ускоряться до близких скоростей и сигналы от таких ионов могут накладываться. К тому же, ионы, имеющие близкие массы, но разные заряды, различаться не будут.

1.3.2 Спектрометр Томсона

Наиболее удобный метод диагностики для определения масс и энергетических спектров различных ионов основан на использовании анализатора типа Томсона. Способность такого анализатора определять распределения энергии ионов одновременно для ионов с различным отношением массы к заряду делает это устройство очень полезным инструментом для исследований.

В 1912 г. Дж. Дж. Томсон подверг лучи положительно заряженных ионов неона воздействию магнитного поля. Магнитное поле заставляло ионы отклоняться, и в результате этого они попадали на фотопластинку. Если бы все ионы были одинаковыми по массе, то они все отклонились бы магнитным полем на один и тот же угол, и на фотопленке появилось бы обесцвеченное пятно. Однако в результате этого эксперимента Томсон получил два пятна, одно из которых было примерно в десять раз темнее другого. Сотрудник Томсона Фрэнсис Уильям Астон, усовершенствовавший позднее этот прибор, подтвердил правильность полученных данных. Аналогичные результаты были получены и для других элементов. Этот прибор, позволявший разделять химически подобные ионы на пучки ионов с разной массой, получил название масс-спектрографа.

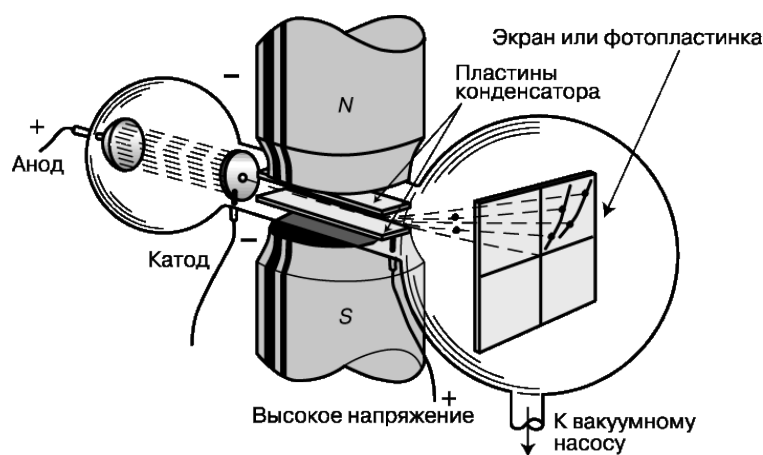


Рисунок 3 – Масс-спектрограф Томсона

Величина отклонения одинаково заряженных ионов в магнитном поле зависит от массы этих ионов. Ионы с большей массой отклоняются меньше, и наоборот. Таким образом, опыты Томсона и Астона показали, что существуют два вида атомов неона. У одного типа атомов массовое число равно 20, у другого – 22. В результате определения относительной черноты пятен было установлено, что содержание неона-20 в 10 раз больше, чем неона-22. Позднее было обнаружено также наличие небольшого количества неона-21. Если, рассчитывая атомную массу неона, исходить из этих данных, то окажется, что она равна примерно 20,2.

Магнитный спектрометр – вакуумный прибор, в котором заряженные частицы проходят в магнитном поле определенной конфигурации, по-разному отклоняясь в нем в зависимости от их импульса и заряда. В результате происходит разложение пучка заряженных частиц по импульсам, что позволяет изучать энергетический спектр частиц. В магнитных спектрометрах обычно используют фокусирующее свойство магнитного поля, что дает возможность частицам с одинаковыми энергиями, выходящими из источника в пределах довольно большого телесного угла, собираться в небольшой области, где размещают подходящий детектор. В магнитном спектрометре прямого отклонения заряженные частицы, испускаемые источником в виде тонкой нити, перпендикулярной плоскости рисунка, проходят через узкую

щель и регистрируются твердотельным детектором, фотопластинкой, рентгеновской пленкой, многоканальной пластиной и т.д. Частицы с разными энергиями попадают в различные места детектора и образуют изображение в виде длинных и узких полос [6].

При коллективном ускорении в состав ионного пучка могут входить материалы анодного диэлектрика. Изображения протонов, дейтронов и ионов углерода с разной величиной заряда на детекторе будут накладываться друг на друга. Соответственно, необходимо отклонение частиц в двух измерениях, этого можно добиться посредством подключения электрического поля параллельно магнитному.

2 Исследования по определению энергетического спектра пучка с использованием спектрометра Томсона

Существует множество работ, где для определения энергетического спектра пучка используются спектрометры Томсона [7-12]. Например, в экспериментах, проведенных на лазерной установке «Сокол-П», для регистрации ионов использовались времяпролетный спектрометр и масс-спектрометры («Томсон 3» и «Томсон 5»). Для определения энергетических спектров электронов использовались спектрометры с диапазонами регистрации 10 кэВ-1,5 МэВ и 1-100 кэВ.

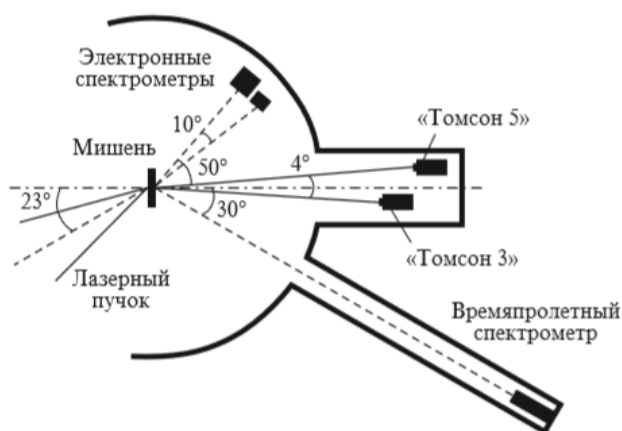


Рисунок 4 – Схема расположения диагностических приборов в камере с мишенью [7]

Схема расположения приборов диагностики в камере представлена на рисунке 4. Оси масс-спектрометров составляли углы 2° с нормалью к мишени. Расстояние от мишени до спектрометра «Томсон 3» равнялось 79 см, а до спектрометра «Томсон 5» – 85 см. Для регистрации ионов был использован трековый детектор CR-39. Чтобы размеры ионных треков увеличились, после проведения эксперимента детектор протравливался в водном растворе едкого натра. На рисунке 5 представлена спектрограмма ионов, полученная посредством масс-спектрометра «Томсон-3» [7].

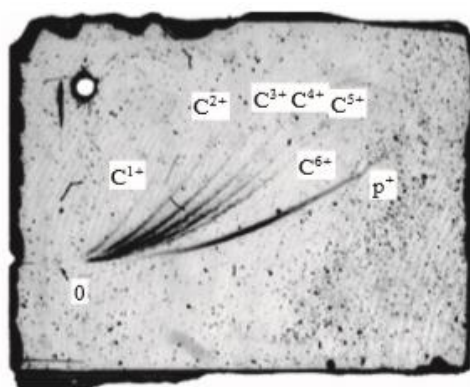


Рисунок 5 – Спектрограмма ионов, полученная на масс-спектрометре «Томсон 3» [7]

В последние несколько лет возрастает интерес к спектрометру Томсона в качестве ионной диагностики. Поскольку спектрометр Томсона предоставляет информацию об энергии, импульсе, соотношении заряда к массе ионов, получаемых в коллективных ускорителях ионов, плазме, генерируемой лазером, ионных диодах. Для спектрометра Томсона требуется высокочувствительный детектор для регистрации пучков ионов очень низкой интенсивности, возникающих в результате высокой степени коллимации, необходимой для обеспечения адекватного разрешения. В последнее время твердотельные трековые детекторы широко используются для обнаружения ионов. В частности, пластик CR-39, является наиболее чувствительным материалом для обнаружения треков и хорошо подходит для спектрометра

Томсона. Сообщалось о многочисленных применениях CR-39 в спектрометрах [8, 9].

В работе [10] экспериментально подтверждено, что спектрометр Томсона может быть использован для измерения ионов внутри вакуумных камер на малых расстояниях от плазменно-ионных источников.

В работе [11] описана конструкция спектрометра, состоящая из четырех частей: коллиматора, сектора отклонения, секции дрейфа увеличения и системы формирования изображения. Первый сектор состоит из двух точечных отверстий диаметром 1 мм и 100 мкм. Первое отверстие реализовано на двухслойной матрице из латуни и свинца толщиной 2 см для максимизации поглощения гамма и рентгеновских лучей. Второе отверстие реализовано на алюминиевом слое толщиной 1 мм и в основном влияет на пространственное разрешение спектрометра, то есть на конечную ширину обнаруженных парабол.

В секторе отклонения применяются электрическое (длиной 7 см) и магнитное (длиной 15 см) поля, частично перекрывающиеся друг друга. Расстояние между центрами электрического и магнитного полей составляет 6 см. Перекрывание полей не влияет на траектории частиц и делает устройство относительно компактным. На рисунке 6 представлена схема спектрометра TP-LNS.

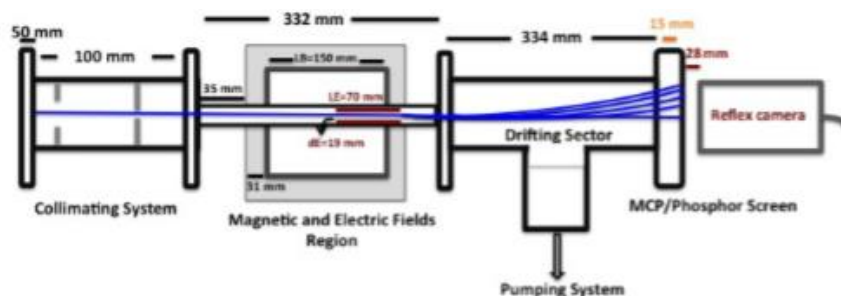


Рисунок 6 – Схема спектрометра TP-LNS [11]

Магнитное поле генерируется электромагнитом, состоящим из двух резистивных катушек и Н-образного железного ярма, обеспечивающего

хорошую однородность поля вдоль траекторий частиц внутри зазора. Максимальная интенсивность магнитного поля составляет 2500 Гс, что соответствует измеренному току катушки 86,2 А. Профиль магнитного поля был измерен с помощью датчика Холла. Электрическое поле создается двумя медными электродами длиной 7 см и зазором 19 мм. Оно может быть настроено до 30 кВ на расстояние между электродами. Энергия детектируемых протонов – до 40 МэВ [11].

В работе [12] длина как электрического, так и магнитного поля составляло 100 мм, а длина свободной от поля области (расстояние до детектора) – 200 мм. Величина индукции магнитного поля составляла 0,16 Тл, электрическое поле поддерживалось на уровне 239-302 В/мм. Спектрометр может измерять протоны с энергией до 15,5 МэВ.

Сектор отклонения спектрометра Томсона состоит из параллельных электрического и магнитного полей. Для простого анализа в работе [13] предположили, что оба поля являются однородными по длине и равны нулю снаружи. Поскольку электрические и магнитные поля параллельны, соответствующие отклонения ортогональны друг другу. Траектория движения ионов, движущихся перпендикулярно электрическому и магнитному полям является параболической. Таким образом, ионы различных энергий с одинаковым отношением заряда к массе образуют хорошо известный рисунок отклонения в форме параболы.

Два круглых керамических магнита диаметром 2,22 см и длиной 2,54 см зажимаются двумя акриловыми дисками, сохраняя определенный полюсный зазор. Магниты также отдельно подключены к источнику питания высокого напряжения для создания электрического поля, параллельного магнитному полю в зазоре. На рисунке 7 представлен поперечный разрез спектрометра.

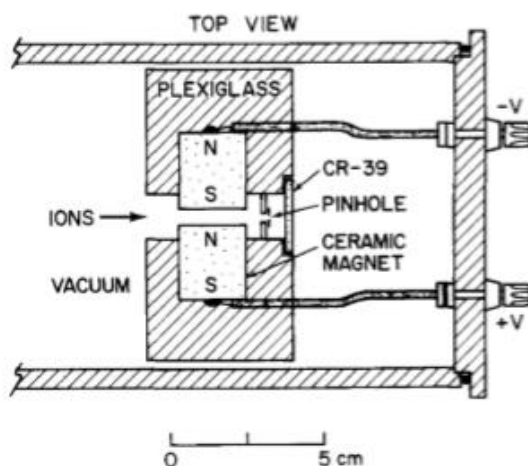


Рисунок 7 – Поперечный разрез компактного спектрометра [13]

Чем меньше зазор, тем выше магнитные и электрические поля. В этом устройстве зазор выбран равным 3 мм [13].

3 Трековые детекторы

3.1 Твердотельные трековые детекторы

Трек – узкая зона повреждений, в которых атомы смещены со своих мест. Треки, при прохождении через них сильноионизирующих ядерных частиц, образуются во многих самых распространенных природных и искусственных твердых диэлектрических материалах. Размеры треков по атомным масштабам велики: длина от 10 до 100 нм, диаметр порядка 10 нм. От 100 млн до 1 млрд атомных позиций могут разместиться в объеме трека.

Впервые, посредством электронного микроскопа, такие треки наблюдали в тонких кристаллах циркона. Циркон подвергали облучению осколками деления урана. Следы осколков обнаружили с помощью этого метода и в других материалах, но сама процедура их наблюдения очень трудоемка и требует приготовления тонких реплик (образцов толщиной менее 0,3 микрон). Данный метод наблюдения требует большого усиления, поэтому поле зрения электронного микроскопа оказывается малым, и обнаружить трек нелегко.

Решающий шаг, обусловивший широкое распространение метода наблюдения треков в диэлектриках в разных областях науки и техники, включая ядерную физику и дозиметрию, геохронологию, физику космических частиц, химический анализ и т. д., был сделан, когда было обнаружено, что треки можно «выявлять», то есть существенно увеличивать, делая возможным их наблюдение в обычные оптические микроскопы (если использовать прозрачные диэлектрики). Наиболее распространенная методика такого выявления – избирательное химическое травление треков. Методика основана на том, что поврежденные области твердого тела растворяются гораздо быстрее, чем неповрежденные. Впервые этот эффект был обнаружен на слюде. Образец слюды, содержащий треки помещают в раствор фтористоводородной кислоты. Кислота быстро проникнет на всю глубину трека, превратив поврежденную область в четко очерченную полую трубку. При достаточно длительном травлении диаметр трубки увеличивается до значения, превышающего длину волны видимого света, и, следовательно, сама трубка становится видимой в оптическом микроскопе при сравнительно небольшом увеличении (100-200). Естественно, что при химическом травлении выявляются треки, выходящие на поверхность детектора, так как в отличие от процедуры проявления ядерной эмульсии растворитель не может проникать в твердое тело, не разрушая его.

В ряде диэлектриков, таких, как слюда и циркон, скорость увеличения диаметра трубки много меньше скорости травления по глубине трека. Это обстоятельство обеспечивает сохранение цилиндрической формы протравливаемого трека. В материалах типа стекла скорость увеличения диаметра при травлении сравнима со скоростью травления вглубь. В этом случае протравленные следы имеют, скорее, коническую, нежели цилиндрическую форму. В некоторых диэлектриках возникают только мелкие углубления. В стекле можно получить диаметр протравленного трека до 50 мкм, причем примерно до 20 мкм диаметр увеличивается линейно со временем травления. Формы протравленных треков весьма различны и зависят главным

образом от самого диэлектрика, а также от состава травителя и режима травления. Так, для неорганических стекол характерны треки в виде конических углублений овальной формы, в органических диэлектриках это удлиненные каналы цилиндрической формы, в минералах – правильной геометрической формы.

Основной характеристикой твердотельного трекового детектора является его чувствительность к ионизирующим частицам различных энергии и заряда. Как показывает опыт, эта характеристика практически зависит только от одного параметра – от плотности ионизации вдоль следа заряженной частицы, которая, в свою очередь, связана с ее удельными потерями энергии dE/dx . Если плотность ионизации и соответственно удельные потери энергии превышают некоторое минимальное (критическое) значение для данного диэлектрика, то трек образуется. В противном случае – трек не образуется. Зная критическое значение dE/dx , можно предсказать, какие частицы при каких энергиях будут создавать треки. Другой важной характеристикой твердотельных трековых детекторов является эффективность регистрации. Она в свою очередь зависит от угла входа частицы в диэлектрик. При скользящем падении (угол входа близок к 90°) повреждения создаются вблизи поверхности, и при последующем травлении видимый трек не возникает. Критический угол зависит от многих переменных, таких, как dE/dx частицы, диэлектрика, технологии травления. Эффективность регистрации близка к 1 при угле падения, меньшем критического, а при угле, большем критического, резко падает до 0. Наиболее высокую эффективность имеют фосфатные стекла, слюда и полимерные пленочные материалы типа лавсана. При образовании треков осколками деления в стекле критический угол равен около $30-40^\circ$, а в слюде приближается к 90° . В свинцовом стекле, содержащем более 60% окиси свинца, треки осколков деления выявляются лишь при угле падения, близком к 0. Однажды образованные треки сохраняются практически неограниченное время (сравнимое с возрастом Земли). На образование треков не влияют ни давление (по крайней мере, до 0,1 ГПа), ни очень большие дозы

излучения, создаваемого частицами с плотностью ионизации меньше пороговой [6].

CR-39 – прозрачный, стабильный, чувствительный к следам высокоэнергетичных протонов, альфа-частиц и более тяжелых ядер, пластик. После воздействия следы могут быть обнаружены травлением материала в растворах едких щелочей. Химическое название CR-39 – полиаллилдигликолькарбонат ($C_{12}H_{18}O_7$). Прозрачный жесткий пластик плотностью 1,31 г/см³, а химическая структура состоит из коротких полиаллильных цепей, соединенные связями, содержащими карбонат и этиленгликолевые группы в плотную трехмерную сеть [14].

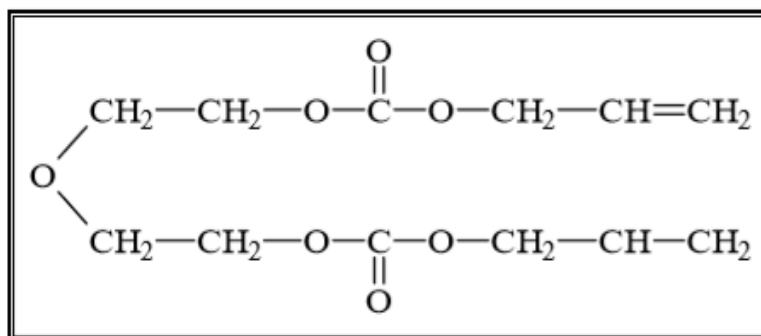


Рисунок 8 – Химическая форма пластика CR-39 [14]

В качестве детектора выбран именно CR-39, поскольку среди многих известных материалов для протравливания треков, он является самым чувствительным материалом, который способен регистрировать ионы с широким диапазоном энергий. Еще одним преимуществом является четкость поверхности детектора после травления [14]. Пример полученных следов ионов углерода, дейтронов и протонов на детекторе CR-39 представлен на рисунке 9.

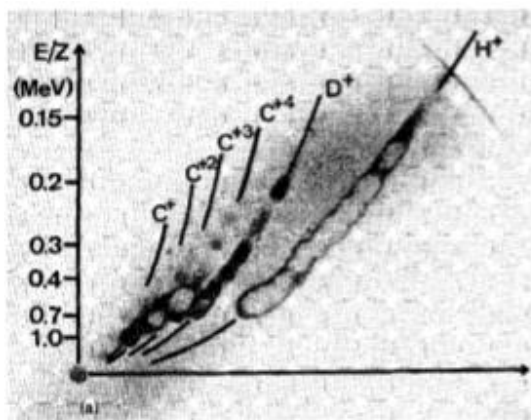


Рисунок 9 – Следы ионов на детекторе CR-39 [15]

Однородность отклика и хорошее оптическое качество делают CR-39 идеальным для использования в качестве детектора. Конечное пространственное разрешение детектора может быть ограничено диаметром протравленного трека, который может варьироваться в зависимости от продолжительности травления, количества частиц и величины энергии. Типичный размер трека, около 1 мкм, удобен для оптического наблюдения под микроскопом и намного меньше практического размера коллимированного пучка (размера точечного отверстия). Поэтому пространственное разрешение системы зависит в основном от коллимации луча. Однако существует нижний предел коллимации, после которого интенсивность луча (плотность трека на детекторе) снижается до уровней, слишком низких для анализа. [13].

3.2 Методы травления трековых детекторов

Существуют различные методы травления твердотельных трековых детекторов: традиционный метод (водяная баня), микроволны, ультразвуковые приборы и т.д. Во всех методах осуществляется подача тепла в раствор травителя в дополнение к специфическим волнам в микроволновых печах и ультразвуковых устройствах, которые используются для ускорения процесса травления.

Химическое травление – процесс формирования траектории в детекторе, во время которых подходящий раствор для травления воздействует на

детектор с достаточной скоростью, а поврежденные участки вдоль ионных цепей преимущественно растворяются, удаляются и превращаются в полый канал. Наиболее распространенным травлением для пластмасс являются водные растворы NaOH или KOH с концентрациями от 1 до 12 Н и температурой от 40 до 90 °С.

Детекторы можно протравить, поместив их в мерную колбу с травильным раствором, помещенную внутрь резервуара с водяной баней при температуре 70°С [16].

Лабораторные микроволновые печи

Эта методика была впервые использована в 2010 году [17], где использовалась обычная микроволновая печь, работающая на частоте 2,45 ГГц, чтобы ускорить время травления CR-39, облученного альфа-частицами. В 2014 году [14] для травления CR-39 использовалась микроволновая печь типа LG с частотой 2,45 МГц, напряжением 230 В и выходной мощностью 1300 Вт. В исследовании [18] для травления детекторов CR-39 вместо обычной микроволновой печи был впервые использован лабораторный микроволновый прибор типа Monowave-300 производства австрийской компании Anton Parr, показанный на рисунке 10, с частотой 2,45 ГГц и рабочей температурой 70 °С. Раствор для травления и детекторы помещаются в специальную пробирку, затем, в лабораторную микроволновую печь.



Рисунок 10 – Лабораторное микроволновое устройство [18]

Ультразвуковые волны

Вибрация, создаваемая ультразвуковым источником, возбуждает молекулы материала детектора и свободные радикалы, образующиеся в поврежденных областях при облучении частицами. Травление ультразвуком осуществляется путем помещения детекторов с раствором для травления в ультразвуковую ванну с частотой 40 кГц и температурой 70°C.

Возбуждение, вызванное ультразвуком увеличивает энергию поврежденных областей, производимую падающими частицами, которые получают больше деградации в результате травления, чем поврежденные участки, травящиеся без ультразвука. Поэтому любое увеличение деградации поврежденных областей приводит к увеличению скорости травления что впоследствии приводит к увеличению диаметра и размера трека. Преимущества этого метода перед обычным химическим травлением: сокращение времени травления, лучшая прозрачность и однородное травление.

В работе [18] после облучения детекторов альфа-частицами они подвергались химическому травлению. Детектор травили в 6,25 растворе NaOH тремя различными методами нагревания: водяная баня, микроволновая печь и ультразвук. Оптимальное время травления составляло (60-150 мин), (20-30 мин) и (60-120 мин) при использовании водяной бани, микроволновой печи и ультразвука соответственно.

При травлении с помощью водяной бани и ультразвука треки начинают развиваться после 30 минут, а при травлении с помощью микроволновой печи после 10 минут. Плотность трека при травлении с помощью водяной бани увеличивается между временами травления 60-150 минут. После этого плотность начинает уменьшаться, потому что треки начинают перекрывать друг друга. Для микроволновой печи максимальные значения плотности треков появляются в диапазоне времени травления 20-30 минут. Для ультразвука максимальные значения плотности следа появляются при времени травления 60-120 минут. Среднее значение плотности следов

детекторов, протравленных водяной баней, больше среднего значения плотности следов детекторов, протравленных ультразвуком. При травлении детектора CR-39 микроволновой печью критический угол был равен $24,29^\circ$. Это значение ниже, чем значения критических углов для детектора, протравленного водяной баней или ультразвуком. Травление в микроволновой печи происходит быстрее и эффективнее, чем в других методах [18].

Электрохимическое травление – метод травления, где трековые детекторы находятся под воздействием электрического поля во время химического травления. Как только трек был сформирован, электрическое поле на кончике иглы проводящего трека может быть во много раз больше, чем среднее приложенное электрическое поле. Сильно локализованные градиенты напряжений могут инициировать электрические явления, которые в сочетании с химическим действием электролита, приводят к древовидному повреждению треков. Варьируя значения электрического поля, частоты и вида травителя можно повысить вероятность обнаружения треков. Увеличение треков до макроскопических размеров, чтобы они были видны невооруженному глазу, посредством данного метода, облегчает визуализацию и подсчет треков [19].

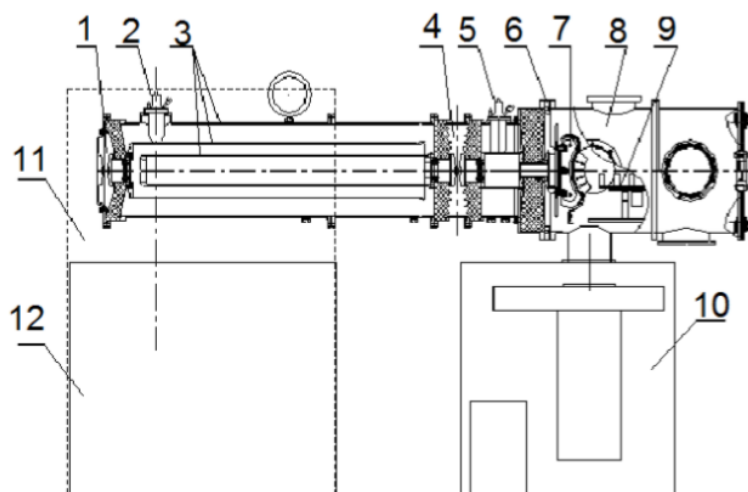
Плазменное травление (также известное как сухое травление) – метод травления, в котором жидкий травитель заменяется плазмой [20]. Тлеющий разряд, создаваемый внутри газа низкого давления, приводит к травлению детектора. Основным процессом является реакция между ионами, созданными в плазме с материалом на поверхности мишени. Браун и Лю впервые применили травление аргоновым высокочастотным разрядом, чтобы определить местонахождение и измерить размер следов альфа-частиц в слюде [21].

4 Приборы и методы исследования

Эксперименты по определению энергетического спектра легких ионов проводились на ионном ускорителе ТЕМП-4М. Ускорительная установка состоит из:

- емкостного накопителя энергии (генератор импульсных напряжений);
- генератора наносекундных импульсов (двойная формирующая линия);
- вакуумного диода;
- предварительного и основного разрядников;
- вакуумной камеры;
- вакуумной системы;
- диагностического оборудования (делители напряжения, пояс Роговского, цилиндр Фарадея);
- системы водоподготовки и подачи газа.

На рисунке 11 представлена функциональная схема ускорителя ТЕМП-4М.



1 – предварительный разрядник; 2,5 – делители напряжения; 3 – двойная формирующая линия; 4 – основной разрядник; 6 – пояс Роговского; 7 – диод; 8 – вакуумная камера; 9 – мишенный узел; 10 – вакуумная система; 11 – ГИН; 12 – система водоподготовки и подачи газа.

Рисунок 11 – Функциональная схема ускорителя ТЕМП-4М [3]

Ускоритель формирует сдвоенные разнополярные импульсы. Первый – отрицательный (300-500 нс, 100-150 кВ), второй – положительный (150 нс, 250-300 кВ), частота импульсов 5-10 имп./мин. ГИН, собранный по схеме Аркадьева-Маркса, состоит из восьми ступеней конденсаторов ИК-100-0,4 напряжением 100 кВ, емкостью 0,4 мкФ. Собственная индуктивность ГИН порядка 5 мкГн. Наносекундный генератор выполнен в виде коаксиальной двойной формирующей линии (линии Блюмляйна) с жидким диэлектриком (водой), волновое сопротивление 4,9 Ом, содержит основной и предварительный газовые разрядники. Вакуумный диод состоит из потенциального и заземленного электродов. Потенциальный электрод диода соединен через предварительный газовый разрядник с внутренним электродомДФЛ. Средний электродДФЛ соединен с ГИН. Заземленный электрод диода соединен с корпусом ускорителя. Для создания плотной плазмы необходимого состава на поверхности потенциального электрода диода используется явление взрывной электронной эмиссии. На рисунке 12 представлен внешний вид ускорителя ТЕМП-4М.



Рисунок 12 – Внешний вид ускорителя ТЕМП-4М

Принцип работы ускорителя ТЕМП-4М

ГИН заряжает емкость ($C_1=14$ нФ), образованную средним электродомДФЛ и корпусом ускорителя. Емкость внутреннего электродаДФЛ

относительно среднего электрода ($C_2=10$ нФ) много больше паразитной емкости внутреннего электрода ДФЛ относительно корпуса, поэтому потенциал внутреннего электрода приблизительно равен потенциалу среднего электрода. При достижении на предварительном газовом разряднике пробивного напряжения он срабатывает и происходит зарядка емкости между внутренним и средним электродами ДФЛ. Зарядка происходит через предварительный газовый разрядник и диод. При этом на диоде формируется импульс отрицательного напряжения (300-600 нс, 100-150 кВ). В течение первого импульса на поверхности потенциального электрода диода образуется взрывоэмиссионная плазма. Пробивное напряжение основного разрядника выше, чем у предварительного разрядника, и его пробой происходит через паузу, контролируемую давлением газа в основном разряднике. В течение паузы происходит дополнительная зарядка емкостей среднего электрода относительно корпуса и внутреннего электрода ДФЛ. После срабатывания основного газового разрядника генерируется второй импульс напряжения положительной полярности (150 нс, 250-300 кВ). В течение второго импульса из взрывоэмиссионной плазмы формируется пучок ионов, который ускоряется в анод-катодном зазоре [3].

Диагностическое оборудование ускорителя

Напряжение на потенциальном электроде контролируется высокочастотным высоковольтным делителем, установленным перед диодным узлом. Для измерения полного тока диодного узла использовался пояс Роговского. Ток пучка измеряли посредством цилиндра Фарадея. Электрические сигналы с датчиков регистрировали осциллографом Tektronix 2024C (200 МГц).

Методика травления детекторов

Детекторы после облучения ионным пучком протравливались в посудине с водным раствором NaOH, помещенной в резервуар водяной бани при температуре 70°C. Концентрация едкого натрия – 6 Н. На рисунке 13 представлен внешний вид водяной бани.



Рисунок 13 – Водяная баня WH-4C

Водяная баня модели WH-4C производства китайской компании Zenith Lab. Характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики бани водяной WH-4C

Длина	460 мм
Ширина	330 мм
Высота	250 мм
Материал корпуса	Металл
Напряжение сети	220±22 В
Потребляемая мощность (± 5%)	1000 Вт
Длина рабочей камеры (± 5%)	320 мм
Ширина рабочей камеры (± 5%)	310 мм
Высота рабочей камеры (± 5%)	110 мм
Рабочая температура	30-100°C
Точность поддержания температуры	±1°C
Материал основания рабочей камеры	Нержавеющая сталь
Материал крышки рабочей камеры	Нержавеющая сталь
Количество секций	1
Отображение текущей температуры	Да
Отображение температуры установки	Да
Вес брутто	8,5 кг
Вес нетто	7,4 кг

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Примбетов Мурат Исаевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» / «Техника и физика высоких напряжений»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих	Стоимость материальных ресурсов, стоимость спецоборудования, тарифные ставки исполнителей научно-исследовательского проекта.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая ставка взносов во внебюджетные фонды – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Составление карты сегментирования рынка, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Составление перечня этапов и работ, распределение исполнителей, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения научного исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Расчет материальных затрат НТИ; Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ; Основная и дополнительная заработные платы исполнителей темы; Отчисления во внебюджетные фонды; Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.
4. Оценка ресурсной, финансовой эффективности ИР	Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Карта сегментирования рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Матрица SWOT 4. Календарный план-график проведения работ научных исследований
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Примбетов Мурат Исаевич		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Магистерская диссертация посвящена разработке спектрометра Томсона для определения энергий ионов в импульсном ускорителе. Информация по энергиям в свою очередь необходима для получения в дальнейшем ультракороткоживущих изотопов, внедряемых в организм человека для диагностики раковых, сердечно-сосудистых и других заболеваний.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение затрат;
- определение ресурсной и финансовой эффективности исследования.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциально, новый тип импульсного ускорителя легких ионов обладает существенными преимуществами перед циклотронами и линейными ускорителями в области синтеза ультракороткоживущих изотопов. Благодаря высокому темпу ускорения (более 2-3 МэВ/см), короткому по длительности импульсному пучку (~ 10 нс) снизятся весогабаритные характеристики, а также требования к вакуумным условиям (10^{-4} мм.рт.ст.), что в целом значительно удешевит саму процедуру получения радиофармпрепаратов и позволит перейти к использованию ультракороткоживущих изотопов на основе N, C, O,

с периодом полураспада до 20 мин. Это резко снизит радиационную нагрузку на организм, позволит расширить применение радиофармпрепаратов, избавит от необходимости транспортировки радиофармпрепаратов с более высоким периодом полураспада (например, ^{18}F), одним словом, исключит дополнительные расходы и потенциальную опасность.

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями данного исследования являются научно-исследовательские институты, научно-производственные лаборатории, медицинские учреждения, компании, осуществляющие производство и доставку досмотрового оборудования.

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка

Потребители Результаты исследований	Научно-исследовательские институты	Научно-производственные лаборатории	Медицинские учреждения	Компании, осуществляющие производство и доставку досмотрового оборудования
Спектрометр Томсона	+	+	-	-
Ультракоткороткоживущие изотопы	+	+	+	-
Импульсный ускоритель ионов КУИ	+	+	+	+

Как видно из составленной карты сегментирования, сегменты, формирующие целевой рынок – научно-исследовательские институты и научно-производственные лаборатории. Поскольку глобальной целью является производство компактных, передвижных импульсных ускорителей ионов, привлекательными потребителями в будущем являются медицинские учреждения и компании, осуществляющие производство и доставку досмотрового оборудования.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В современной ядерной медицине для изготовления радиофармпрепаратов используются циклотроны, входящие в состав позитронной эмиссионной и компьютерной томографии, для радионуклидной диагностики организма. Большинство медицинских учреждений и производителей в стране используют импортное оборудование, поскольку на российском рынке отсутствуют отечественные аналоги. Исходя из данных реестра государственных контрактов Федерального Казначейства РФ, доля импортного оборудования для ядерной медицины составляет более 80%, значительную часть которого составляют линейные ускорители, радиофармпрепараты, позитронно-эмиссионные томографы. Основными производителями циклотронов являются такие зарубежные компании как GE, IBA, Siemens, ACS, а также отечественные АО «НИИЭФА» (г. Санкт-Петербург), ОИЯИ (г. Дубна). Какие же преимущества использования ускорителей КУИ по сравнению с циклотронами. Ориентировочная стоимость циклотронов – \$1-3 млн., ещё около \$2 млн. стоит капитальное строительство центра, связанное с большим весом циклотрона (более 20 тонн) и необходимостью защиты от ионизирующего излучения. Операционное обслуживание циклотрона около \$300 тыс. в год. Стоимость ускорителя КУИ на базе отечественных комплектующих предполагается около 35 млн. руб. Зачастую позитронно-эмиссионные томографы находятся в разных клиниках, и

доставка радиофармпрепаратов от циклотрона к томографу является непростой задачей. Возникает проблема распада наработанного вещества, помимо задач радиационного контроля. На одну единицу активности, доставленную в клинику, необходимо наработать 3-4 единицы радиофармпрепарата. В итоге, наибольшая доля в стоимости дозы радиофармпрепарата (около 450 \$) приходится на наработку запаса активности и доставку. Высокая стоимость и сроки перевозки РФП по России, связанные в частности с большими расстояниями между населёнными пунктами и качеством дорог, является серьёзным барьером для распространения ПЭТ диагностики в стране. Очень часто клинике приходится приобретать не только ПЭТ сканер, но и ПЭТ-центр для наработки изотопа и синтеза РФП. Низкие весогабаритные параметры допускают эксплуатацию ускорителя КУИ в передвижном исполнении. Преимущества импульсных ускорителей КУИ наиболее очевидны при производстве УКЖИ с периодом полураспада менее 10-20 мин, когда ускоритель находится в непосредственной близости с пациентом. В этом случае в значительной степени снижается требуемая мощность ускорителя, стоимость и габаритные размеры. Высокая радиоактивность, получаемая за сеанс работы циклотрона, заставляет оснащать модули синтеза радиационно-стойкими материалами, а также устанавливать громоздкую и тяжёлую радиационную защиту. Толщина свинцовых стенок защиты превышает 50 мм, вес около 10 тонн. Использование ускорителя КУИ с локальной радиационной защитой в непосредственной близости к пациенту снизит радиационную нагрузку на организм.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (10)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентноспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда пользователя	0,08	4	2	0,32	0,16
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	4	2	0,16	0,08
Помехоустойчивость	0,03	3	3	0,09	0,09
Энергоэкономичность	0,06	4	1	0,24	0,06
Надежность	0,1	3	3	0,3	0,3
Уровень шума	0,03	3	3	0,09	0,09
Безопасность	0,2	4	3	0,8	0,6
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	0,16	0,12
Простота эксплуатации	0,03	4	2	0,12	0,06
Масса, габариты	0,03	5	1	0,15	0,03
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,04	3	4	0,12	0,16
Уровень проникновения на рынок	0,03	1	5	0,03	0,15
Цена	0,05	5	1	0,25	0,05
Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	3	3	0,09	0,09
Послепродажное обслуживание	0,03	4	2	0,12	0,06
Финансирование научной разработки	0,1	5	4	0,5	0,4
Срок выхода на рынок	0,03	2	5	0,06	0,15

Продолжение таблицы 4

Наличие сертификации разработки	0,05	3	5	0,15	0,25
Итого	1			3,75	2,9

Результаты предполагаемых исследований по данному проекту расширят понимание механизма нового метода ускорения и позволят перевести этот метод из области фундаментальных поисковых исследований в область практического использования данного типа ускорителей. Это позволит рассматривать вариант использования нового типа отечественного импульсного ускорителя легких ионов, обладающего существенными преимуществами перед циклотронами.

7.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап – описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 5 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.
С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Наличие бюджетного финансирования.	Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.
С4. Квалифицированный персонал.	Сл4. Отсутствие бизнес-плана по коммерциализации научной разработки.
С5. Актуальность проводимых исследований.	Сл5. Большой срок изготовления оборудования.
С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний.	

Продолжение таблицы 5

Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Использование в последующих научных исследованиях. В4. Участия в конференциях. В5. Публикации в научных журналах. В6. Проведение лабораторных работ для студентов. В7. Выход на рынок.	Угрозы: У1. Ограничения на экспорт технологии. У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.
--	--

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта						Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	С6	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	0	+	-	0	-	-	-
	В2	-	+	-	-	+	-	+	-	0	-	-
	В3	+	-	+	+	+	+	+	0	-	-	-
	В4	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	В5	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	В6	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
	В7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	-	-	0	+	+	+	+
	У2	0	0	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта:
В1С1С2С3С4С6; В2С2С5; В3С1С3С4С5С6; В4С3С4С5; В5С4С5;
В6С1С4С5С6; В7С1С2С3С4С5С6.

Сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта:
В2В3В6Сл1; В7Сл1Сл2Сл3Сл4.

Сильно коррелирующие угрозы и слабые стороны проекта:
У1Сл2Сл3Сл4Сл5; У2Сл1; У3Сл5.

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С3. Наличие бюджетного финансирования. С4. Квалифицированный персонал. С5. Актуальность проводимых исследований. С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ. Сл4. Отсутствие бизнес-плана по коммерциализации научной разработки. Сл5. Большой срок изготовления оборудования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Использование в последующих научных исследованиях. В4. Участия в конференциях. В5. Публикации в научных журналах. В6. Проведение лабораторных работ для студентов. В7. Выход на рынок.	Экономичность, энергоэффективность технологии, низкая стоимость производства, по сравнению с другими технологиями и наличие финансирования повышает возможность выхода на рынок. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний дает возможность проводить учебные занятия и научные исследования.	Отсутствие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей ставит под вопрос возможность выхода на рынок.
Угрозы: У1. Ограничения на экспорт технологии. У2. Невыход на рынок. У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	Политическая обстановка в мире может привести к ограничению на экспорт технологии.	Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ и бизнес-плана по коммерциализации научной разработки приведет к угрозе невыхода на рынок.

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель – научный сотрудник, инженер 1 категории, 2 высококвалифицированных рабочих, техник и инженер 3 категории.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной литературы по теме	Инженер 1 категории, инженер 3 категории
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
Расчетно-конструкторская часть	4	Расчеты, необходимые для проектирования спектрометра Томсона	Инженер 3 категории
	5	Разработка чертежей спектрометра	Инженер 3 категории
	6	Поиск и закупка материалов	Инженер 1 категории
	7	Токарная обработка деталей спектрометра	Высококвалифицированный рабочий
	8	Сварка деталей спектрометра	Высококвалифицированный рабочий
	9	Сборка спектрометра	Инженер 3 категории

Продолжение таблицы 8

	10	Измерение магнитного поля спектрометра	Инженер 1 категории, инженер 3 категории
	11	Составление базы данных спектрометра	Инженер 3 категории
	12	Монтаж и наладка источника электрического поля	Техник
Экспериментальная часть	13	Проведение экспериментов на ускорителе	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории
	14	Травление детекторов	Инженер 1 категории, инженер 3 категории
Анализ результатов	15	Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории
Отчет по проведенной работе	16	Составление пояснительной записки	Инженер 3 категории

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (11)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (12)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Длительность этапа работы, переведенная из рабочих дней в календарные:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (13)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 103 - 15} = 1,48,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения введены в таблицу 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.		
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	5	3,8	3,8	6
Обзор научной литературы по теме	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	60	80	68	34	51
Выбор направления исследований	Руководитель	3	5	3,8	3,8	6
Расчеты, необходимые для проектирования спектрометра Томсона	Инженер 3 категории	14	18	15,6	15,6	24
Разработка чертежей спектрометра	Инженер 3 категории	21	28	18,6	18,6	28
Поиск и закупка материалов	Инженер 1 категории	5	7	5,8	5,8	9
Токарная обработка деталей спектрометра	Высококвалифицированный рабочий	20	30	24	12	18
Сварка деталей спектрометра	Высококвалифицированный рабочий	4	6	4,8	2,4	4
Сборка спектрометра	Инженер 3 категории	3	5	3,8	3,8	6
Измерение магнитного поля спектрометра	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	2	8	4,2	2,1	4
Составление базы данных спектрометра	Инженер 3 категории	5	7	5,8	5,8	9
Монтаж и наладка источника электрического поля	Техник	20	25	22	22	33

Продолжение таблицы 9

Проведение экспериментов на ускорителе	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории	60	120	84	28	42
Травление детекторов	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	30	70	46	23	35
Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории	21	30	24,6	8,2	13
Составление пояснительной записки	Инженер 3 категории	14	21	16,8	16,8	25

Календарный план-график представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план-график проведения работ научных исследований

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ					
				декабрь	январь	февраль	март	апрель	май
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	6						
2	Обзор научной литературы по теме	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	51						
3	Выбор направления исследований	Руководитель	6						
4	Расчеты, необходимые для проектирования спектрометра Томсона	Инженер 3 категории	24						
5	Разработка чертежей спектрометра	Инженер 3 категории	28						
6	Поиск и закупка материалов	Инженер 1 категории	9						
7	Токарная обработка	Высококвалифицированный	18						

Продолжение таблицы 10

	деталей спектрометра	рабочий								
8	Сварка деталей спектрометра	Высококвали- фицированный рабочий	4							
9	Сборка спектрометра	Инженер 3 категории	6							
10	Измерение магнитного поля спектрометра	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	4							
11	Составление базы данных спектрометра	Инженер 3 категории	9							
12	Монтаж и наладка источника электрического поля	Техник	33							
13	Проведение экспериментов на ускорителе	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории	42							
14	Травление детекторов	Инженер 1 категории, инженер 3 категории	35							
15	Проведение анализа по проведенным экспериментам	Руководитель, инженер 1 категории, инженер 3 категории	13							
16	Составление пояснительной записки	Инженер 3 категории	25							

Итого: ■ – руководитель (67 дн.); ■ – инженер 1 категории (154 дн.); ■ – высококвалифицированный рабочий (22 дн.); ■ – техник (33 дн.); ■ – инженер 3 категории (233 дн.).

7.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

7.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi} \quad (14)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки занесены в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Круг дюралевый (пруток) 130 мм Д16Т	кг	0,73	203	185,24
Труба дюралевая 110х5х3000 мм Д16Т, круглая, матовая	п.м.	0,2	480	120
Лист нержавеющей 4х мм. 12Х18Н10Т горячекатаный, матовый	кг	0,46	223,31	128,4
Лист нержавеющей 2х мм. 12Х18Н10Т холоднокатаный, матовый	кг	0,46	223,31	128,4
Труба нержавеющей 108х5 мм. 12Х18Н10Т бесшовная, круглая, матовая	кг	0,89	330	367,13
Лист нержавеющей 5х мм. 12Х18Н10Т горячекатаный, матовый	кг	0,57	223,31	159,11
Круг калиброванный Ст3, 100 мм	кг	6,08	42	319,2
Лист медный 2,5 мм М1, холоднокатаный, матовый	кг	0,07	430	37,63
Лист медный 0,5 мм М1, холоднокатаный, матовый	кг	0,02	430	10,75
Пленка полиэтиленовая	шт	1	160	200
Лист нержавеющей 10х мм. 12Х18Н10Т горячекатаный, матовый	кг	1,55	223,31	346,13
Лист дюралевый 4х1200х3000 мм Д16АТ, матовый	кг	0,29	420	152,25
Плита дюралевая 14х1200х3000 мм Д16	кг	5,58	233	1625,18
Винт DIN 912 с цилиндрической головкой внутр. шестигранник 8.8 оц М6х120	шт	2	22	55

Продолжение таблицы 11

Винт DIN 551 установочный тупой конец шлиц-прямой 45Н фосф М6х20	шт	15	2,6	48,75
Винт DIN 551 установочный тупой конец шлиц-прямой 45Н фосф М6х10	шт	4	2,32	11,6
Магнитная призма 80х40х20	шт	2	2150	5375
Трековый детектор CR-39	шт	20	1057	26425
Итого				35694,77

7.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения научных работ приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол- во ед. обор- я	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Тесламетр ТПУ-05	Тесламетр ТПУ-02	Измеритель магнитной индукции ПЗ-81	1	102	108	187,7	117,3	124,2	215,8
2	Источник высокого напряжения ИБНР-20/1	Источник высокого напряжения ИБНР- 20/1(+/-)	Glassman HV Power Supply PS/LG-30R-5	1	29,5	33	170	33,93	37,95	195,5
3	Термостати- ческая водяная баня WT100-1	Термостати- ческая водяная баня WT100-1B	Водяная баня WB-4MS	1	29,43	37,88	42,05	33,84	43,56	48,36
4	Осциллограф Tektronix TDS2024C	Осциллограф Keysight MSOX2014A	Осциллограф АОС-5104	1	174	224,4	91,26	200,1	258,1	104,9
Итого								385,2	463,8	564,6

7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата сотрудника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (15)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 9);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (16)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер 1 категории	Высоковалифицированный рабочий	Техник	Инженер 3 категории
Календарное число дней	67	154	22	33	233
Количество нерабочих дней					
- выходные дни	15	37	2	6	52
- праздничные дни	9	23	4	5	38
Действительный фонд рабочего времени	43	94	16	22	143

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (17)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (в соответствии с положением об оплате труда сотрудников ТПУ);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от $З_{тс}$);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	28924,24	56402,27	2557,51	43,8	112018,94
Инженер 1 категории	20776,45	40514,08	1837,08	101,4	186237,91
Высококвалифицированный рабочий	15220,84	29680,64	1345,84	14,4	19380,1
Техник	12582,86	24536,58	1112,59	22	24476,98
Инженер 3 категории	13356	26044,2	1180,95	155,9	184110,1
Итого $З_{осн}$					526224,03

7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (18)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

7.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (19)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Общая ставка взносов составляет в 2018 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ): 22% – на пенсионное страхование, 5,1% – на медицинское страхование, 2,9% – на социальное страхование. При этом сумма взносов к уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Ставка 30% будет действовать по 2020 год включительно (ст. 425, 426 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	112018,94	16802,84
Инженер 1 категории	186237,91	27935,69
Высококвалифицированный рабочий	19380,1	2907,02
Техник	24476,98	3671,55
Инженер 3 категории	184110,1	27616,52
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	181547,3	

7.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Результаты расчета бюджета затрат научно-технического исследования приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Затраты и отчисления	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	35694,77	35694,77	35694,77	Пункт 8.3.1
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	385200	463800	564600	Пункт 8.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей	526224,03	526224,03	526224,03	Пункт 8.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	78933,62	78933,62	78933,62	Пункт 8.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	181547,3	181547,3	181547,3	Пункт 8.3.5
6. Бюджет затрат НТИ	1207599,72	1286199,72	1386999,72	Сумма всех затрат и отчислений

7.4 Определение ресурсной и финансовой 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (20)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (21)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i , – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	5	4
3. Помехоустойчивость	0,25	4	4	3
4. Энергосбережение	0,15	4	3	3
5. Надежность	0,25	3	4	5
6. Материалоемкость	0,1	4	4	4
Итого	1	-	-	-

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (22)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.max}}{I_{исп.i}} \quad (23)$$

Результаты расчетов и сравнения интегральных показателей эффективности приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	0,93	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	3,95	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,31	4,25	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,01	1,12

Выводы по разделу

В разделе была проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований, рассмотрен вопрос планирования научно-исследовательских работ, определены затраты, эффективность ресурсной и финансовой эффективности исследования.

Анализ конкурентных технических решений показал, что как, технические, так и экономические критерии оценки эффективности

создаваемого продукта способны заинтересовать партнеров и инвесторов, завоевать доверие покупателей.

Первый вариант исполнения научно-технического исследования – наиболее эффективный с позиции финансовой и ресурсной эффективности.