

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 04.03.02 Физика конденсированного состояния вещества  
Отделение школы (НОЦ) Экспериментальная физика

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы</b>
УДК 533.95.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Никитенков Николай Николаевич	доктор физико- математических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская Марина Витальевна	кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	доктор технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения Экспериментальной физики	Лидер Андрей Маркович	доктор технических наук		

Томск – 2018 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**  
**по основной образовательной программе высшего профессионального образования,**  
**направление подготовки Физика конденсированного состояния вещества,**  
**квалификация – магистр**

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Общекультурные (универсальные) компетенции</b>		
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-7), критерий 5 АИОР
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-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
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-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
<b>Профессиональные компетенции</b>		
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 мастерства	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
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-5), критерий 5 АИОР
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	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР

	достижения водородной энергетики и плазменных технологий	
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания, методы исследования в области профессиональной деятельности, при получении и исследовании материалов атомной промышленности и наноматериалов	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР
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, осуществлять презентацию научной деятельности	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
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 (ПК-3), критерий 5 АИОР
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 (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки (специальность) 04.03.02 Физика  
Отделение школы (НОЦ) Экспериментальная физика

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна

Тема работы:

Динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Модель плотной квазиклассической плазмы;</li><li>2) Методики изучения динамического структурного фактора с учетом функции локальных полей (система уравнений Орнштейна-Цернике с использованием метода последовательных приближений) и без учета функции локальных полей.</li></ol>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1) Подготовка аналитического обзора по изучению динамического структурного фактора и знакомство с современной научной литературой и состоянием проблемы;</p> <p>2) Построение алгоритмов, аналитический анализ и разработка программы для моделирования динамического структурного фактора.</p> <p>3) Выбор соответствующих безразмерных параметров для моделирования.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Блок-схема вычисления ДСФ</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Верховская Марина Витальевна</p>
<p>5. Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук Юрий Митрофанович</p>
<p>Раздел на английском языке (Приложение А)</p>	<p>Кабрышева Оксана Павловна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Литературный обзор; разработка алгоритма и аналитический анализ; моделирование динамического структурного фактора финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресорсосбережение; социциальная ответственность.</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Никитенков Николай Николаевич	доктор физико-математических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна

**Тема диссертации: «Динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы»**

<b>Подразделение</b>	<b>ИШЯТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ЭФ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	03.04.02 Физика конденсированного состояния вещества

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта</i>
<i>3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

<ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Оценочная карта конкурентных технических решений</i></li> <li><i>2. Матрица SWOT</i></li> <li><i>3. Календарный план проекта</i></li> <li><i>4. Бюджет проекта</i></li> <li><i>5. Определение ресурсоэффективности проекта</i></li> </ol>	
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна

<b>Подразделение</b>	<b>ИШЯТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ЭФ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	03.04.02 Физика конденсированного состояния вещества

**Тема диссертации: Динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Работа проводилась в лаборатории второго этажа в третьего корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета. Технический процесс заключается в исследовании динамического структурного фактора. В процессе возникли следующие вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. отклонение показателей микроклимата в помещении</li> <li>2. превышение уровней шума;</li> <li>3. превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений</li> <li>4. недостаточная освещенность рабочей зоны; и опасный фактор – электрический ток.</li> </ol>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ и СанПиН

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>	<p>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.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul>	<p>Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый неотпускающий 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.</p>

<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды</li> </ul>	<p>В процессе выполнения работы могут возникать отходы металла, которые могут вызвать загрязнение почвы и воды. Металлы используют в качестве объектов исследования. После этого процесса, могут образоваться металлические крошки, небольшие кусочки металла.</p> <p>Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, необходимо разработать меры по переработке отходов исследования.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Разработать профилактические меры по устойчивой работе производства. Чтобы избежать опасности, необходимы следующие мероприятия:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;</li> <li>2) наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о пожаре и взрыве;</li> <li>3) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных.</li> </ol> <p>А также рассмотреть возможные ЧС в Сибири:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Сильные морозы;</li> <li>2) Диверсия.</li> </ol>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Организационные мероприятия обеспечения безопасности;</li> <li>2. Особенности законодательного регулирования проектных решений;</li> <li>3. Привести перечень ГОСТ СНиПов использованных в работе.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>1. При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров):</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. План размещения светильников</li> <li>2. План Эвакуации</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.02.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		26.02.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ61	Акмышева Айза Байжановна		26.02.2018



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

Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность): 03.04.02. Физика  
 Уровень образования: магистр  
 Отделение школы (НОЦ): Экспериментальная Физика  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

**Магистерская диссертация**

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.02.18	Обзор литературы	15
15.03.18	Разработка алгоритма и аналитический анализ	20
30.03.18	Моделирование и программная реализация	20
10.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
09.04.18	Социальная ответственность	15
10.05.18	Раздел, выполненный на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Никитенков Николай Николаевич	доктор физико-математических наук		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения Экспериментальной физики	Лидер Андрей Маркович	доктор технических наук		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 102 страницы, 11 рисунков, 17 таблиц, 33 источников, 59 формул и 1 приложение.

Ключевые слова: квазиклассическая плазма, динамический структурный фактор, безразмерные параметры плазмы, потенциал взаимодействия частиц, функция отклика, функция локальных полей, уравнения Орнштейна-Цернике.

Объектом исследования является плотная квазиклассическая плазма.

Предметом исследования является динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы, учитывающий эффект дифракции в широком диапазоне плотностей и температур.

Цель работы – исследование динамического структурного фактора для плотной квазиклассической плазмы с учетом эффекта дифракции и коллективных эффектов.

В процессе исследования проводились: составление алгоритмов для вывода аналитических выражений и численных результатов.

В результате исследования получены расчеты динамических структурных факторов при различных значениях безразмерных параметров, определены функции отклика с учетом функции локальных полей и без него.

Область применения: полученные в работе результаты расширяют знания теоретических методов анализа квазиклассического подхода.

Экономическая эффективность/значимость работы: данные могут быть использованы при расчетах, выполняемых в рамках реальных проектов по осуществлению УТС.

## Обозначения и сокращения

УТС – управляемый термоядерный синтез

МД – молекулярная динамика

РДМ – эффективный потенциал [1]

ДФ – диэлектрическая функция

ФО – функция отклика

ФЛП – функция локальных полей

ПКФ – прямая корреляционная функция

ДСФ – динамический структурный фактор

ССФ – статический структурный фактор

ГЦП – гиперцепное приближение

ОКП – однокомпонентная плазма

ДСФИ – динамический структурный фактор ионов

ЛВКГМ – линеаризованная вязкоупругая квантовая гидродинамическая модель

## Оглавление

Введение .....	14
1 Теоретическое исследование динамических свойств плотной квазиклассической плазмы .....	17
1.1 Современное состояние проблемы .....	17
1.2 Литературный обзор по изучению методов исследования динамического структурного фактора.....	19
1.3 Безразмерные параметры плазмы .....	23
1.4 Потенциалы взаимодействия заряженных частиц в плазме.....	25
2 Исследование динамического структурного фактора для плотной квазиклассической плазмы с учетом эффекта дифракции и коллективных эффектов .....	29
2.1 Динамический структурный фактор без учета функции локальных полей.....	29
2.1.1 Вычисление необходимых элементов для определения динамического структурного фактора без учета функции локальных полей.....	30
2.1.2 Разработка алгоритма для вычисления динамического структурного фактора без учета функции локальных полей .....	32
2.2 Динамический структурный фактор с учетом функции локальных полей.....	33
2.2.1 Функция локальных полей электронной плазмы .....	33
2.2.2 Разработка алгоритма динамического структурного фактора с учетом функции локальных полей.....	36
2.3 Программная реализация вычисления динамического структурного фактора.....	37
3 Моделирование .....	38
3.1 Динамический структурный фактор при различных значениях безразмерных параметров .....	38
3.2 Результаты и обсуждения .....	42
4. Финансовый менеджмент,ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	44
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	45
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	45

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	45
4.1.3 SWOT-анализ .....	48
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	49
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	49
4.2.2 Структура работ в рамках научного исследования.....	50
4.2.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	51
4.2.4 Определение трудоемкости выполнения работ.....	53
4.2.5 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	58
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	58
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	59
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	60
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	61
4.3.6. Накладные расходы .....	62
4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта ..	63
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	63
Выводы разделу .....	66
5. Социальная ответственность .....	67
5.1 Техника безопасности .....	68
5.1.1 Микроклимат.....	68
5.1.2 Освещенность.....	70
5.1.3 Шум .....	73
5.1.4 Электромагнитное излучение.....	75
5.1.5 Электробезопасность.....	77
5.1.6 Пожаровзрывоопасность.....	77
5.2 Экологическая безопасность .....	80
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81
5.4 Перечень законодательного документа.....	82
Вывод к разделу .....	83
Заключение .....	84
Приложение А .....	85
Список использованных источников .....	100

## **Введение**

Начавшаяся в позапрошлом столетии научно-техническая революция многократно увеличила энергетические потребности человечества и заставляет его обратиться к одному из наиболее перспективных направлений в энергетике – получению энергии с использованием реакции управляемого термоядерного синтеза (УТС), основанной на слиянии легких ядер с последующим выделением огромного количества энергии. Для получения такой реакции в настоящее время имеется два пути. Первый основан на магнитном удержании плазмы, нагретой до температуры в несколько сотен миллионов градусов. Второй интенсивный разогрев термоядерного горючего до высоких температур при одновременном его сжатии потоками интенсивного электромагнитного излучения или пучками тяжелых ионов [2].

Все вышеуказанное стимулирует развитию целой области физики, известной теперь как физика плотной или неидеальной плазмы. Плазменное состояние вещества характеризуется достаточно высокой степенью ионизации атомов, а значит, в нем значительную роль играют электромагнитные взаимодействия. Это ведет к существенному отличию свойств плазмы от соответствующих свойств нейтрального газа, жидкости или твердого тела, что позволяет рассматривать ее как особое состояние вещества, образующееся при возникновении газовых разрядов, получающееся в различных экспериментальных установках, которое встречается в околоземном космическом пространстве, ионосфере и различных астрофизических объектах.

### **Актуальность темы**

Исследование в области физики плазмы невозможно без теоретического осмысления и обоснования полученных экспериментальных данных, поэтому был разработан целый ряд теоретических методов анализа, позволяющих получать достоверные данные о термодинамических, оптических, электродинамических и динамических свойствах плотной

плазмы. Наряду с этим в последнее время все более широкое распространение получил так называемый квазиклассический подход [3,4], суть которого заключается в том, что при вычислении характеристик неидеальной плазмы используются более простые уравнения классической физики, а учет квантовых эффектов производится непосредственно в микропотенциале взаимодействия частиц системы. Благодаря учету квантовых и коллективных эффектов такой потенциал, в отличие от кулоновского, является конечным на малых расстояниях. Следует отметить, что для описания свойств плотной заряженной среды может использоваться как модель однокомпонентной (ОКП), так и двухкомпонентной (ДКП) и более компонентной плазмы.

**Объектом исследования** является плотная квазиклассическая плазма.

**Предметом исследования** является динамический структурный фактор для плотной квазиклассической плазмы, учитывающий эффект дифракции в широком диапазоне плотностей и температур.

Целью работы является исследование динамического структурного фактора для плотной квазиклассической плазмы с учетом эффекта дифракции и коллективных эффектов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1.1 Рассчитать функцию отклика для системы невзаимодействующих частиц;

1.2 Вычислить функцию отклика для взаимодействующих частиц, при нулевом значении функции локальных полей;

1.3 Рассчитать динамический структурный фактор и провести анализ полученных данных.

2.1 Записать уравнения для вычисления прямой корреляционной функции;

2.2 Вычислить методом итерации функцию локальных полей плазмы, путем решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении;

2.3 Рассчитать функцию отклика при не нулевом значении функции локальных полей;

2.4 Рассчитать динамический структурный фактор, провести анализ и сравнить с предыдущими данными динамического структурного фактора.

**Методы исследования** – для достижения поставленной задачи был использован метод последовательных приближений, метод интегральных уравнений Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении для нахождения статических корреляционных свойств плазмы, для проведения численных расчетов применены алгоритмы программы Mathematica и Delphi.



# **1 Теоретическое исследование динамических свойств плотной квазиклассической плазмы**

## **1.1 Современное состояние проблемы**

Под неидеальной плазмой понимают квазинейтральную систему частиц, где межчастичное кулоновское взаимодействие доминирует над хаотическим движением и определяет поведение системы. Плазма состоит из различных сортов частиц как заряженных, так и нейтральных. Говоря о составляющей плазмы, подразумевается группа из одного сорта частиц системы, к примеру, электронная составляющая плазмы. Часто различные сорта частиц имеют большое отличие в таких физических свойствах как масса, заряд, температура и плотность. Отличие в массе электрона относительно масс иона и атома приводит к различным характерным временам эволюции и релаксации компонент плазмы. Часто это является причиной того, что электроны и ионы (атомы) достаточно долгое время имеют не одинаковые температуры. В связи с этим можно говорить о подсистеме определенных сортов частиц, имеющих близкое значение масс и зарядов. В так называемой комплексной или пылевой плазме помимо электронов и ионов (атомов) имеются нано- и микро размерные частицы, которые называются пылевыми частицами. Масса и заряд пылевой частицы много больше массы и заряда иона и электрона. Таким образом, в плазме различают электронную, ионную и пылевую подсистемы. Если энергия взаимодействия между частицами одной подсистемы сравнима или превосходит в среднем кинетическую энергию этих частиц, то говорят о подсистеме сильно связанных частиц. После прояснения понятия о подсистеме плазмы, можно расширить определение неидеальной плазмы. В современном понимании, неидеальной плазмой называется плазма, в которой хотя бы одна из ее подсистем является сильно связанной [5].

При различных температурах компонент плазмы с обязательным учетом влияния подсистем друг на друга, можно рассматривать временную

динамику каждой подсистемы в отдельности. К примеру, при отсутствии пылевой компоненты, можно смоделировать процесс эволюции электронной подсистемы при фиксированных позициях более инертных ионов, так как время релаксации первых сортов частиц меньше всех характерных времен вторых. Таким образом, полученное квазиравновесное, либо квазистационарное состояние называется локальным, поскольку через некоторый характерный для ионной подсистемы период времени конфигурация ионов поменяется, и электронная подсистема будет вынуждена перейти в новое квазиравновесное (квазистационарное) состояние. Обратное, допускается моделирование динамики подсистемы ионов, считая, что электроны находятся в локальном равновесии (но не на фиксированных позициях). В случае комплексной плазмы, пылевая подсистема может быть рассмотрена, как если бы ионы, атомы и электроны находились в локальном стационарном, либо равновесном состоянии. Если подсистема состоит из частиц одного сорта, то говорят об однокомпонентной модели плазмы. Ключевым моментом в этом подходе является определение эффективного поля, действующего на каждую частицу подсистемы. Нужно иметь в виду, что при расчете динамических свойств легкой подсистемы плазмы, частицы более инертной подсистемы должны быть расположены в определенных позициях и их поле, действующее на частицы первой подсистемы, рассчитывается прямым суммированием с учетом позиции каждой частицы второй подсистемы. В случае же рассмотрения динамических свойств тяжелой подсистемы плазмы, менее инертная мобильная компонента может рассматриваться как окружающая среда с непрерывной плотностью. Учет этой среды на динамику инертной подсистемы может быть реализован с помощью замены парного потенциала взаимодействия Кулона на некий эффективный, который имитирует присутствие окружающей непрерывной среды. Таким образом, мы приходим к понятию об *эффективном межчастичном потенциале взаимодействия*. Если статические (усредненные по времени) свойства плазмы исследуются методом статистической физики, а не решением

уравнения движения частиц, то влияния более инертной подсистемы на менее, так же, может быть учтено с помощью эффективного потенциала взаимодействия. Использование эффективных потенциалов взаимодействия широко распространено в физике многих частиц. В частности, физика конденсированного состояния, физика плазмы, ядерная физика, физика коллоидных систем и т.д. Это позволяет заметно упростить задачу и приводит к более наглядной картине процессов и углубляет их понимание. Такие потенциалы взаимодействия используются как для аналитических расчетов, так и для компьютерного моделирования [5].

Эффективные потенциалы взаимодействия условно можно разделить на два класса. К первому относятся потенциалы, скорректированные для учета на малых расстояниях эффектов, таких как квантовые эффекты дифракции и симметрии [6-9] и классический эффект, связанный с конечностью размеров частиц [10-12], но не учитывающие коллективные эффекты. Ко второму классу относятся эффективные потенциалы взаимодействия, которые также учитывают такие многочастичные коллективные эффекты [1]. В данной работе рассмотрены динамические свойства (в частности ДСФ) эффективного потенциала взаимодействия, принадлежащего ко второму классу.

## **1.2 Литературный обзор по изучению методов исследования динамического структурного фактора**

Динамический структурный фактор является важной характеристикой, определяющей поведение многочастичных систем. В частности, он дает информацию о спектре коллективных возбуждений при рассеянии с малым переданным импульсом, а также характеризует импульсное распределение при передаче достаточно большого импульса, когда отклик системы определяется одночастичными эффектами [13].

ДСФ  $S(k, \omega)$  непосредственно измеряется в некоторых экспериментах по рассеянию пучка частиц или света на исследуемом объекте. Он описывает

вероятность рассеяния и характеризует пространственно-временную структуру рассеивающего вещества. В качестве примеров можно привести как классические эксперименты по рассеянию нейтронов в жидкости и кристаллах, а также более поздние эксперименты по неупругому рассеянию света в разбавленных полимерных растворах, где было обнаружено как диффузионное движение целых клубков полимерных молекул (при рассеянии на малые углы), так и внутримолекулярная динамика цепей (при рассеянии на большие углы). Некоторые новые эксперименты опишем позднее. ДСФ непосредственно связан с поперечным сечением неупругого рассеяния, поэтому, измеряя энергетический спектр рассеянного излучения, можно получить на микроскопическом уровне большую полезную информацию о зависящих от времени характеристиках критических явлений. Таким образом, динамический структурный фактор является важной характеристикой, определяющей поведение многочастичных систем. Помимо структурных свойств, он в частности, дает информацию о спектре коллективных возбуждений при рассеянии с малым переданным импульсом, а также характеризует импульсное распределение при передаче достаточно большого импульса, когда отклик системы определяется одночастичными эффектами.

Динамический структурный фактор может быть исследован теоретическими методами. На основе флуктуационно-диссипативной теоремы можно вычислить  $S(k, \omega)$ , зная продольную диэлектрическую функцию [14]. Динамический структурный фактор также можно рассчитать на основе данных компьютерного моделирования системы с помощью метода молекулярной или ланжевеновой динамики [15,16].

В работе [17] представлена теория для динамического структурного фактора ионов (ДСФИ) и тормозной способности ионов в немагнитной столкновительной квантовой плазме с вырожденной электронной и невырожденной сильно коррелированной ионной жидкостью. Теория основана на флуктуационно-диссипативной теореме и диэлектрической проницаемости квантовой плазмы, полученной из линеаризованной

вязкоупругой квантовой гидродинамической модели (ЛВКГМ). Последняя включает в себя физику квантовых сил, связанных с квантовым давлением, обменными и электронно-корреляционными эффектами, квантовым эффектом электронной отдачи, вызванным дисперсией перекрытия волновых функций электронов, и с вязкоупругими свойствами сильно коррелированной ионной жидкости. Таким образом, теория ЛВКГМ действительна для столкновительной квантовой плазмы в широких диапазонах параметра ионной связи, состава плазмы, и плотности плазмы, которая может соответствовать лабораторной сжатой плазме (термоядерный синтез) и астрофизической плазме (например, ядра белых карликов). Установлено, что квантовые электронные эффекты и вязкоупругие свойства сильно коррелированных ионов могут существенно влиять на особенности ДСФИ и ионной тормозной способности. В отличие от предыдущих теорий, которые изучали ионные корреляции в терминах параметра ионной связи, пренебрегая физикой коллективных эффектов, которые конкурируют друг с другом, здесь разработан метод для оценки зависимости статических и динамических характеристик плазмы от параметров, таких как радиус Вигнера-Зейтца, атомный номер ионов и ионная температура. Установлено, что из-за сложного характера экранировки заряда в квантовой плазме, в один параметр ионной связи не может быть хорошей мерой для определения ионных корреляционных эффектов в столкновительной квантовой плазме, и характеристики плотной квантовой плазмы следует оценивать, исходя из всех участвующих плазменных параметров.

Проблеме вычисления ДСФ квантовой плотной плазмы посвящена также работа [18]. Здесь динамический структурный фактор плотной плазмы бериллия был рассчитан с помощью неэмпирического компьютерного моделирования на основе метода молекулярной динамики следующим образом: динамическая проводимость была определена по формуле Грина-Кубо, связывающей коэффициент переноса с автокорреляционной функцией микроскопического тока, непосредственно полученного из данных

молекулярной динамики, соответствующая проводимости диэлектрическая функция была использована для определения ДСФ. Поскольку подход с привлечением неэмпирического компьютерного моделирования до сих пор применяется только для волновых чисел  $k = 0$ ,  $k$ -зависимость диэлектрической функции моделировалась с помощью приближения Мермина. В работе представлены результаты для диэлектрической функции и ДСФ плотной плазмы бериллия и выполнено их сравнение данными приближения Борна-Мермина. Были найдены значительные различия между результатами этих подходов; это подчеркивает необходимость применения первых принципов (неэмпиричности) для определения ДСФ плотной материи.

В работе [19] сообщается о расчете динамического структурного фактора с помощью теоретического метода моментов, показано хорошее согласие с результатами компьютерного моделирования [15,16].

Из экспериментальных работ по определению динамического структурного фактора остановимся на работе [20]. Здесь рассматриваются перспективы использования рассеяния рентгеновских лучей для исследования плотной плазмы и представлены данные, взятые из экспериментов, в которых рентгеновское рассеяние в плотной плазме применено в качестве диагностического инструмента. В одном типе экспериментов рассеянные фотоны детектируются как функция от угла посредством прямой фиксации на чипе CCD. Такие эксперименты предназначены в первую очередь для наблюдения за статическим ион-ионным структурным фактором, которые, как ожидается, доминируют при рассеянии в плазме с умеренными и высокими атомными зарядовыми числами  $Z$  при температуре в несколько электрон вольт. Во втором типе экспериментов использовался изогнутый кристалл для наблюдения рассеяния рентгеновских лучей под фиксированным углом, с приемлемым спектральным разрешением. Этот эксперимент был разработан для определения динамического структурного фактора плазмы.

### 1.3 Безразмерные параметры плазмы

В работе рассматривается двухкомпонентная квазиклассическая водородная плазма, состоящая из ионов (электрический заряд  $e$ , масса  $m_i$  и концентрация  $n_i$ ) и электронов (электрический заряд  $-e$ , масса  $m_e$  и концентрация  $n_e$ ).

Параметр, характеризующий состояние системы – параметр связи. Он определяет отношение средней потенциальной энергии взаимодействия частиц среды к тепловой энергии их движения имеет вид:

$$\Gamma = \frac{e^2}{ak_B T} \quad (1.1)$$

где среднее расстояние  $a$  между частицами выражается через концентрацию плазмы в следующей форме:

$$a = \left( \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (1.2)$$

Безразмерный параметр  $\Gamma$ , характеризующий среднюю силу взаимодействия частиц среды, называется параметром неидеальности плазмы. В случае, когда  $\Gamma \ll 1$  плазма представляется идеальной; при  $\Gamma < 1$  – слабо идеальная (слабосвязанная система); если же  $\Gamma \geq 1$  среда является неидеальной, а в случае  $\Gamma \gg 1$  – сильно неидеальной.

Степень отклонения функции распределения электронной компоненты плазмы от соответствующего классического электронного газа характеризуется посредством безразмерного параметра:

$$r_s = \frac{a}{a_B} \quad (1.3)$$

где  $a_B = \frac{m_e e^2}{\hbar^2}$  – радиус Бора. Параметр  $r_s$  возрастает с уменьшением плотности.

Степень вырождения для электронов измеряется соотношением:

$$\theta = \frac{k_B T}{E_F} = 2 \left( \frac{4}{9\pi} \right)^{2/3} \frac{r_s}{\Gamma} \quad (1.4)$$

где  $E_F$  - энергия Ферми электронов. Если  $\theta \ll 1$ , то электроны плазмы практически полностью вырождены и подчиняются статистике Ферми-Дирака. Состояние  $\theta \gg 1$  соответствует состоянию слабого вырождения и электронная подсистема плазмы рассматривается классически.

От безразмерных параметров плазменной среды  $\Gamma$  и  $r_s$  легко перейти к размерным параметрам  $n$  и  $T$  воспользовавшись следующими соотношениями:

$$n = \frac{1.6107 \times 10^{24}}{r_s^3} \text{ см}^{-3} \quad (1.5)$$

$$T = \frac{3.1571 \times 10^5}{r_s \Gamma} \text{ К} \quad (1.6)$$

На рисунке 1 представлена диаграмма возможных состояний водородной плазмы в  $n$ - $T$  плоскости. На этой диаграмме заштрихована область применимости квазиклассического подхода, предложенного в работе. Выясним физический смысл кривых, ограничивающих эту область. Существование полностью ионизованной плазмы возможно в области, лежащей выше кривой 1, соответствующей условию  $T = 55000 \text{ К}$ . Область плазменных параметров под кривой 2, определяемый условием  $k_B T = m_e c^2$ , соответствует случаю нерелятивистской плазмы. Квантовые эффекты начинают играть существенную роль при определении свойств квазиклассической плазмы в области параметров, находящейся ниже кривой 3, соответствующие плазме, образующейся при осуществлении УТС и существующей в различных астрофизических объектах.



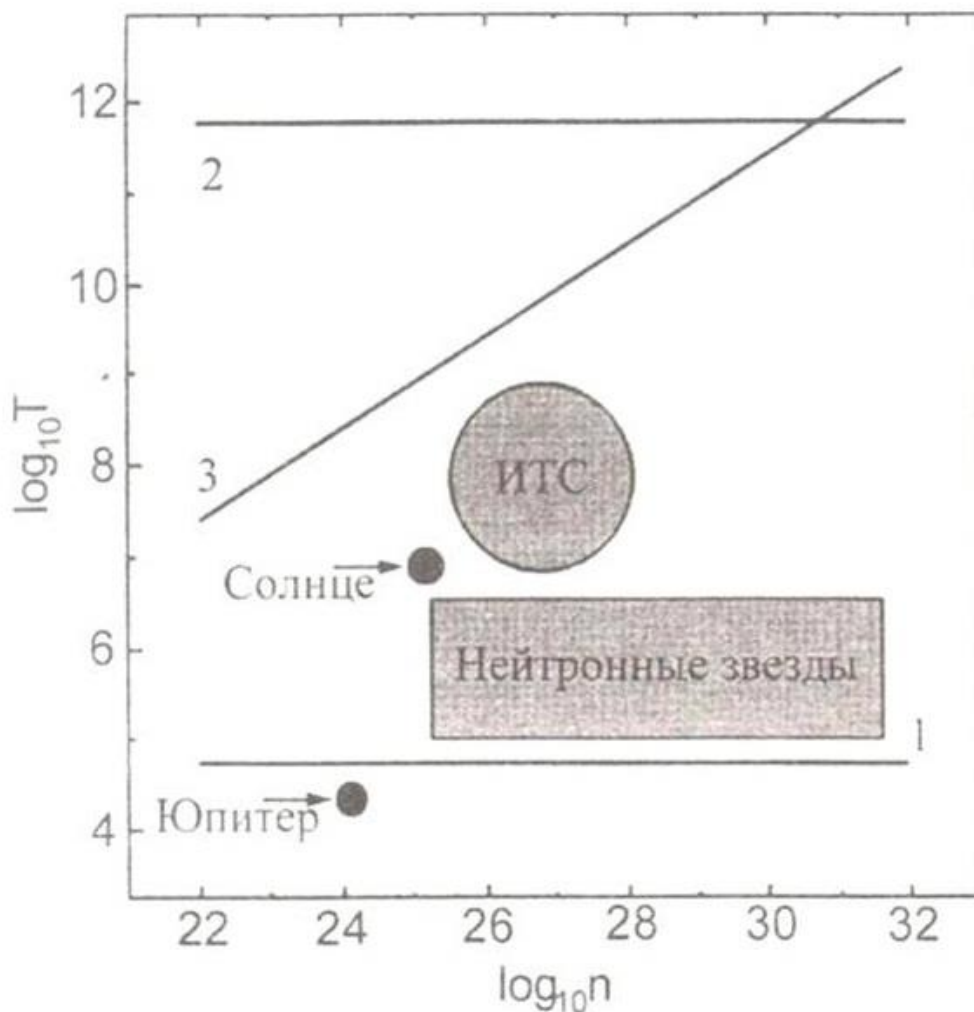


Рисунок 1 – Диаграмма состояний плотной плазмы [3]

#### 1.4 Потенциалы взаимодействия заряженных частиц в плазме

С увеличением плотности плазмы взаимодействие частиц системы тоже увеличивается, тем самым, свойства плазмы становятся более отличными от свойств идеального газа.

Одна из главных задач по сей день заключалась в нахождении универсальной модели взаимодействия частиц в плазме, учитывающей все эффекты во всем диапазоне изменения параметров.

Для начала рассмотрим потенциал взаимодействия между двумя изолированными заряженными частицами, которым является потенциал Кулона:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{r} \quad (1.7)$$

где  $r$  – расстояние между частицами сорта  $\alpha$  и  $\beta$ .

По сравнению в изолированным случаем в газе, заряженные частицы в окружении других заряженных частиц ведут себя иначе. Так как кулоновское взаимодействие имеет дальнедействующий характер, в системе наравне со взаимодействием ближних частиц важную роль играет и взаимодействие дальних частиц. Частицы с одним знаком заряда притягивают частицы с противоположным знаком, вследствие чего вокруг пробной частицы появляется облако, сформированное частицами с противоположным знаком заряда. Такое взаимодействие приводит к ослаблению первичного поля заряда в плазме и называется эффектом экранировки. Одним из основных параметров плазмы для описания таких эффектов в системе является радиус экранирования Дебая:

$$r_d = \sqrt{\frac{k_B T}{4\pi e^2 \sum_{\alpha} n_{\alpha}}} \quad (1.8)$$

Потенциал Кулона описывает взаимодействие изолированной системы, т.е. в нем не заложено влияние среды, вследствие чего он не дает полной картины для описания взаимодействия частиц в плазме. Для такой цели обычно используется метод эффективного потенциала. Одним из первых потенциалов взаимодействия заряженных частиц, полученный этим методом, является потенциал Дебая-Хюккеля [21]:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_d}\right) \quad (1.9)$$

Приведенные эффективные потенциалы взаимодействия не учитывают квантово-механические эффекты, такие как дифракция и симметрия и это приводит в расхождению потенциалов на малых расстояниях. Разработан специальный метод для учета таких эффектов, основанный на сопоставлении классического больцмановского фактора и квантово-механической слэтэровской суммы. В работе [22] автор приводит аппроксимированное

выражение для эффективного потенциала в пределе высоких плотностей и температур. Таким потенциалом взаимодействия является потенциал Дойча, учитывающий эффект дифракции:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{r} \left( 1 - \exp\left(-\frac{r}{\lambda_d}\right) \right) \quad (1.10)$$

где  $\lambda_d = \frac{\hbar}{\sqrt{2\pi\mu_{\alpha\beta}k_B T}}$  – тепловая длина волны де-Бройля;  $\mu_{\alpha\beta} = \frac{m_{\alpha}m_{\beta}}{m_{\alpha} + m_{\beta}}$  –

приведенная масса двух взаимодействующих частиц сорта  $\alpha$  и  $\beta$ .

В данной работе используется следующий квазиклассический псевдопотенциал [1]:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{r} \left( 1 - \operatorname{th}\left(\sqrt{2}\frac{\lambda_{\alpha\beta}^2}{a^2 + br^2}\right) e^{-\operatorname{th}\left(\sqrt{2}\frac{\lambda_{\alpha\beta}^2}{a^2 + br^2}\right)} \right) \left( 1 - e^{-\frac{r}{\lambda_{\alpha\beta}}} \right), b = 0,033 \quad (1.11)$$

Особенностью этого псевдопотенциала является учет квантового эффекта дифракции на малых расстояниях в широком диапазоне температур и плотностей. Как было показано в работе [1], этот потенциал в пределе  $T \rightarrow \infty$  переходит в потенциал Дойча, описывающего взаимодействие заряженных частиц плазмы при больших температурах.

На рисунке 2 представлены графики потенциалов Кулона, Дебая – Хюккеля, Дойча и потенциала (1.11) [1]. Как видно из рисунка 1, потенциалы (1.11), Дойча и Кулона не экранированы как потенциал Дебая – Хюккеля, учитывающего экранировку заряда. Потенциалы (1.11) и Дойча являются конечными на малых расстояниях в отличие от потенциала Кулона, но потенциал (1.11) лежит ниже, и разница между ним и потенциалом Дойча растет с уменьшением температуры (ростом  $\Gamma$ ).

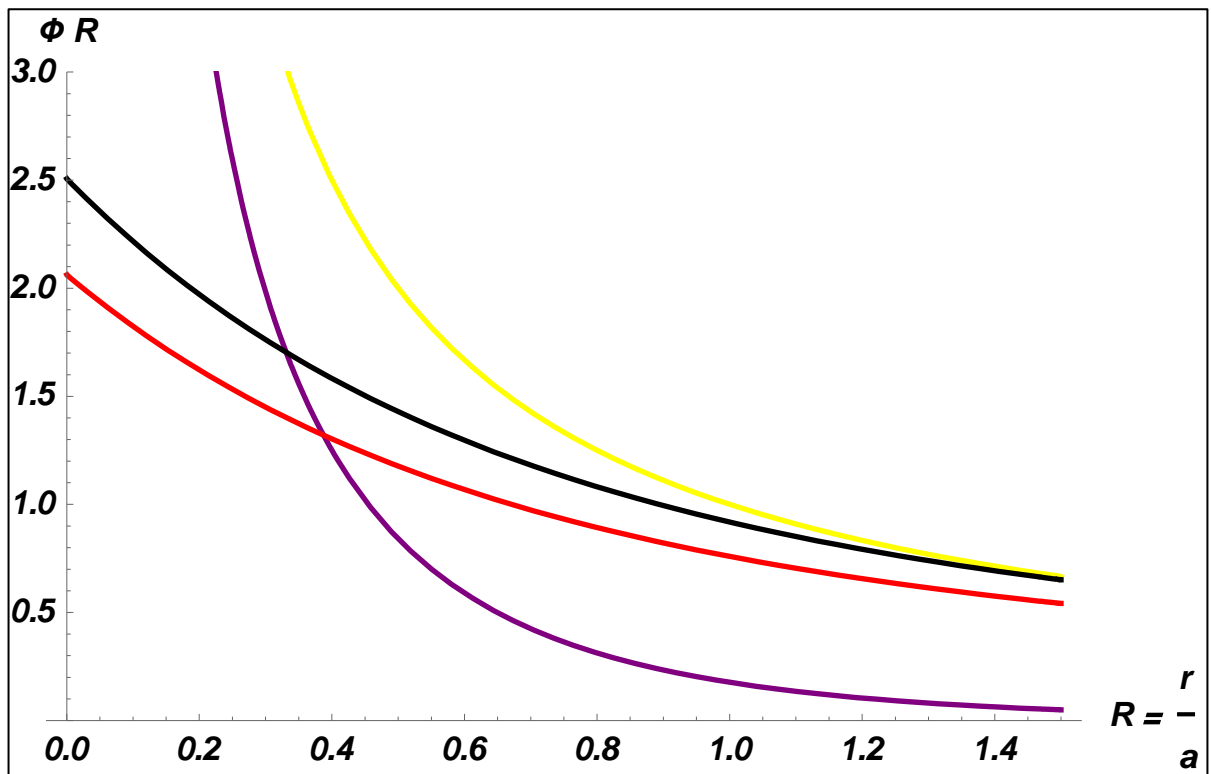


Рисунок 2 – Потенциалы взаимодействия частиц плазмы при  $\Gamma=1$ ,  $r_s=2$

Потенциалы:

- Кулона
- Дебая-Хюккеля
- Дойча
- потенциал на основе (1.11)

## 2 Исследование динамического структурного фактора для плотной квазиклассической плазмы с учетом эффекта дифракции и коллективных эффектов

### 2.1 Динамический структурный фактор без учета функции локальных полей

Для разработки алгоритма и написания программы для определения ДСФ необходимо вычислить все необходимые элементы в составе ДСФ и разъяснить взаимосвязь между ними.

Динамический структурный фактор связан с диэлектрической функцией, которая в свою очередь может быть выражена через так называемую функцию отклика  $\chi_{ee}^s(k, \omega)$ . Выражение, связывающее действительную часть динамического структурного фактора с мнимой частью функции отклика для системы взаимодействующих частиц, записывается следующим образом:

$$S_{ee}^s(k, \omega) = -\frac{k_B T}{n\pi\omega} \text{Im} \chi_{ee}^s(k, \omega) \quad (2.1)$$

где функция отклика для системы взаимодействующих частиц  $\chi_{ee}^s(k, \omega)$  может быть получена из соотношения:

$$\chi_{ee}^s(k, \omega) = \frac{\chi_e^0(k, \omega)}{1 - \tilde{\varphi}_{ee}(k)[1 - G(k)]\chi_e^0(k, \omega)} \quad (2.2)$$

где  $\tilde{\varphi}_{ee}(k)$  – Фурье образ микропотенциала взаимодействия [1], а  $\chi_e^0(k, \omega)$  – функция отклика для системы невзаимодействующих частиц.

Рассмотрим два случая из выражения (2.2). Необходимо вычислить функцию отклика для системы взаимодействующих частиц при нулевом значении  $G(k)$  и ненулевом значении функции локальных полей.

### 2.1.1 Вычисление необходимых элементов для определения динамического структурного фактора без учета функции локальных полей

При расчете функции отклика для системы взаимодействующих частиц без ФЛП, выражение (2.2) записывается следующим образом:

$$\chi_{ee}^s(k, \omega) = \frac{\chi_e^0(k, \omega)}{1 - \tilde{\varphi}_{ee}(k) \chi_e^0(k, \omega)} \quad (2.3)$$

Выражение для функции отклика для системы невзаимодействующих частиц записывается следующим образом

$$\chi_a^0(k, \omega) = -\frac{n_a}{k_B T} W\left(\frac{\omega}{k \mathcal{G}_{Ta}}\right) \quad (2.4)$$

где функция  $W(z)$ :

$$W(z) = 1 - z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \int_0^z \exp\left(\frac{y^2}{2}\right) dy + i \sqrt{\frac{\pi}{2}} z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad (2.5)$$

Интеграл в уравнении (2.5) является неэлементарной функцией действительного переменного, которая также называется интегралом Доусона (функция Доусона) [23]:

$$F(x) = e^{-x^2} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (2.6)$$

Функция Доусона тесно связана с интегралом ошибок  $erf$ :

$$F(x) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} e^{-x^2} \operatorname{erfi}(x) = \frac{i\sqrt{\pi}}{2} e^{-x^2} \operatorname{erf}(ix) \quad (2.7)$$

где  $\operatorname{erfi}$  является мнимой частью функции ошибок:

$$\operatorname{erfi}(x) = -i \operatorname{erf}(ix) \quad (2.8)$$

Используя свойства функции Доусона, преобразуем уравнение (2.5):

$$\begin{aligned} W(z) &= 1 + iz \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - z \exp\sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(-\frac{z^2}{2}\right) \operatorname{erfi}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) = \\ &= 1 + iz \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - \underbrace{\sqrt{2} z \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left(-\frac{z^2}{2}\right) \operatorname{erfi}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right)}_{F(z)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Разложение функции  $F(z)$  в асимптотический ряд будет иметь вид:

$$F(z) = \frac{1}{2z} + \frac{1}{4z^3} + \frac{3}{8z^5} + \dots + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2^{n+1} z^{2n+1}} \quad (2.10)$$

При разложении функции  $F(z)$  в асимптотический ряд можно учитывать лишь первые три члена:

$$\begin{aligned} W(z) &= 1 - iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - z\sqrt{2} \left( \frac{\sqrt{2}}{2z} + \frac{2\sqrt{2}}{4z^3} + \frac{3 \cdot 4\sqrt{2}}{8z^5} \dots \right) = \\ &= 1 + iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - 1 - \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) = iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Подставив полученное выражение и (2.3) в (2.2) получим:

$$\begin{aligned} \chi_{ee}^s(k, \omega) &= \frac{-\frac{n}{k_B T} W(z)}{1 + \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \frac{n}{k_B T} W(z)} = -\frac{n}{k_B T} \cdot \frac{W(z)}{1 + \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) W(z)} = \\ &= -\frac{n}{k_B T} \cdot \frac{\left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) - iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)}{1 + \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right)} \end{aligned} \quad (2.12)$$

где  $\tilde{\varphi}_{ee}^*(k)$  – безразмерный вид Фурье-образа потенциала взаимодействия.

Для дальнейшего упрощения формулы (2.12), необходимо умножить и разделить на  $\left[ \underbrace{1 - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right)}_a - \underbrace{\tilde{\varphi}_{ee}^*(k) iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)}_b \right]$ , т.е. на сопряженную делителя из (2.12).

Раскрыв скобки и сгруппировав  $i$ , получаем:

$$\chi_{ee}^s(k, \omega) = -\frac{n}{k_B T} \left[ \frac{\left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right)^2 + \left( z\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \right)^2 \right)}{\left( 1 - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) \right)^2 + \left( \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) z\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \right)^2} \cdot \frac{iz\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)}{\left( 1 - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) \right)^2 + \left( \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) z\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \right)^2} \right] \quad (2.13)$$

Для дальнейшего расчета ДСФ необходима лишь мнимая часть ФО:

$$S_{ee}^s(k, \omega) = -\frac{k_B T}{n\pi\omega} \cdot \frac{n}{k_B T} \cdot \frac{z\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)}{\left( 1 - \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) \left( \frac{1}{z^2} + \frac{3}{z^4} \right) \right)^2 + \left( \tilde{\varphi}_{ee}^*(k) z\sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \right)^2} \quad (2.14)$$

## 2.1.2 Разработка алгоритма для вычисления динамического структурного фактора без учета функции локальных полей

На рисунке 3 представлена блок-схема вычисления ДСФ без учета функции локальных полей. С помощью этой схемы мы наглядно видим, как на основе псевдопотенциала взаимодействия частиц [1] можно найти ДСФ. Выделены следующие этапы: для начала нам необходимо вычислить Фурье – образ заданного псевдопотенциала и функцию отклика для системы невзаимодействующих частиц (2.4). Используя все эти выражения, можно найти функцию отклика для системы взаимодействующих частиц  $\chi_{ee}^s(k, \omega)$  (2.3). А затем рассчитывается ДСФ (2.1).

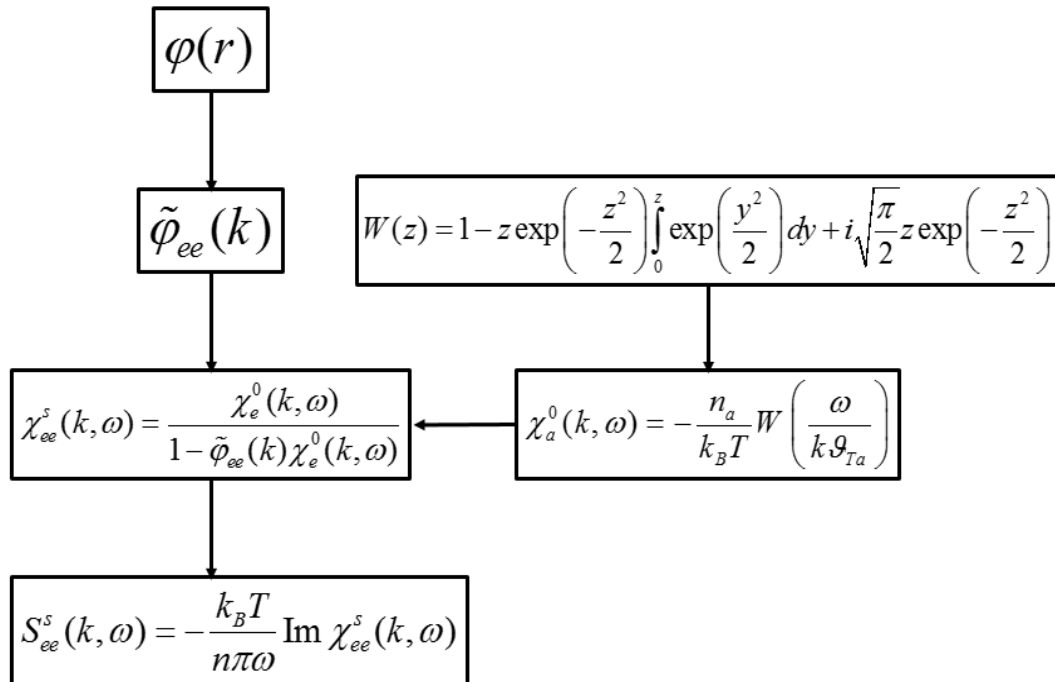


Рисунок 3 – Блок-схема вычисления ДСФ при нулевом значении функции локальных полей



## 2.2 Динамический структурный фактор с учетом функции локальных полей

### 2.2.1 Функция локальных полей электронной плазмы

С увеличением плотности плазмы при вычислении продольной диэлектрической проницаемости среды необходимо учитывать так называемую функцию локальных полей плазмы  $G(k, \omega)$ . В данной работе для вычисления  $G(k, \omega)$  используется метод динамической сходимости, предложенный в [24]. Согласно этому методу функция локальных полей среды в первом (статическом) приближении имеет вид:

$$G(k, \omega = 0) = G(k) \quad (2.15)$$

В следующем приближении динамические поправки можно записать в виде:

$$G(k, \omega) = G(k) + \frac{\eta_2 Q(k, \omega)}{\tilde{\varphi}_{ee}(k) \chi^0(k)} \quad (2.16)$$

здесь  $\eta_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta_2^0} - 1$ ,  $Q(k, \omega) = \frac{\chi^0(k)}{\chi^0(k, \omega)} + \frac{\omega^2}{\Delta_1^0} - 1$ , а функции  $\Delta_i$  выражаются через

частотные моменты согласно формулам:

$$\Delta_1 = \frac{\langle \omega^2 \rangle}{\langle \omega^0 \rangle}, \quad (2.17)$$

$$\Delta_2 = \frac{\langle \omega^4 \rangle}{\langle \omega^2 \rangle} - \frac{\langle \omega^2 \rangle}{\langle \omega^0 \rangle}, \quad (2.18)$$

$$\Delta_1^0 = \frac{\omega_{Le}^2 k^2}{3\Gamma}, \quad (2.19)$$

$$\Delta_2^0 = \frac{2\omega_{Le}^2 k^2}{3\Gamma}, \quad (2.20)$$

В свою очередь второй и четвертый моменты можно получить с помощью следующего соотношения

$$\langle \omega^n \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^n S_{ee}^s(k, \omega) d\omega \quad (2.21)$$

где  $S_{ee}^s(k, \omega)$  - динамический структурный фактор

Таким образом для вычисления динамической функции локальных полей плазмы согласно формуле (2.16) необходимо знание статической функции локальных полей среды, которое легко можно получить с помощью формулы, предложенной в [25], которая связывает  $G(k)$  с прямой корреляционной функцией  $C(k)$ :

$$G(k) = 1 + \frac{k_B T \tilde{C}(k)}{\tilde{\varphi}_{ee}(k)} \quad (2.22)$$

Сама функция  $C(k)$  находится путем решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении, которое можно переписать в виде [26,27]:

$$\begin{aligned} g(r) &= \exp[N(r) - \varphi(r)], \\ \tilde{N}(k) &= \frac{\rho \tilde{C}^2(k)}{1 - \rho \tilde{C}(k)}, \\ C(r) &= g(r) - 1 - N(r), \end{aligned} \quad (2.23)$$

где  $C(r), C(k)$  - прямая корреляционная функция и ее Фурье-образ соответственно,  $g(r)$  - радиальная функция распределения,  $N(r), \tilde{N}(k)$  - сумма нодальных диаграмм и ее Фурье-образ соответственно,  $\varphi(r)$  - потенциал взаимодействия частиц системы,  $\rho = \frac{3}{4\pi}$  - безразмерная плотность. Система уравнений (2.23) получена в приближении парных корреляции, что накладывает ограничение на вид потенциала взаимодействия частиц системы. Обе псевдопотенциальные модели, используемые в работе, также получены в приближении парных корреляции, а следовательно, могут использоваться совместно с системой уравнений (2.23). Для решения системы (2.23) необходимо задать начальное значение прямой корреляционной функции  $C(r)$  (обычно оно принимается равным  $-\varphi(r)$ ) и повторять процедуру решения уравнений (2.23) до достижения необходимой точности. Видно, что при решении (2.23) необходимо осуществлять прямые и обратные Фурье-

преобразования. Однако ввиду медленной сходимости потенциала  $\varphi(r)$  возникает ряд объективных сложностей. Для того, чтобы их избежать обычно применяется следующая система уравнений:

$$\begin{aligned}\tilde{N}_s(k) &= \frac{\rho\tilde{C}_s(k)\tilde{C}(k) - \tilde{\varphi}_l(k)}{1 - \rho\tilde{C}(k)}, \\ g(r) &= \exp[N_s(r) - \varphi_s(r)], \\ C_s(r) &= g(r) - 1 - N_s(r),\end{aligned}\tag{2.24}$$

где

$$\varphi_l(r) = \varphi(r)(1 - \exp(\alpha r)),\tag{2.25}$$

$$N_s(r) = N(r) - \varphi_l(r),\tag{2.26}$$

$$C_s(r) = C(r) + \varphi_l(r),\tag{2.27}$$

$$\varphi_s(r) = \varphi(r) - \varphi_l(r).\tag{2.28}$$

Параметр  $\alpha$  выбирается так, чтобы  $\varphi_s(r)$  было пренебрежимо мало при больших  $r$ . Стартующей функцией для системы (2.24) является  $C_s(r)$ .

Также хотелось бы отметить, что правильность вычисления динамической функции локальных полей плазмы проверялась в работе с использованием известного соотношения, связывающего динамический структурный фактор  $S_{ee}^d(k, \omega)$  с соответствующим статическим приближением  $S(k)$  [28]:

$$S(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_{ee}^d(k, \omega) d\omega,\tag{2.29}$$

где

$$S_{ee}^d(k, \omega) = -\frac{k_B T}{n\pi\omega} \text{Im}\chi_{ee}^d(k, \omega).\tag{2.30}$$

Соответственно, функция отклика для системы взаимодействующих частиц:

$$\chi_{ee}^d(k, \omega) = \frac{\chi_e^0(k, \omega)}{1 - \tilde{\varphi}_{ee}(k)[1 - G(k)]\chi_e^0(k, \omega)}.\tag{2.31}$$

## 2.2.2 Разработка алгоритма динамического структурного фактора с учетом функции локальных полей

На рисунке 4 представлена блок-схема вычисления ДСФ. С помощью этой схемы можно увидеть, как на основе псевдопотенциала взаимодействия частиц [1] можно найти ДСФ с учетом функции локальных полей. Выделены следующие этапы: для начала нам необходимо вычислить Фурье – образ заданного псевдопотенциала, используя его мы можем вычислить функцию локальных полей (2.22), связанную с прямой корреляционной функцией. Учитывая статическую функцию локальных полей (2.22) и функцию отклика для системы невзаимодействующих частиц (2.4) можно вычислить динамическую функцию локальных полей. Используя все эти выражения, можно найти функцию отклика  $\chi_{ee}^s(k, \omega)$  (2.2). А затем рассчитывается ДСФ (2.1). Различие блок-схем на рисунке 3 и 4 является то, что в первом случае, мы вычисляем ДСФ при нулевом значении функции локальных полей.

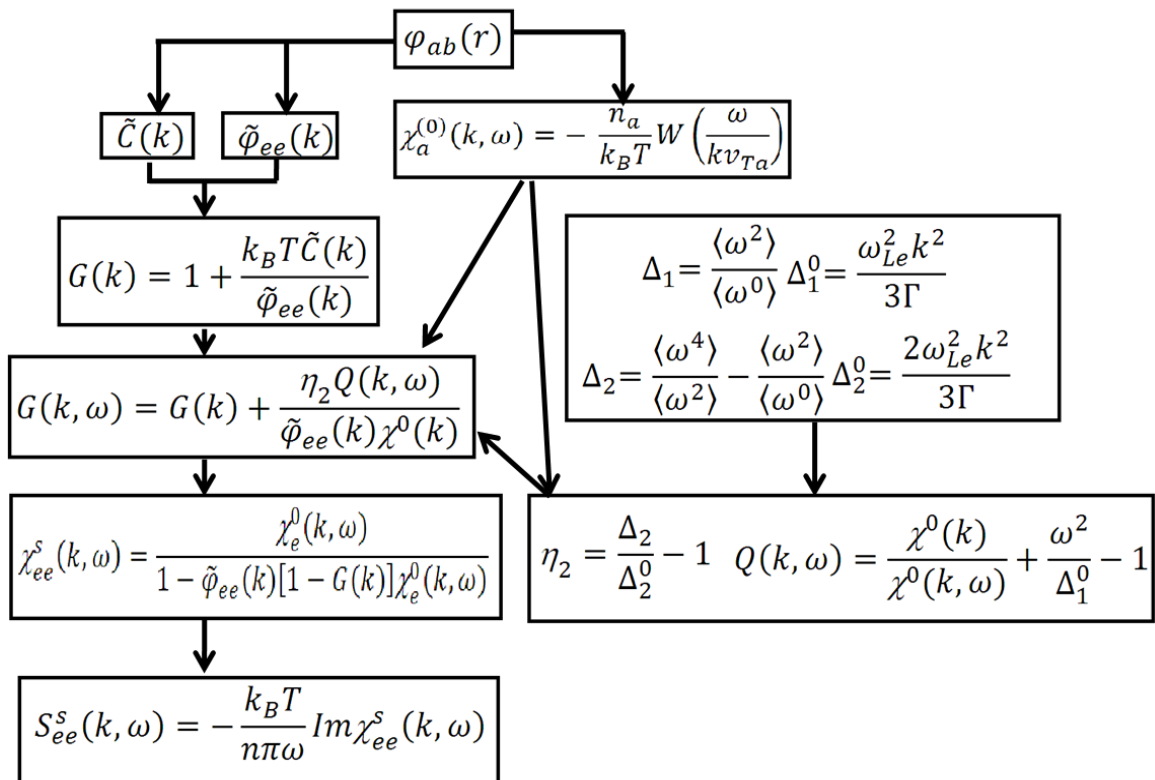


Рисунок 4 – Блок-схема вычисления ДСФ

## 2.3 Программная реализация вычисления динамического структурного фактора

С помощью блок-схем, описанные в пунктах 2.1.2 и 2.2.2, разработана функция для вычисления ДСФ. Все численные расчеты проведены с помощью программы Delphi 7.

Для осуществления численных расчетов по определению динамического структурного фактора, необходимо обезразмеривание параметров всех вводимых величин.

Фурье-образ потенциала взаимодействия вычислен с помощью численного метода решения интегральных уравнений. Для этого был выбран метод Симпсона (приближенный параболический метод).

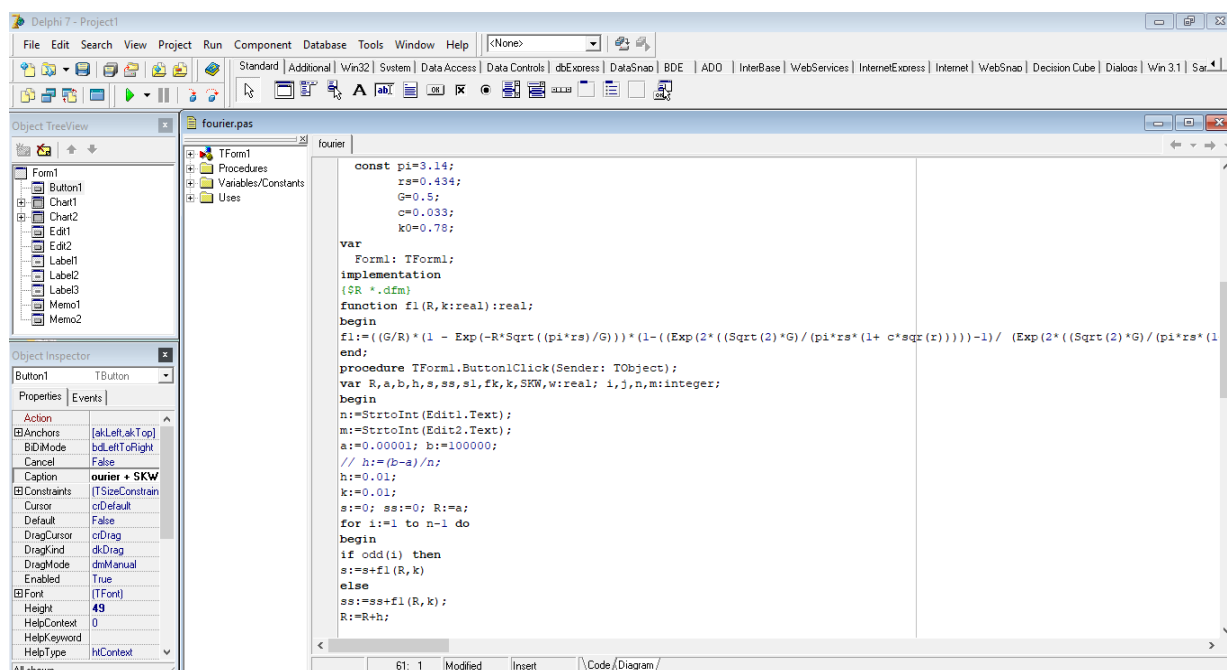


Рисунок 5 – Интерфейс программной реализации вычисления динамического структурного фактора

### 3 Моделирование

#### 3.1 Динамический структурный фактор при различных значениях безразмерных параметров

В рамках модели взаимодействия частиц плотной квазиклассической плазмы, учитывающей эффект дифракции в широком диапазоне плотностей и температур, и формулы (1.11) был вычислен и исследован динамический структурный фактор неидеальной квазиклассической плазмы.

На рисунках 6, 7 и 8 приведены сравнения полученных динамических структурных факторов, вычисленных на основе формулы (1.11) для различных значений  $k$  ( $k^*=ka$ ), параметра связи и параметра плотности. Также было показано, что с увеличением  $k$  положение пика сдвигается в область больших частот, что означает нормальную дисперсию плазменных волн. Были также вычислены и проанализированы динамические структурные факторы в широких диапазонах изменения различных безразмерных параметров системы. При уменьшении параметра связи (увеличение температуры) можно заметить увеличение значения и сдвиг пика динамического структурного фактора в область больших частот. При увеличении параметра плотности уменьшается значение пика динамического структурного фактора. Данные результаты были получены на основе формулы (2.14) при нулевом значении функции локальных полей.

Результаты были получены на программе Delphi. Программа была написана в соответствии с блок-схемой (рисунок 3).

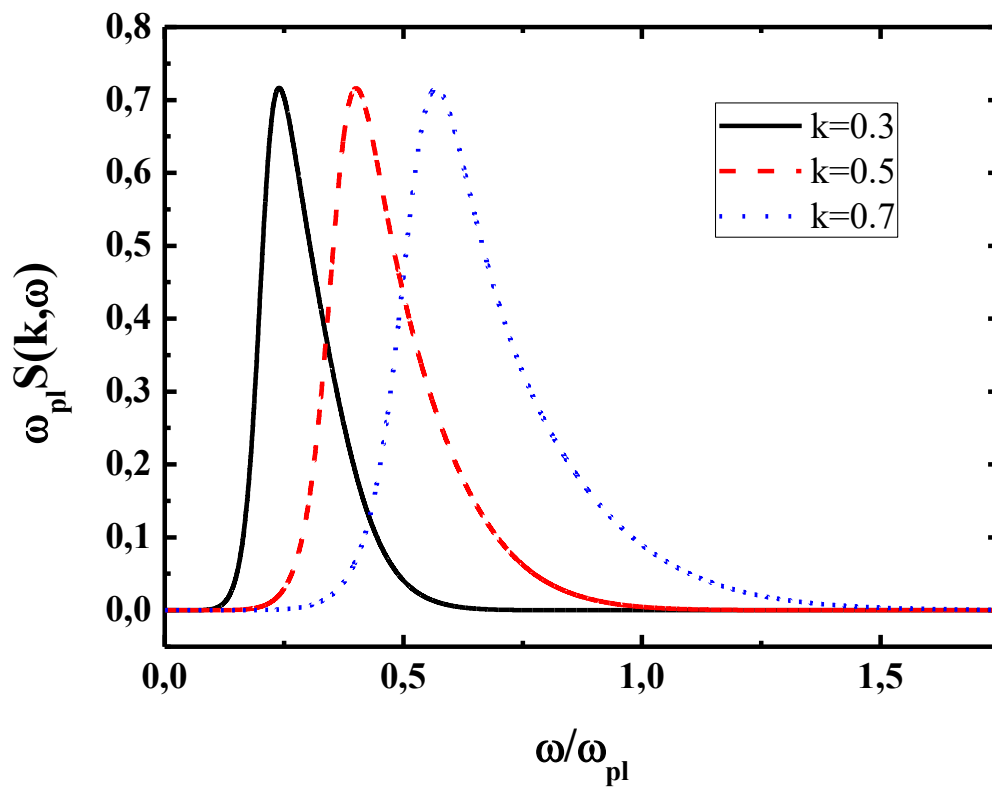


Рисунок 6 – Динамический структурный фактор при различных значениях  $k$

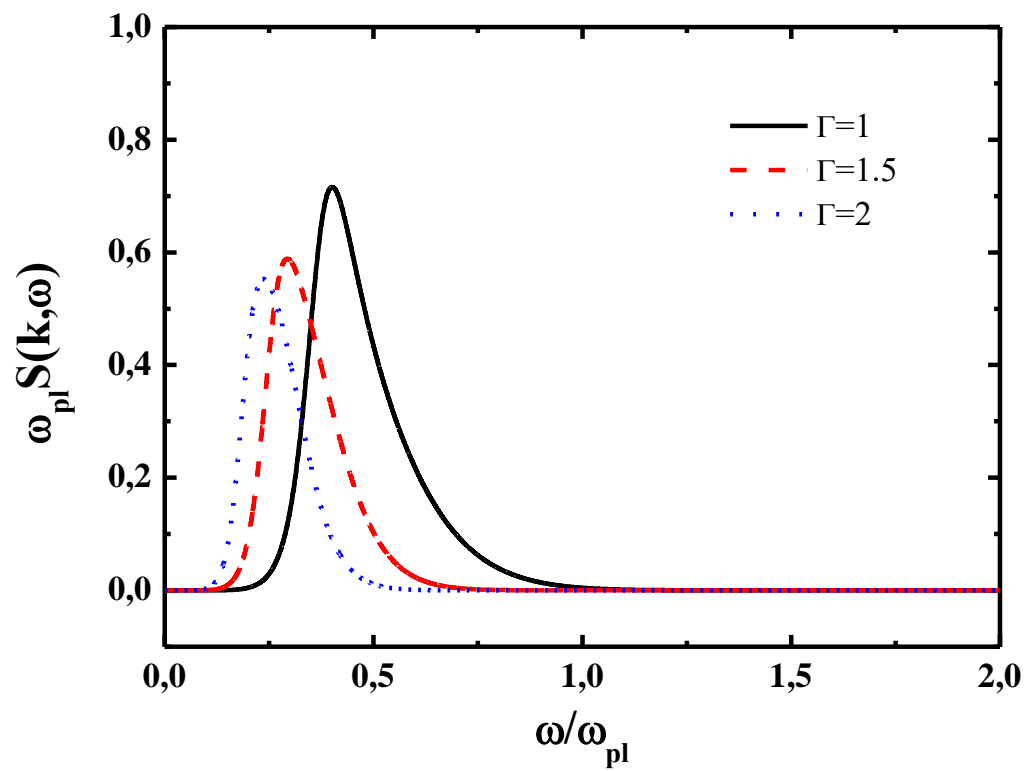


Рисунок 7 – Динамический структурный фактор при различных значениях параметра связи



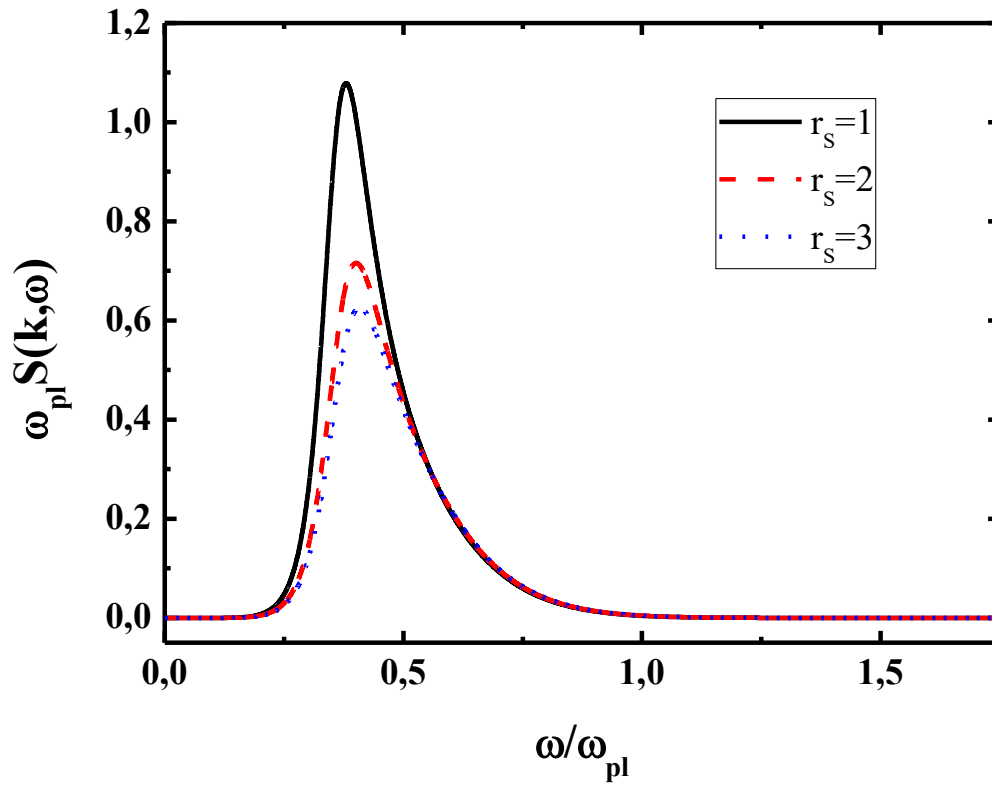


Рисунок 8 – Динамический структурный фактор при различных значениях параметра плотности

### 3.2 Результаты и обсуждения

В рамках модели взаимодействия частиц плотной квазиклассической плазмы, учитывающей эффект дифракции в широком диапазоне плотностей и температур, и формулы (1.11) был вычислен и исследован динамический структурный фактор неидеальной квазиклассической плазмы в приближении случайных фаз.

На рисунках приведены сравнения полученных нами динамических структурных факторов, вычисленных на основе формулы (1.11), с результатами других работ для различных значений параметра плотности. Из рисунков видно, что с уменьшением параметра плотности наши результаты лучше коррелируют с результатами молекулярной динамики [29], чем данные работы [30], в которой был использован потенциал Дойча-Кельбга (потенциал Дойча плюс учет эффекта симметрии). Сравнение динамических структурных факторов, полученных на основе потенциалов Дойча и псевдопотенциала, учитывающего эффект дифракции в широком диапазоне температур, проанализировано на рисунках. Также было показано, что с увеличением  $k$  положение пика сдвигается в область больших частот, что означает нормальную дисперсию плазменных волн. Были также вычислены и проанализированы динамические структурные факторы в широких диапазонах изменения различных безразмерных параметров системы.

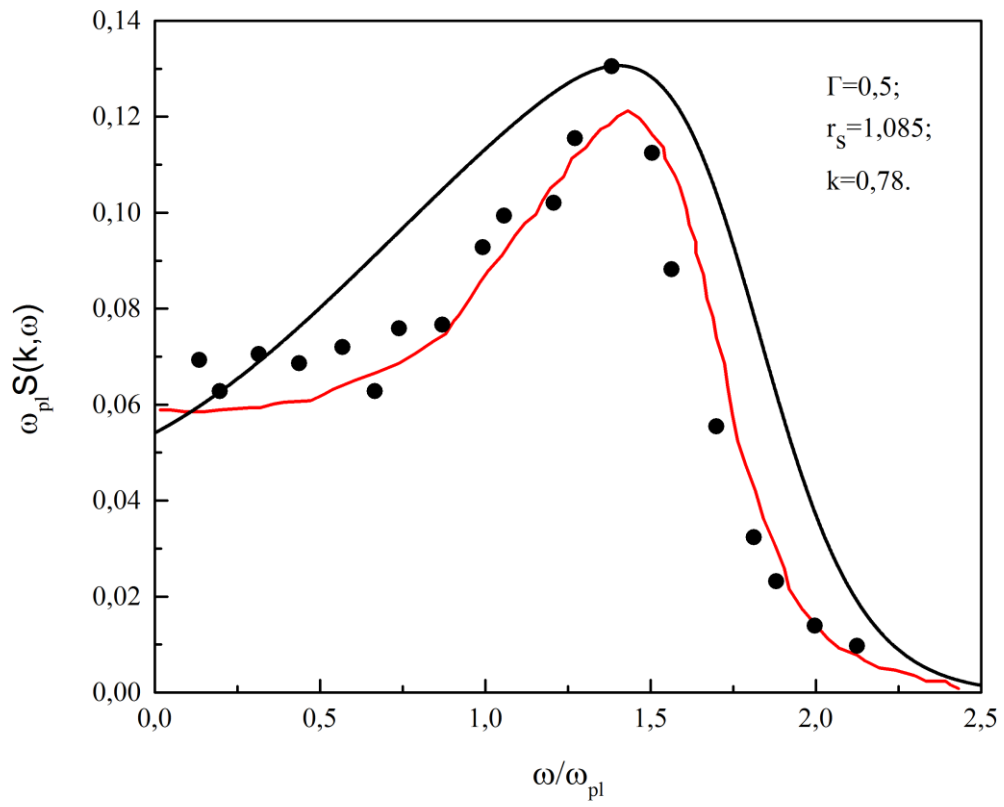


Рисунок 8 – Динамический структурный фактор

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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 следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В данной работе проводилось моделирование динамического структурного фактора для плотной квазиклассической плазмы на основе псевдопотенциала, учитывающего эффекты дифракции и коллективные эффекты в широком диапазоне плотностей и температур. На данном этапе говорить о коммерческом потенциале данного исследования рано. Данная разработка может быть полезна для изучения и исследования электродинамических свойств плотной плазмы. Использование данной модели даёт возможность для различных физических исследований, новых физических инструментов. В качестве заинтересованных могут выступать организации, сфера деятельности которых затрагивает следующие области: возобновляемые источники энергии; управляемый термоядерный синтез; и исследование в области физики пылевых структур (ионосфера, газовые разряды, астрофизические объекты).

### **4.1.2. Анализ конкурентных технических решений**

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

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 5. В качестве конкурирующих разработок были приняты: модель динамического структурного фактора без учета функции локальных полей – K1, модель

динамического структурного фактора с учетом функции локальных полей – К2. В выбранных моделях существенной разницей является только принцип воздействия. Если в первом случае рассматривается модель без какого-либо внешнего воздействия, то второй случай (потенциал взаимодействия частиц), в частности, дает информацию о спектре коллективных возбуждений при рассеянии с малым переданным импульсом, а также характеризует импульсное распределение при передаче достаточно большого импульса, когда отклик системы определяется одночастичными эффектами.

Для оценочного сравнения были выбраны следующие характеристики: удобство эксплуатации модели (т.е. насколько удобно ли пользоваться моделью), возможность модифицировать (т.е. можно ли изменять модель в случае необходимости или возникновения сбоев в работе), потребность в ресурсах памяти (объем расчетных данных в Мб), точность проведения расчетов (% - погрешности в расчетах), повышение производительности труда (увеличение показателя эффективности и продуктивности работы), резервное копирование данных (аварийное сохранение данных на случай возникновения не штатных ситуации (например, отключение электричества)), качество интеллектуального интерфейса (обработка текстовых запросов), надежность, использование дополнительных программ для обработки результатов (модели К1 и К2 были сделаны в программе С++ и Паскаль, для визуализации и наглядности результатов исследования необходимо использование программы Origin (для построения графиков) и предполагаемый срок эксплуатации.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Повышение производительности труда	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
3. Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Возможность модификации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
6. Потребность в ресурсах памяти	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
7. Точность расчетов	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
8. Резервное копирование данных	0,05	4	4	2	0,2	0,2	0,1
9. Использование дополнительных программ	0,1	5	0	0	0,5	0	0
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
Итого	1	46	37	33	5	3,92	2,85

Под критериями  $B_{к1}$  и  $B_{к2}$  подразумеваются методы получения прямоугольного импульса схожей с нашей.  $B_{к1}$  предлагает высокое время срабатывания и удобство в использовании, в то время как  $B_{к2}$  акцентирует внимание на повышенной надёжности модели, по отношению к нашей модели (разработке).

### 4.1.3 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. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	1.Актуальность тематики; 2.Экологичность технологии; 3.Экономичность и энергоэффективность технологии;	1. Сложные теоретические расчеты; 2. Закрытость программы; 3. многокомпонентность системы (электроны, ионы, полевые частицы, нейтральные атомы и др.
<b>Возможности</b> 1. Эволюция частиц (изменение энергии частиц); 2. Возможность появления новых условий измерений; 3. Использование энергетических установок (Токамак),	1. Использование данной модели позволяет свести к нулю радиационное излучение (электронов, ионов) исходящее из Токамака, тем самым не нанося вред окружающей среде. 2. Данная модель позволяет заменить установку (Токамак), тем самым сокращая потребление электрической энергии и удешевляет исследование.	1. В модели может быть использован квазиклассический подход (тем самым, упрощение сложных расчетов объясняется с появлением новых условий); 2. Для расчетов динамического структурного фактора не требуется наличия образцов исследования (водород).
<b>Угрозы</b> 1.Сбой алгоритма программы (модели);	1. Для модели нет необходимости подготовки оборудования и образцов,	1. Программа модели является открытой, тем самым в случае возникновения трудностей при



2.Задержки финансирования исследования;	тем самым повышаем безопасность в проведении исследовании.	расчёте большого количества измерений, можно ее модифицировать;
3. Разработка новых методов исследования материалов.	2.Отсутствуют отходы, которые могли бы оказать отрицательное влияние на экологию.	2. Модель не использует образцы (металлы) для исследования, тем самым нет необходимости покупки образцов.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества данной модели преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

## **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1 Иерархическая структура работ проекта**

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 9 – Иерархическая структура работ

#### 4.2.2 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 и построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Инженер

	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, Инженер
	6	Построение блок-схем (алгоритма модели)	Инженер
	7	Проведение расчетов и анализ полученных данных	Инженер
	8	Сопоставление результатов исследования с теоретическими и экспериментальными результатами (из научных журналов)	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель, Инженер
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Инженер
	12	Подготовка темы к защите	Руководитель, Инженер

#### 4.2.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

При проведении анализа по таблице, приведенной ниже, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает

следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать. Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (4.1)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю. Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего.

Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 4.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	1
4	Определена товарная форма научнотехнического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4

7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
Итого		45	34

По результатам оценки делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения, об уровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

#### 4.2.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5} \quad (4.2)$$

где  $t_{ожi}$  – 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  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

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

#### 4.2.5 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

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.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле :

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{\text{ки}}$  необходимо округлить до целого числа.

В 2017 году ожидается 246 рабочих дней и 119 дней отдыха, из которых 104 выходных дня и 15 официальных праздничных дней. Исходя из этого, коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 15} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 4.5).




















Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

(Р – руководитель, И – инженер)

Название работы	Трудоемкость работ			Исп-ли	Длительность работ в раб.дн. $T_{pi}$	Длительность работ кален. Дн. $T_{ki}$
	$t_{mini}$	$t_{maxi}$	$t_{ожи}$			
1	0,5	1,75	1	Р	1	1,48
2	1	1	1	Р+И	0,5	0,74
3	1	1	1	Р	1	1,48
4	7	10	8,2	И	8,2	12,1
5	4	7	5,2	Р+ И	2,6	3,8
6	5	8	6,2	И	6,2	9,2
7	13	20	15,8	И	15,8	23,4
8	12	16	13,6	И	13,6	20,1
9	4	8	5,6	Р+ И	2,8	4,1
10	3	5	3,8	Р+ И	1,9	2,8
11	18	22	19,6	И	19,6	29
12	1	2	2	Р+ И	1	1,48



Таблица 4.6 – Календарный план-график проведения НИРМ по теме

№	Вид работ	Т <sub>к</sub> , кл.дн	Продолжительность выполнения работ				
			2018 год.				
			Фев.	Мар.	Апр.	Май.	Июн.
1	Составление и утверждение технического задания	0,74 Р					
2	Выбор направления исследования	1,48 Р+И	 				
3	Календарное планирование работ по теме	1,48 Р					
4	Подбор и изучение материалов по теме	17,8 И					
5	Проведение экспериментов	2,97 Р+ И			 		
6	Освоение программного кода MATLAB	6,8 И					
7	Ознакомление с особенностями и ограничениями кода MATLAB	34,6 И					
8	Проведение расчетов и анализ полученных данных	29,8 И					
9	Оценка эффективности полученных результатов	6 Р+ И			 		
10	Определение целесообразности проведения НИР	2,97 Р+ И			 		
11	Составление пояснительной записки	43 И					
12	Подготовка темы к защите	6 Р+ И				 	
 – научный руководитель,  инженер							

## 4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

К основным затратам в данной НИР относятся затраты на электроэнергию для ПК и приобретение канцелярских товаров. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{элет}} = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (4.6)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8руб. за 1 кВт/ч);  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч. Для данной работы затраты на электроэнергию составляют:

А также расчеты и вычисления для ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком) в программе Delphi 7. Время, проведенное работой у компьютера, примем равным 900 часам. Мощность ноутбука: 0,9 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,9 \cdot 900 = 4698 \text{ руб.},$$

Затраты на электроэнергию составили 4698 рублей.

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таб. 4.7.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица Измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь (48 листов)	Шт	1	150	150
Бумага	Шт	200	0,4	80
Тонер для лазерного принтера	Шт	1	750	750
Всего за материалы				980
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				147
Электроэнергия (ноутбук)				4698
Итого по статье $Z_m$				6805

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата. Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_g}, \quad (4.9)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_g$  – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала (в рабочих днях), см. табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	275	209

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

-стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

- иные выплаты, районный коэффициент.

Инженер во время выполнения работы получает оклад, равный 9489руб./месяц. А оклад руководителя (профессора) составляет 36800руб./месяц. Следовательно:

$$\text{для руководителя: } Z_{\text{он}} = \frac{36800 \cdot 1,3 \cdot 10,42}{275} = 1812,7 \text{ руб / день};$$

$$\text{для инженера: } Z_{\text{он}} = \frac{9489 \cdot 1,3 \cdot 11,2}{209} = 661 \text{ руб / день};$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	1812,7	8	14501,6
Инженер	9489	1,3	12335,7	661	76	50236
Итого						64737,6

#### 4.3.4 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:

Руководитель:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 14501,6 = 2030,22 \text{ руб.}$$

Инженер:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 50236 = 7033 \text{ руб.},$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты (примем коэффициент дополнительной зарплаты равным 0,14 для научного руководителя).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	$k_{доп}$	$Z_{осн}$	$Z_{доп}$
Руководитель	0,14	14501,6	2030,22
Инженер	0,14	50236	7033
Итого			9063,22

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	14501,6	50236
Дополнительная заработная плата, руб.	2030,22	7033
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	4480,13	15519,9
Итого	20000	

#### 4.3.6. Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИР. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Расчет накладных расходов руководителя и инженера ведется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = k_{накл1}(Z_{осн1} + Z_{доп1} + Z_{внеб1}) + k_{накл2}(Z_{осн2} + Z_{доп2} + Z_{внеб2}), \quad (4.11)$$

где,  $k$  – коэффициент накладных расходов, берем 30%.

Поскольку НИР выполнялась в ОЭФ ИШЯТ, предположим, что накладные расходы составляют 85% от общей заработной платы работников.

$$Z_{накл} = 0,3 \cdot (14501,6 + 2030,22 + 4480,13) + 0,3 \cdot (50236 + 7033 + 15519,9) = 28140,24 \text{ руб.}$$

#### 4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	6805
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	64737,6
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9063,22
4. Отчисления во внебюджетные фонды	20000
5. Накладные расходы	28140,24
Бюджет затрат исследования	147290,06

#### 4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической 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. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по

всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фино}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.12)$$

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{фино}}^{\text{исп.}i} = \frac{147290,06}{289821,54} = 0,5;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{фино}}^{a1} = \frac{289821,54}{289821,54} = 1; \quad I_{\text{фино}}^{a2} = \frac{225895,66}{289821,54} = 0,78;$$

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a; \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p; \quad (4.13)$$

где  $I_m^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;  $b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,21 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,21 + 5 \cdot 0,28 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,28 = 4,12;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,21 + 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,28 = 3,15.$$

Сравнительная характеристика проводилась по следующим характеристикам: удобство в эксплуатации (т.е. на сколько удобно ли пользоваться моделью), точность проведенных расчетов (% - погрешности в



расчетах (разница между экспериментом и теоретическими расчетами)), потребность в ресурсах памяти (необходимый объем расчетных данных в Мб) и резервное копирование расчетных данных (аварийное сохранение данных на случае возникновения не штатных ситуации (например, отключение электричества)).

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Удобство в эксплуатации	0,21	5	5	3
2. Точность расчетов	0,30	5	3	4
3. Потребность в ресурсах памяти	0,21	5	5	4
4. Резервное копирование данных	0,28	5	4	3
ИТОГО	1	5	4,12	3,15

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^P$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле

$$I_{финр}^P = \frac{I_m^P}{I_\phi^P}; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}; \quad (4.14)$$

В результате:

$$I_{финр}^P = \frac{I_m^P}{I_\phi^P} = \frac{5}{0,5} = 10; \quad I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^a} = \frac{4,12}{1} = 4,12; \quad I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^a} = \frac{3,15}{0,78} = 4,04;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_m^P}{I_\phi^a}, \quad (4.15)$$

где  $\mathcal{E}_{cp}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_m^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_\phi^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога. В результате:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_m^p}{I_\phi^a} = \frac{10}{10} = 1; \quad \mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_m^p}{I_\phi^{a1}} = \frac{10}{4,12} = 2,43; \quad \mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_m^p}{I_\phi^{a1}} = \frac{10}{4,04} = 2,47;$$

Таблица 4.14. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,78	0,5
2	Интегральный показатель ресурсо-эффективности разработки	4,12	3,15	5
3	Интегральный показатель эффективности	4,12	4,04	10
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,43	2,47	1

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтителен первый метод получения пигментов, вследствие обеспечения высоких показателей реализации.

### Выводы разделу

В данной главе был проведен расчет затрат на выполнение научно-исследовательской работы. Сумма, затраченная на комплексное исследование, составила 147290,06 рублей. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

На основе расчета бюджета этого научно – технического исследования, видно, что изучение аккумулирующих свойств внутренней водородной атмосферы обладает большой перспективой и прекрасной экономической эффективностью. В последнее время больше и больше внимания уделено этой области исследования. Этот исследование стоит экономической вход.

## 5. Социальная ответственность

В данной квалификационной работе были разработаны теоретические методы анализа для изучения динамического структурного фактора, которые являются необходимым для реализации проекта в дальнейшем. В связи с тем, что на данном реализации проекта в целом, отсутствуют условия для проведения физических экспериментов, основным подходом к проведению запланированных исследований является компьютерное моделирование и программирование. Таким образом, основными рабочими средствами, задействованными в данной работе, являются ПК.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием различных опасных и вредных производственных факторов, оказывающих негативное влияние на работников. Под вредными факторами, понимают такие факторы трудового процесса и рабочей среды, которые характеризуются потенциальной опасностью для здоровья, в частности способствуют развитию каких-либо заболеваний, приводят к повышенной утомляемости и снижению работоспособности. При этом, вредные факторы проявляются при определенных условиях таких как интенсивность и длительность воздействия. Опасные производственные факторы способны моментально оказать влияние на здоровье работника: привести к травмам, ожогам или к резкому ухудшению здоровья работников в результате отравления или облучения.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

## **5.1 Техника безопасности**

Как отмечалось ранее, важным этапом обеспечения производственной безопасности является анализ вредных производственных факторов и изучение вопроса производственной санитарии. В силу того, что специфика выполнения данной работы, предполагает продолжительную работу исполнителей с ПК, могут быть выделены следующие вредные производственные факторы (О и В ПФ ГОСТ 12.0.003-74):

1. Неблагоприятные условия микроклимата;
2. Недостаточная освещенность рабочего места;
3. Повышенный уровень шума;
4. Электромагнитное излучение.

Также возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

1. Электрическое напряжение;
2. Пожарная и взрывная природа.

Далее производится анализ влияния перечисленных факторов и оценка их влияния на трудовой процесс, с учетом производимых мероприятий.

### **5.1.1 Микроклимат**

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха. Отклонения данных параметров от нормы оказывает вредное влияние на человека, при этом обычно возникают ухудшение самочувствия работника, снижение эффективности работы и различные заболевания. Неблагоприятные условия могут вызывать перенапряжение механизма терморегуляции, что ведет к перегреву или переохлаждению организма.

Высокая температура приводит к быстрой утомляемости работника, может привести к перегреву организма, тепловому удару. А низкая

температура может вызвать местное или общее охлаждение организма, и привести к простудному заболеванию либо обморожению. Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

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

В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

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 ГОСТ 12.1.005-88 (Таблица 5.1).

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Таблица 5.1. Комплекс требований микроклимата для нормального протекания трудового процесса (СанПиН 2.2.4.548-96).

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный	17-19	15-21	40-60	75	0,2	0,4
Теплый	20-22	16-27	40-60	70	0,3	0,2-0,5

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Это осуществляется с помощью вентиляции.

Для улучшения воздухообмена в помещении необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования:

1. Общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки;

2. Правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

Согласно СН-245-71 объем производственных помещений должен быть таким, чтобы на одного работающего приходилось не менее 15 м<sup>3</sup> свободного пространства и не менее 6 м<sup>2</sup> площади. Следовательно, согласно СП 2.2.1.1312–03 при наличии естественной вентиляции следует проектировать подачу наружного воздуха в количестве не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на каждого работающего.

### **5.1.2 Освещенность**

Недостаточная освещенность рабочего места – одно из важнейших технических требований к рабочему месту инженера. Освещенность значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости всего организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП II-4-79. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и

административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). В лаборатории для работы над дипломным проектом используется комбинированный вид освещения.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СНиП II-4-79 должна быть 200 Лк – общая освещенность и 300 Лк — комбинированное освещение.

Длина помещения  $a=6000\text{мм}$ , ширина  $b=4200\text{мм}$ .

Выбираем лампу дневного света ЛХБ, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{ЛД}} = 3100 \text{ Лм}$  при мощности 40Вт.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,1$ . Высота помещения:  $H = 3600\text{мм}$ .

Расстояние светильников от перекрытия:  $h_c = 400\text{мм}$ . Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3600 - 400 = 3200\text{мм};$$

Высота рабочей поверхности над полом:  $h_{\text{рп}} = 1000\text{мм}$ . Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{\text{рп}} = 3200 - 1000 = 2200\text{мм};$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина  $h = 2200 \text{ мм}$  не соответствует требованиям.

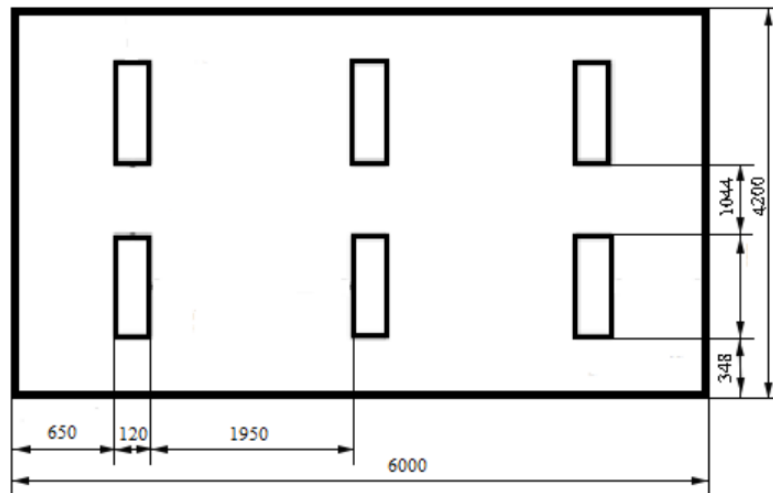


Рисунок 10 – Схема размещения светильников в помещении

Оптимальное расстояние между светильниками  $L$  должно составлять:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,2 = 2,24\text{м}$$

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна  $L/3 = 2,42/3 = 0,8\text{м}$

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

где нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95):  $E_H = 300 \text{ Лк}$  (разряд зрительной работы V: малой точности);

Площадь освещаемого освещения:  $S = 25,2 \text{ м}^2$ ;

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли:  $K_3 = 1,8$  (помещение с малым выделением пыли);

Коэффициент неравномерности освещения:  $Z = 1,1$  (для люминесцентных ламп);

Коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0,42$ . Тогда число ламп в помещении:

$$N = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,8 \cdot 25,2 \cdot 1,1}{3100 \cdot 0,42} = 11,50;$$



Расчет искусственного освещения показал, что нужно 12 ламп для освещения, т.е. 6 светильников ОД-2-40.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_n = \frac{E_H \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,8 \cdot 25,2 \cdot 1,1}{0,42 \cdot 12} = 3005,4_{лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л\delta} - \Phi_n}{\Phi_{л\delta}} \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{л\delta} - \Phi_n}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100\% = \frac{3100 - 3005,4}{3100} = 3,05\%;$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,05\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Для планирования расположения светильников нужно рассчитать расстояние между светильниками и расстояние от светильника до края помещения. Расстояние между светильниками по длине помещения  $L_a$  определяется по формуле:

$$2 \cdot L_a + 3 \cdot 266 + 2 \cdot L_a / 3 = 6000 \text{ мм.}$$

Получено  $L_a = 1950,75 \text{ мм}$ , и  $L_a / 3 = 650,25 \text{ мм}$ . Видно, что значение  $L_a$  меньше оптимального расстояния между светильниками  $L$ . Аналогично расстояние между светильниками по ширине помещения  $L_b = 1044 \text{ мм}$ , и  $L_b / 3 = 348 \text{ мм}$ .

Результат планирования расположения светильников показан на рисунке 5.1.

### 5.1.3 Шум

Вредным производственным фактором также является шум, что связано с его негативным воздействием на организм человека. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными

энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Нормирование шума призвано предотвратить нарушение слуха и снижение работоспособности и производительности труда работающих. Для разных видов шумов применяются различные способы нормирования.

Для постоянных шумов нормируются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Для непостоянных шумов нормируется так же эквивалентный уровень звука. Допустимые уровни звукового давления для рабочих мест служебных помещений и для жилых и общественных зданий и их территорий различны.

В таблице 5.2 представлены нормативные значения уровней шума на рабочих местах согласно ГОСТу 12.1.003-83.

Таблица 5.2 Нормативные значения уровней шума на рабочих местах (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г.)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения лабораторий для проведения экспериментов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Для защиты от шума применяют коллективные средства защиты и индивидуальные. В данном случае наиболее подходящими являются средства индивидуальной защиты, к которым относятся противошумные вкладыши (беруши), наушники.

### 5.1.4 Электромагнитное излучение

Как правило, в качестве источника интенсивных электромагнитных полей рассматриваются токоведущие части действующих силовых установок. Однако в данном случае источниками электромагнитного излучения являются монитор и системный блок персонального компьютера. Вопрос о существенности влияния электромагнитного излучения современных персональных компьютеров на здоровье пользователя в настоящее время является дискуссионным и не находит однозначного ответа в научной и медицинской средах [31].

Действующими нормативными документами приводятся следующие требования к уровню электромагнитных полей при работе с компьютером [32]. Таблица 5.3 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2кГц – 400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2кГц – 400кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в табл. 5.1.

Для того, чтобы снизить вредное влияние электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10 - 20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы желательно менять тип и содержание деятельности, например, чередовать редактирование и ввод данных и их считывание.

Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорнодвигательного аппарата;

2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60÷70 см, но не ближе 50 см;

3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные экраны из металлической сетки и металлических прутков в виде навесов, козырьков, и допустимая величина защитного сопротивления заземления экранирующих устройств не должна быть более 4 Ом. Кроме этих, к средствам индивидуальной защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят защитные халаты, комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты.

Материалом для защитных халатов, комбинезонов, фартуков служит специальная ткань, в структуре которой используются тонкие металлические нити, скрученные с хлопчатобумажными. Шлем и бахилы костюма делаются из такой же ткани, но в шлем спереди вшиты очки и специальная проволочная сетка для дыхания. средства индивидуальной защиты должны быть заземлены.

Очки изготавливаются из стекол специальных марок, металлизированных диоксидом олова.

### **5.1.5 Электробезопасность**

Основными причинами воздействия тока на человека являются:

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
2. Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
3. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
4. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
5. Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;
6. Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81), оборудование, запитываемое напряжением выше 42В, должно быть заземлено или занулено. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита.

### **5.1.6 Пожаровзрывоопасность**

Согласно НПБ 105-03 используемое помещение относится к категории пожароопасной В4, т.е. в которых находятся горючие и трудно горючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), но удельная пожарная нагрузка на участке находится в интервале 1-180МДж\*м<sup>-2</sup>.

В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с приложением № 1 ППБ 01-03.

Согласно НПБ 105-95 и СНиП 21-01-97 работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

Согласно ППБ 01-03 в здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре. Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г). На рисунке 11 представлен план эвакуации 204 аудитории 3 корпуса, где проводятся основные исследования по изучению динамического структурного фактора.

По плану видны основные эвакуационные выходы и огнетушители. Из огнетушителей разных видов наиболее широко используются углекислотные, порошковые и воздушно-пенные.

Огнетушители воздушно-пенные используются при тушении пожаров классов А и В (дерево, краски и ГСМ) не допускается применять для тушения электроустановок под напряжением, а также щелочных металлов; эксплуатируются при температуре от +5 до +50°C.

Порошковые огнетушители используются в качестве первичного средства тушения пожаров класса А (твердых веществ), В (жидких веществ), С (газообразных веществ) и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В; огнетушители не пригодны для тушения загораний щелочных и щелочноземельных металлов и других материалов, горение которых может происходить без доступа воздуха.

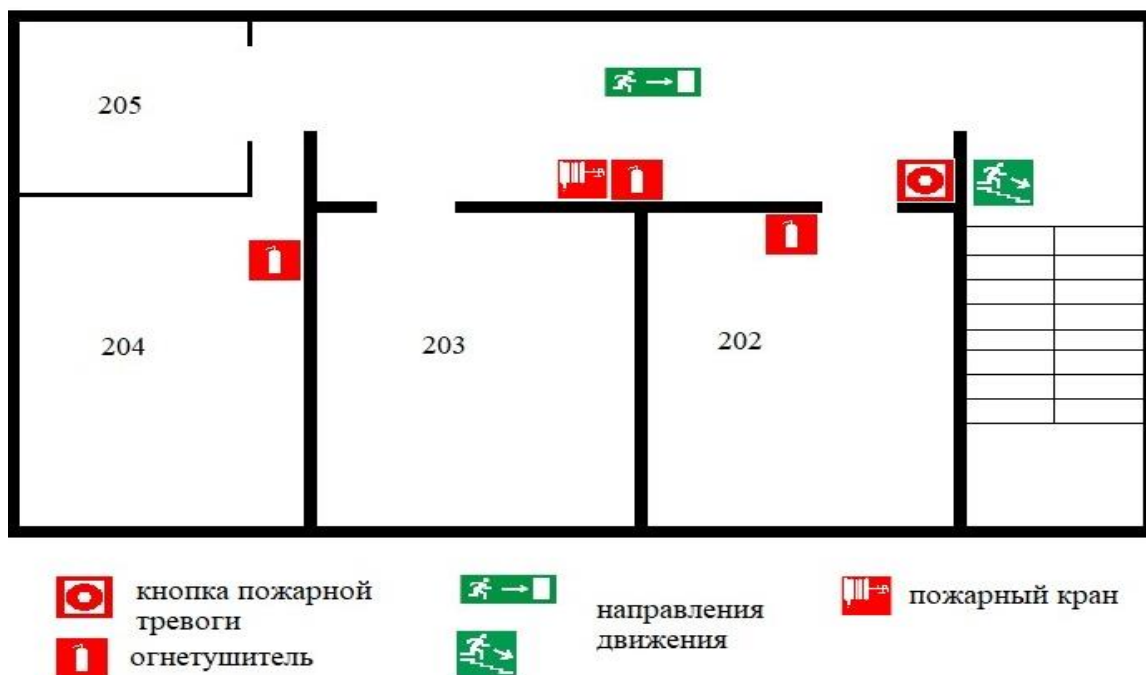


Рисунок 11 – План эвакуации из рабочего помещения

Огнетушители углекислотные предназначены для тушения загораний различных веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний на электрифицированном железнодорожном транспорте, электроустановок, находящихся под напряжением не более 10кВ.

Преимуществом углекислотных огнетушителей является отсутствие следов тушения. Огнетушители не предназначены для тушения загораний веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий).

В лабораториях расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-АВСЕ02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000В). Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающих веществ.

## 5.2 Экологическая безопасность

В настоящее время обеспечение экологической безопасности и защита окружающей среды являются важным аспектом любой технологической деятельности. Меры, принимаемые для повышения экологической безопасности, в основном заключаются в снижении уровня загрязнения окружающей среды. Все загрязнения могут быть классифицированы в соответствии с типом загрязняемой среды: 1) загрязнения литосферы (почвы); 2) загрязнение гидросферы; 3) загрязнения атмосферы.

Загрязнения атмосферы, в результате искусственной вентиляции воздуха, и загрязнения гидросферы, в результате выхода производимых в процессе жизнедеятельности сотрудников сточных вод, не связаны непосредственно с реализацией данной работы. При этом, влияние указанных факторов на глобальную и локальную экологическую обстановку незначительно при отсутствии аварийных ситуаций. Это связано, с отсутствием в здании, каких-либо технологических линий, работа которых, сопровождается выбросом жидких или газообразных отходов.

Непосредственно с выполнением данной работы, могут быть связаны негативно влияющие на экологию факторы, сопутствующие эксплуатации ПК. В частности, аспектами негативного влияния являются, отходы и выбросы, имеющие место на этапе производства ПК, а также отходы, связанные с неполной их утилизацией. Кроме того, компьютерная техника является набором приборов, потребляющих электроэнергию, в связи с чем, нерациональное их использование может быть также расценено, как необоснованная нагрузка на окружающую среду.

На основе выполненного анализа влияния компьютерной техники на окружающую среду, стоит отметить, что современные ПК, практически не оказывают негативного влияния на окружающую среду, посредством электромагнитных (в разных диапазонах частот спектра) излучениях. Кроме того, для современных ПК характерен низкий уровень производимых шумов.



Таким образом, при дальнейшем рассмотрении проблемы целесообразно остановиться на последних двух факторах влияния.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям, которые могут возникнуть при проведении лабораторных исследований посредством организации вычислительных экспериментов, относится возникновение пожаров и взрывов.

Пожары в помещениях с компьютерами представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность таких помещений – небольшие площади помещений. Известно, что пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников зажигания. В помещениях, где стоят компьютеры, присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара. Комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного его тушения, называют противопожарной защитой [33]. В рамках противопожарной защиты, как правило, проводятся следующие мероприятия:

1. Организационные: к ним относятся обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций правильной эксплуатации рабочего оборудования, разработка планов эвакуации людей и т.д.

2. Технические: к ним относятся выбор и использование современных автоматических средств сигнализации, автоматических стационарных систем тушения пожаров, первичных средств пожаротушения, разработка методов и применение устройств ограничения распространения огня и т.п.

В качестве технических средств тушения пожаров, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, одеяла и т. п.

#### **5.4 Перечень законодательного документа**

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- 1.инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;
- 2.инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- 3.инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением;
- 4.инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- 5.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- 6.ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- 7.ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- 8.ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- 9.СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
10. ГОСТ 12.1. 003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
11. СНиП П-12-77. Защита от шума.
12. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

## **Вывод к разделу**

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при выполнении выпускной квалификационной работы, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них, представлены порядки работы с использованием ПК. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности следует выполнить работу согласно вышеуказанным правилам.

## Заключение

В ходе выполнения работы достигнуты следующие результаты:

1. Исследованы и проанализированы динамические структурные факторы для плотной квазиклассической плазмы на основе псевдопотенциала, учитывающего эффект дифракции и коллективные эффекты в широком диапазоне температур.

2. Разработаны алгоритмы для вычисления всех необходимых элементов при исследовании динамического структурного фактора.

3. При изменениях различных безразмерных параметров системы показано, что с увеличением  $k$  положение пика значения ДСФ сдвигается в область больших частот, что означает нормальную дисперсию плазменных волн. При уменьшении параметра связи (увеличение температуры) выявлено увеличение значения и сдвиг пика ДСФ в область больших частот. При увеличении параметра плотности уменьшается значение пика ДСФ.

4. С помощью численных методов установлено, что с уменьшением параметра плотности результаты лучше коррелируют с результатами молекулярной динамики [27], чем данные работы [28], в которой был использован потенциал Дойча-Кельбга (потенциал Дойча плюс учет эффекта симметрии).

## Приложение А

### **Chapter 1. Theoretical study of the dynamic properties of dense semiclassical plasma**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Акмышева Айза Байжановна		

Руководитель ВКР: Никитенков Николай Николаевич

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Никитенков Николай Николаевич	Доктор физико- математических наук		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кабрышева Оксана Павловна			

## Content list

Introduction.....	87
1 Theoretical study of the dynamic properties of dense semiclassical plasma..	89
1.1 The present state of the problem .....	89
1.2 Literary review on the study of methods for researching the dynamical structure factor.....	91
1.3 Dimensionless plasma parameters.....	94
1.4 The interaction potentials of charged particles in plasma.....	96
Conclusions.....	99

## **Introduction**

The scientific and technological revolution that began last century has repeatedly increased the energy needs of humanity and forces it to turn to one of the most promising areas in the energy sector: energy production using the reaction of controlled thermonuclear fusion, which is based on the fusion of light nuclei with subsequent release of a huge amount of energy. There are currently two ways to obtain such a reaction. The first is based on magnetic plasma confinement, which is heated to a temperature of several hundred million degrees. The second way is intensive heating of thermonuclear fuel to high temperatures while simultaneously compressing it with intense electromagnetic radiation or heavy ion beams [2].

All of the above stimulates the development of a whole field of physics, as well known at the present as the physics of dense or nonideal plasma. The plasma state of matter is characterized by a sufficiently high degree of ionization of atoms, and, therefore, electromagnetic interactions play an important role in it. This leads to a significant difference in the properties of the plasma from the corresponding properties of the neutral gas, liquid or solid, which makes it possible to consider it as a special state of matter, which is produced by gas discharges, obtained in various experimental settings, which occurs in near-Earth space, the ionosphere and various astrophysical objects.

### **Relevance of the topic**

Investigation in plasma physics is impossible without theoretical conceptualization and experimental data, therefore, a wide range of theoretical methods of analysis have been developed, that make it possible to obtain reliable data on the thermodynamic, optical, electrodynamic, and dynamic properties of a dense plasma. Recently, the so-called quasiclassical approach [3,4] has become more widespread, i.e. we use simpler equations of classical physics calculating the characteristics of a nonideal plasma. The quantum effects are taken into account directly in the micro-potential of interaction of particles in the system.

It should be noted, that to describe the properties of a dense charged medium, one-component, two-component and more-component plasma can be used.

The research objective is to study the dynamic structure factor for a dense semiclassical plasma with account of the diffraction effect and collective effects.

In order to achieve this goal, the following tasks have been identified:

1.1 To calculate the response function for a system of non-interacting particles on the basis of the effective potential;

1.2 To calculate the response function for interacting particles, with zero quantity of the local field function;

1.3. To calculate the dynamical structure factor and analyze the data obtained.

2.1 Derive equations for computing the direct correlation function;

2.2 To calculate the local field function of plasma by the iteration method, by solving the Ornstein-Zernike equation in the hypernetted-chain approximation;

2.3 To calculate the response function for nonzero quantity of the local field function;

2.4 To calculate the dynamic structural factor, analyze and compare with the previous data.

The object of the research is dense semiclassical plasma.

The subject of the research is the dynamical structure factor for dense semiclassical plasma, which takes into account the diffraction effect in a wide range of densities and temperatures.

The methods of research are to achieve the task, the method of successive approximations has been used, for finding a static correlation properties of the plasma the method of integral Ornstein-Zernike equations in the hypernetted-chain approximation has been used; the algorithms of the Mathematica and Delphi programs were applied for numerical calculations.



# **1 Theoretical study of the dynamic properties of dense semiclassical plasma**

## **1.1 The present state of the problem**

By nonideal plasma we mean a quasineutral system of particles, where the interparticle Coulomb interaction dominates the chaotic motion and determines the behavior of the system. Plasma consists of different types of particles, both charged and neutral. With regard to the plasma component, we mean a group of one kind of particles of the system, for example, the electronic component of the plasma. Different types of particles often have a great difference in such physical properties as mass, charge, temperature and density. The difference in the mass of the electron with respect to the masses of the ion and atom leads to different characteristic times of evolution and relaxation of the plasma components. This is the reason that electrons and ions (atoms) often have not the same temperature for a long time. In this regard, we can talk about a subsystem of certain types of particles, that have a close value of masses and charges. In the so-called complex or dusty plasma, in addition to electrons and ions (atoms), there are nano- and micro-sized particles, which are called dust particles. The mass and charge of a dust particle are larger than the mass and charge of an ion and an electron. Thus, in the plasma, the electronic, ionic and dust subsystems are distinguished. If the energy of interaction between the particles of one subsystem is comparable or exceeds the average kinetic energy of these particles, indicative of a subsystem of strongly coupled particles. After defining the concept of the plasma subsystem, we can expand the definition of a nonideal plasma. A non-ideal plasma is a plasma in which at least one of its subsystems is strongly coupled [5].

We can consider the time dynamics of each subsystem separately at different temperatures of plasma component, with due regard for the effect of the subsystems on each other. For instance, in the absence of a dust component, the evolution of the electronic subsystem can be simulated for fixed positions of more inert ions, since

the relaxation time of the first sorts of particles is less than all the characteristic times of the second. Thus, the resulting quasi-equilibrium or quasistationary state is called local, since through some ionization time period typical for the ion subsystem, the ion configuration will change, and the electronic subsystem will have to change to a new quasi-equilibrium (quasi-stationary) state. Conversely, it is possible to simulate the dynamics of the subsystem of ions, assuming that the electrons are in local equilibrium (but not at fixed positions). In the case of complex plasmas, the dust subsystem can be considered as if the ions, atoms, and electrons were in a local stationary or equilibrium state. If the subsystem consists of particles of one kind, then they speak of a single-component plasma model. The key point in this approach is to determine the effective field acting on each particle of the subsystem. It should be kept in mind that when calculating the dynamic properties of a light plasma subsystem, the particles of a more inert subsystem should be located in certain positions. Their field acting on the particles of the first subsystem is calculated by direct summation taking into account the position of each particle of the second subsystem. In the case of considering the dynamic properties of a heavy plasma subsystem, a less inert component can be considered as an environment with a continuous density. The account of this environment on the dynamics of the inert subsystem can be realized by replacing the pair potential of the Coulomb interaction by an effective, which imitates the existence of the continuous environment. Thus, we come to the definition of an effective interparticle interaction potential. If the static (time-averaged) properties of the plasma are investigated by the method of statistical physics, and not by the solution of the particle motion equation, then the effects of a more inert subsystem on less inert system, can also be taken into account with the help of an effective interaction potential. Using effective interaction potentials is widespread in the physics of many particles. In particular, the physics of the condensed matter, plasma physics, nuclear physics, the physics of colloids, etc. This makes it possible to significantly simplify the task, leads to a more visible picture of the processes, and extends their comprehension. Such interaction potentials are used both for analytical calculations and for computer simulation [5].

Effective interaction potentials can be divided into two groups. The first include the potentials corrected for taking into account at small distances effects, such as the quantum effects of diffraction and symmetry [6-9] and the classical effect associated with particle size finiteness [10-12], but not taking collective effects into account. The second group includes effective interaction potentials, which also take into account such multiparticle collective effects [1]. In this paper, we consider dynamical properties (in particular, DSF) of the effective interaction potential that belongs to the second group.

## **1.2 Literary review on the study of methods for researching the dynamical structure factor**

The dynamical structure factor is directly measured in some experiments on the scattering of a particle beam or light on the researched object. It describes the probability of scattering and characterizes the spatiotemporal structure of the scattering substance. Some of the examples, that can be cited, include classical experiments of neutron scattering in liquids and crystals, as well as later experiments on inelastic light scattering in dilute polymer solutions, where both the diffusion motion of whole coils of polymer molecules (in scattering into small angles) and intramolecular dynamics of chains (for scattering at large angles). Some new experiments will be described later. The DSF is directly related to the inelastic scattering cross section; therefore, by measuring the energy spectrum of the scattered radiation, it is possible to obtain at the microscopic level great useful information about the time-dependent characteristics of the critical phenomena. Thus, the dynamical structure factor is an important characteristic that determines the behavior of many-particle systems. In addition to structural properties it provides information on the spectrum of collective excitations in scattering with a small transferred impulse. It also characterizes the impulse distribution, when a sufficiently large impulse is transmitted and single-particle effects determine the response of the system.

The dynamical structure factor can be researched by theoretical methods. Knowing the longitudinal dielectric function [15], we can calculate DSF based on the fluctuation-dissipation theorem. Dynamical structure factor can be also calculated on the basis of computer simulation of the system using the method of molecular or langevin dynamics [16,17].

A theory is presented [18] for the dynamic structure factor of ions and the stopping power of ions in an unmagnetized collisional quantum plasma with a degenerate electron and nondegenerate strongly correlated ionic liquid. The theory is based on the fluctuation-dissipation theorem and the dielectric constant of a quantum plasma, which is obtained from a linearized visco-elastic quantum hydrodynamic model (LVEQHM). Latest model involves the physics of quantum forces, which is associated with quantum pressure, exchange and electron-correlation effects, the quantum effect of electronic recoil caused by the dispersion of the wave functions of electrons, and with the visco-elastic properties of a highly correlated ionic liquid. Thus, LVEQHM theory is valid for collisional quantum plasma in wide ranges of the ionic coupling parameter, plasma composition, and plasma number density, which can correspond to a laboratory compressed plasma (thermonuclear fusion) and astrophysical plasma (for example, the nucleus of white dwarfs). It has been established that quantum electronic effects and visco-elastic properties of strongly correlated ions may have a significant impact on features of the dynamical structure factor of ions and ionic stopping power. In this theory, a method was developed for estimating the dependence of the static and dynamic characteristics of a plasma on parameters such as the Wigner-Seitz radius, the atomic number of ions, and the ion temperature. In contrast to previous theories, which studied ionic correlations in terms of the ionic coupling parameter, neglecting the physics of collective effects that compete with each other. It is established that because of the complexity of charge screening in a quantum plasma, one ionic bond parameter cannot be a good measure for determining ion correlation effects in a collisional quantum plasma, and the characteristics of a dense quantum plasma should be estimated from all participating plasma parameters.

The paper [19] is also devoted to the problem of calculating the DSF of a quantum dense plasma. In that paper, the dynamical structure factor of a dense beryllium plasma was calculated using non-empirical computer simulation, which is based on the molecular dynamics method. This can be defined as follows: the dynamic conductivity was determined by the Green-Kubo formulas, which relates the transport coefficient from the autocorrelation function of the microscopic current directly obtained from the data of molecular dynamics; the dielectric function corresponding to the conductivity was used to determine the DSF. Since the approach involving non-empirical computer simulation is still used only for wave numbers  $k = 0$ ,  $k$  is the dependence of the dielectric function, which was modeled with the help of the Mermin approximation. The paper presents the results for the dielectric function and DSF of a dense beryllium plasma and compares them with the Born-Mermin approximation. Significant differences were found between the results of these approaches; this emphasizes the need to apply the first principles (non-empirical) to determine the DSF of dense matter.

The paper [20] deals with the calculation of the dynamical structure factor using the theoretical method of moments, that shows good agreement with the results of computer simulation [16,17].

From the experimental work on the definition of the dynamical structure factor are considered [21]. In that paper, the prospects of using X-ray scattering to study dense plasmas are considered, and data taken from experiments in which X-ray scattering in a dense plasma is used as a diagnostic tool are presented. In one type of experiment, scattered photons are detected as a function of the angle by direct fixation on a CCD chip. Such experiments are intended primarily to observe the static ion-ionic structural factor, which are expected to dominate in plasma scattering with moderate and high atomic charge numbers  $Z$  at a temperature of several electron volts. In the second type of experiments, a curved crystal was used to observe the scattering of X-rays at a fixed angle, with an acceptable spectral resolution. This experiment was developed to determine the dynamical structure factor of plasma.

### 1.3 Dimensionless plasma parameters

We consider two-component semiclassical hydrogen plasma, which consists of ions ( $e$  is electric charge,  $m_i$  is mass and  $n_i$  is number density) of electrons ( $-e$  is electric charge,  $m_e$  is mass and  $n_e$  is number density).

The parameter characterizing the state of the system is the coupling parameter. It determines the ratio between average Coulomb interaction energy and thermal energy and it has the form:

$$\Gamma = \frac{e^2}{ak_B T} \quad (1.1)$$

where the average distance between particles is expressed in terms of the plasma number density in the following form:

$$a = \left( \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (1.2)$$

The dimensionless parameter  $\Gamma$  is called the nonideality parameter of plasma, which characterizes the average force of interaction of the particles. In case  $\Gamma \ll 1$  the plasma is ideal; for  $\Gamma < 1$  - weakly ideal (weakly coupled system); if  $\Gamma \geq 1$  it is nonideal, and in case  $\Gamma > 1$  - strongly nonideal.

The degree of deviation of the distribution function of the electronic component of plasma from the corresponding classical electron gas is characterized by means of the parameter:

$$r_s = \frac{a}{a_B} \quad (1.3)$$

where  $a_B = \frac{m_e e^2}{\hbar^2}$  is the Bohr radius. The parameter  $r_s$  increases with decreasing density.

The degree of Fermi degeneracy for the electrons is measured by the ratio:

$$\theta = \frac{k_B T}{E_F} = 2 \left( \frac{4}{9\pi} \right)^{2/3} \frac{r_s}{\Gamma} \quad (1.4)$$

where  $E_F$  is the Fermi energy of electrons. If  $\theta \ll 1$ , the plasma electrons almost completely degenerate and obey the Fermi-Dirac statistics. The condition  $\theta \gg 1$  corresponds to the state of weakly and intermediate degeneracy.

From the dimensionless parameters of the plasma environment  $T$  and  $r_s$  it is easy to go over to the dimensional parameters  $n$  and  $T$  using the following:

$$n = \frac{1.6107 \times 10^{24}}{r_s^3} \text{ cm}^{-3} \quad (1.5)$$

$$T = \frac{3.1571 \times 10^5}{r_s \Gamma} \text{ K} \quad (1.6)$$

Figure 1 shows a diagram of the possible states of a hydrogen plasma in the  $n$ - $T$  plane. In this diagram, the region of applicability of the semiclassical approach proposed in the paper is shaded. Let us explain the physical meaning of the curves that limit this region. The existence of a fully ionized plasma is possible in the region lying above curve 1, corresponding to the condition  $T = 55,000$  K. The region of the plasma parameters under curve 2, determined by the condition, corresponds to the case of a nonrelativistic plasma. Quantum effects begin to play an important role in determining the properties of a semiclassical plasma in the range of parameters below curve 3, corresponding to the plasma produced during the implementation of controlled thermonuclear fusion and existing in various astrophysical objects.

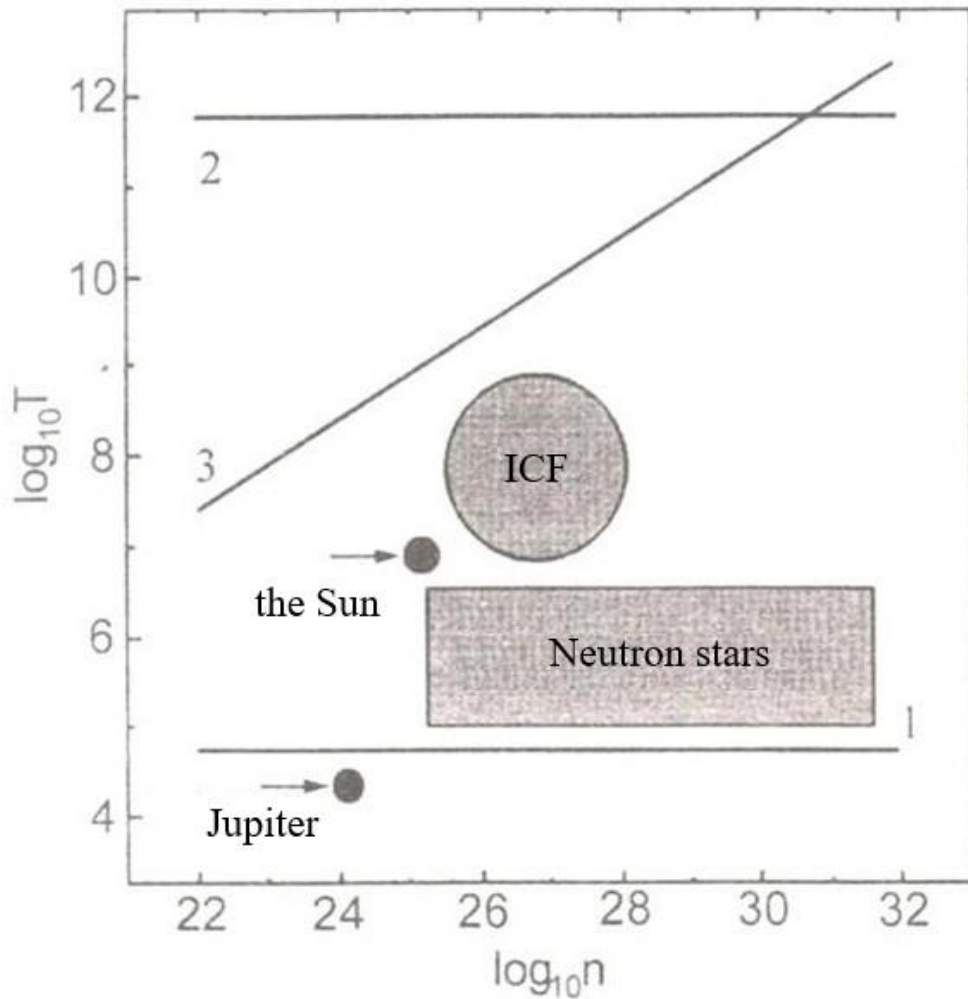


Fig. 1 - Diagram of states of dense plasma [3]

#### 1.4 The interaction potentials of charged particles in plasma

When the number density of the plasma increases, the interaction between particles of the system also increases, so that the properties of the plasma become more distinct from those of an ideal gas.

One of the main tasks to this day has been to find a universal model for the interaction between particles in a plasma that takes into account all the effects in the full range of parameter changing.

First of all, we consider the interaction potential between two isolated charged particles, which is the Coulomb potential:



$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{r} \quad (1.7)$$

where  $r$  is the distance between the particles of the type  $\alpha$  and  $\beta$ .

Compared with an isolated case in a gas, charged particles while surrounded by other charged particles behave differently. Interaction of distant particles plays an important role in the system along with the interaction of nearby particles, since the Coulomb interaction has a long-range character. Particles with one charge sign attract particles with the opposite sign, so that around the test particle appears a cloud formed by the particles with the opposite sign of charge. This interaction leads to weakening of the primary charge field in the plasma and is called the screening effect. One of the main plasma parameters for describing such effects in the system is the Debye screening radius:

$$r_d = \sqrt{\frac{k_B T}{4\pi e^2 \sum_\alpha n_\alpha}} \quad (1.8)$$

The Coulomb potential describes the interaction of an isolated system, i.e. it does not contain the influence of environment, as a result of which it does not give a complete picture for describing the interaction of particles in the plasma. For this purpose, the effective potential method is usually used. One and the first potentials of the interaction of charged particles is the Debye-Huckel potential, which is obtained by this method [13]:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_d}\right) \quad (1.9)$$

The above effective interaction potentials do not take into account quantum mechanical effects, such as diffraction and symmetry, and this leads to a deviation of potentials at short distances. A special method has been developed to account for such effects, based on a comparison of the classical Boltzmann factor and the quantum-mechanical Slater sum. In [14] the author gives an approximate expression for the effective potential in the limit of high densities and temperatures. This interaction potential is the Deutsch potential, which takes into account the diffraction effect:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{r} \left( 1 - \exp\left(-\frac{r}{\lambda_d}\right) \right) \quad (1.10)$$

where  $\lambda_d = \frac{\hbar}{\sqrt{2\pi\mu_{\alpha\beta}k_B T}}$  is the thermal de Broglie wavelength;  $\mu_{\alpha\beta} = \frac{m_\alpha m_\beta}{m_\alpha + m_\beta}$  is the reduced mass of  $\alpha - \beta$  pair.

In this paper, we use the following semiclassical pseudopotential [1]:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{r} \left( 1 - \operatorname{th} \left( \sqrt{2} \frac{\lambda_{\alpha\beta}^2}{a^2 + br^2} \right) e^{-\operatorname{th} \left( \sqrt{2} \frac{\lambda_{\alpha\beta}^2}{a^2 + br^2} \right)} \right) \left( 1 - e^{-\frac{r}{\lambda_{\alpha\beta}}} \right), b = 0,033 \quad (1.11)$$

A feature of this pseudopotential is taking into account the quantum diffraction effect at short distances in a wide region of temperatures and densities. As it was shown in [1], this potential in the limit goes over into the Deutsch potential, which describes the interaction of charged particles in plasma at high temperatures.

Figure 2 shows the graphs of the potentials of Coulomb, Debye-Huckel, Deutsch, and the potential (1.11) [1]. As it can be seen from Fig. 1, the potentials (1.11), Deutsch and Coulomb are not screened as the Debye-Huckel potential, which takes into account screening of the charge. The potentials (1.11) and Deutsch are finite at short distances in contrast to the Coulomb potential, but the potential (1.11) is lower and the difference between it and the Deutsch potential increases with decreasing temperature (with increasing  $\Gamma$ ).

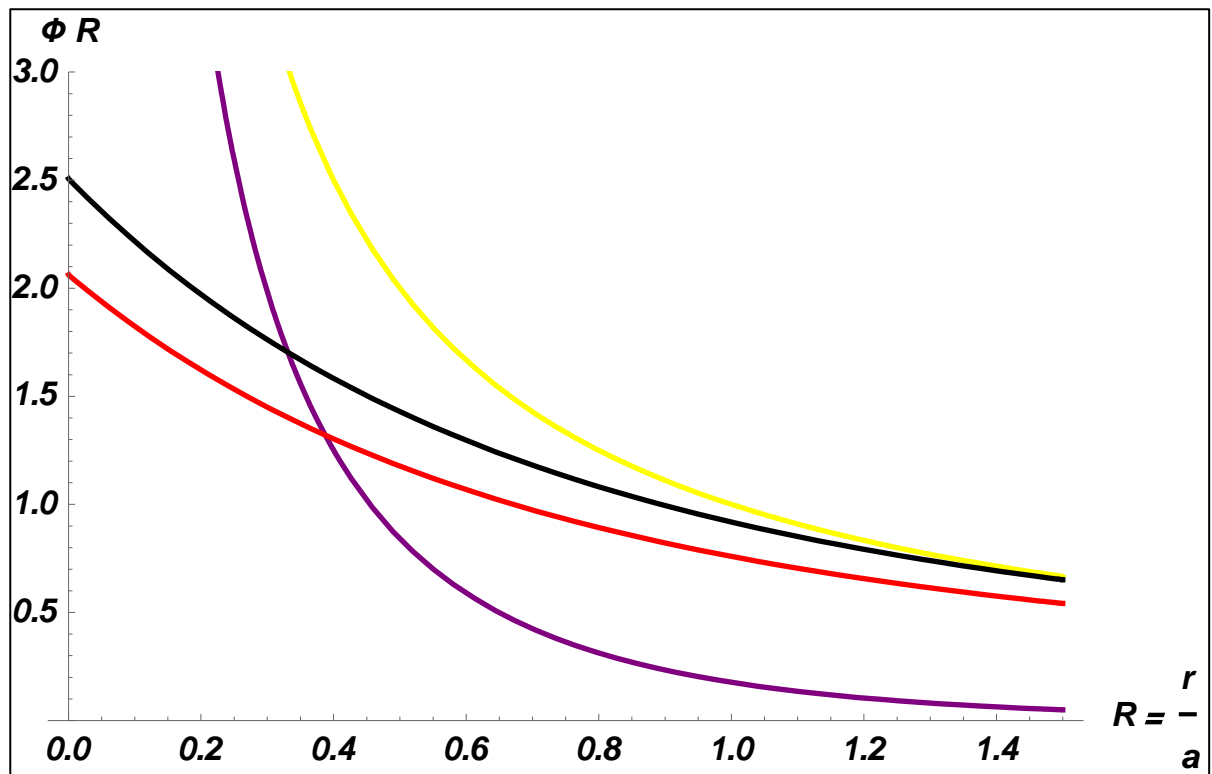


Fig. 2 - Plasma interaction potentials at  $\Gamma=1, r_s=2$

The potentials:

- Coulomb
- Debye-Huckel
- Deutsch
- potential, which based on (1.11)

## Conclusions

The dynamical structure factor for dense semiclassical plasma, which takes into account the diffraction effect in a wide range of densities and temperatures was investigated. In this chapter the present state of the problem and literary review on the study of methods for researching the dynamical structure factor were shown.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Moldabekov Zh.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Pair Interaction Potential of Particles for Two-Component Plasma // Contr. Plasma Phys. – 2012. - № 2 (52).
- 2 Дюдерштадт Дж., Мозес Г., Инерциальный термоядерный синтез / пер. с англ., под ред. Л.В. Белова. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 304 с.
- 3 Архипов Ю.В., Баимбетов Ф.Б., Давлетов А.Е., Стариков К.В. Псевдопотенциальная теория плотной высокотемпературной плазмы: Алматы, 2002. – с. 113.
- 4 Kelbg G. Einige Methoden der statistischen Thermodynamik hochionisierter Plasmen, Berlin, 1972. – Vol 3.
- 5 Молдабеков Ж.А., Эффективные потенциалы взаимодействия частиц и физические свойства неидеальной плазмы
- 6 Kelbg G. Theorie des Quanten-Plasmas // Ann. Phys.-1963. -Vol.12. - P. 219.
- 7 Dunn T. and Broyles A. A. Method for Determining the Thermodynamic Properties of the Quantum Electron Gas // Phys. Rev.-1967.-Vol.157.-P.156.
- 8 Deutsch C. Nodal Expansion in a Real Matter Plasma // Phys. Lett. A.-1977.-Vol.60.-P.317.
- 9 Filinov A.V., Bonitz M., and Ebeling W. Improved Kelbg potential for correlated Coulomb systems // J. Phys. A: Math. Gen.-2003.-Vol.36.-P.5957-5962.
- 10 Palumbo F. Effective Interaction and Effective Operators with Hard-Core Potentials // Phys. Rev. C-1971.-Vol.4, №2.-P.327.
- 11 Natapo M. Pseudopotentials and the Radius of the Atomic Core // J. Phys. Chem. Solids-1978.-Vol.39.-P.1119.
- 12 Ebeling W., Feorster A., Fortov V.E., Gryaznov V.K. and Polishchuk A.Y. Thermophysical Properties of Hot Dense Plasmas. – Stuttgart: Teubner, 1991.
- 13 Казинец И.В., Матисов Б.Г., Мазец И.Е. Структурный фактор двухкомпонентного конденсата Бозе-Эйнштейна, 2002.

14Ichimaru S., Mitake S., Tanaka S., Yan X.-Z. Theory of interparticle correlations in dense, high-temperature plasmas. I. General formalism // Phys.Rev.A. – 1985. – Vol.32. – P.1768 – 1774.

15Pschiwul Th., Zwicknagel G. Numerical simulation of the dynamic structure factor of a two-component model plasma // Journal of Physics A – 2003. Vol. 36. – P. 6251.

16Zwicknagel G., Pschiwul Th. Dynamic response of two-component model plasmas //Contrib. Plasma Phys. – 2003. – 43. – P. 393 – 397.

17Shukla P. K. and Akbari-Moghanjoughi M. Hydrodynamic theory for ion structure and stopping power in quantum plasmas // Phys. Rev. E. – 2013. – Vol. 87. – P. 043106.

18Plagemann K-U., Sperling P., Thiele R., Desjarlais M. P., Fortmann C., Doppner T., Lee H. J., Glenzer S. H. and Redmer R. Dynamic structure factor in warm dense beryllium // New Journal of Physics. – 2012. – Vol. 14. – P. 055020.

19Arkhipov Yu.V., Ashikbayeva A.B., Askaruly A., Davletov A.E., Syzganbaeva S., Tkachenko I.M. Dense plasma dynamic structure factor simulation data vs the method of moments // Abstracts of International Conference on the Strongly Coupled Coulomb systems. –Santa Fe, New Mexico, USA. – 2014. – P.75.

20Riley D., Gareta J. J. A., Benuzzi-Mounaix A., Esposito M. X-ray scattering from dense plasmas // Plasma Physics and controlled fusion. – 2005. Vol. 47. – P. 491-B50127.

21Спитцер Л. Ф. Физика полностью ионизованного газа. – М.: ИЛ, 1957.-112.

22Deutsch C. Equilibrium properties of the two-component classical plasmas // Ann. Phys/ - 1978. – Vol. 115, 404-441.

23Abrarov S. M., Quine B. M. A rational approximation for the Dawson's integral of real argument //доступно: <https://arxiv.org/pdf/1505.04683.pdf> – 2015

24Hong J., Kim Ch. Dynamic structure of strongly coupled one-component plasmas // Phys.Rev.A., v.43, p.1965.

25Pschiwul Th., Zwicknagel G. Numerical simulation of the dynamic structure factor of a two-component model plasma // Journal of Physics A. 2003. v. 36. p. 6251.

26Springer J.F., Pokrant M.A., Stevens Jr. F.A. Integral equation solutions for the classical electron gas // J.Chem.Phys., 1973, v.58, p.4863.

27Ng K.-Ch. Hypernetted chain solutions for the classical one-component plasma up to  $\Gamma=7000$  //J.Chem.Phys., 1974, v.61, p.2680.

28Iyetomi H., Utsumi K., Ichimaru S. Screening effects of degenerate electron background in high density plasmas. III. Local field correction due to electron interaction // J.Phys.Soc.Jap., 1981,v.52, p.1730.

29Hansen J.P., McDonald I.R. Microscopic simulation of a strongly coupled hydrogen plasma // Phys.Rev.A. – 1981. – Vol.23. – P.2041 – 2059.

30Стариков К.В. Исследование электродинамических свойств плотной, высокотемпературной плазмы: Канд. дис. физ.-мат. наук: Алма – Ата, 2002. – с.44 – 45.

31Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович. Томский политехнический университет. – 3-е изд. – Томск: изд-во ТПУ, 2013 – 178 с.

32СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомэпиднадзор, 2003.

33Влияние бытовых приборов на здоровье человека / Копылова М.Ю., Липикина М.В., Никулина Т.В. и др. // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: 6 всерос. науч.-практ. конф., 17-18 февраля 2005 г.: сборник трудов. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2006. – С. 130-133.