

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Квазичастицы в конденсированных средах

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2024

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): ведущий научный сотрудник, д.н. (профессор) Еремин М.В. (научно-исследовательская лаборатория "Перспективные платформы для спиновых квантовых манипуляций", Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии), Mikhail.Eremin@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач, в том числе в сфере педагогической деятельности;
ПК-1	Способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Знать: современное теоретическое описание коллективных колебаний в конденсированных средах

Уметь: применять современные методы квантовой теории для расчетов температурных зависимостей теплоемкости магнитной восприимчивости и времен релаксации с использованием современных компьютерных вычислительных систем.

Владеть: навыками расчета с использованием техники вторичного квантования.

Должен уметь:

Демонстрировать способность и готовность: проводить расчеты температурных зависимостей теплоемкости, магнитной восприимчивости, критических температур, времен релаксации ядерного спина и других характеристик новых материалов, к решению уравнений движения с использованием методов техники расчета с использованием техники вторичного квантования и методов современной квантовой теории.

Должен владеть:

Современными знаниями о физических явлениях, на основе которых созданы приборы квантовой электроники

Должен демонстрировать способность и готовность:

составлять обзоры перспективных направлений научно-инновационных исследований, готовность к написанию и оформлению патентов в соответствии с правилами

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.04 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Квантовые устройства и радиофотоника)" и относится к части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 28 часа(ов), в том числе лекции - 14 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 116 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет во 2 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Фотоны, фононы. Магноны	2	5	0	5	0	0	0	40
2.	Тема 2. Конденсация Бозе Эйнштейна . Плазмоны	2	5	0	4	0	0	0	40
3.	Тема 3. Фермионы, Боголюбоны	2	4	0	5	0	0	0	36
	Итого		14	0	14	0	0	0	116

**4.2 Содержание дисциплины (модуля)**

**Тема 1. Фотоны, фононы. Магноны**

Квантование свободного электромагнитного поля. Решение уравнения для векторного потенциала в виде разложения по плоским волнам. Обобщенные координаты и обобщенные импульсы. Представление энергии в виде энергий не взаимодействующих гармонических осцилляторов. Матричные элементы обобщенных координат и импульсов .

**Тема 2. Конденсация Бозе Эйнштейна . Плазмоны**

Бозе-Эйнштейновская конденсация. Критерий перехода систем в квантовое состояние. Теория теплоемкости. Коллективные возбуждения в гелии. Метод для расчета спектра коллективных возбуждений. Теория Боголюбова. Критерий сверхтекучести Ландау. Ротоны. Конденсация легких атомов. Методы наблюдения конденсации.

**Тема 3. Фермионы, Боголюбоны**

Куперовские пары. Аномальные средние. Уравнение Бардина Купера Шриффера.

Диагонализация модели БКШ методом Боголюбова. Боголюбоны. Типы спаривания. Механизмы спаривания. Высокотемпературные сверхпроводники. Слоистые купраты. Типы носителей. Электронные и дырочные сверхпроводники. Уравнения братьев Лондон. Плотность сверхпроводящего тока.

**5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Архив препринтов - <http://arxiv.org/find/cond-mat>

Журнал - <http://www.nano-journal.ru/images/6/62/Nano@0101Eremin.pdf>

журнал - [http://www.nanometer.ru/2015/01/03/periodika\\_448606.html](http://www.nanometer.ru/2015/01/03/periodika_448606.html)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Овладеть методом канонических преобразований. Он используется для решения широкого круга задач. Выделить основные модели в теории обменного взаимодействия. Осознать, что основные состояния ионов в кристаллах могут быть качественно угаданы на основе закона кулона. Обратит внимание на физическую интерпретация излагаемого материала.
практические занятия	Квазичастицы в гелии при низких температурах. Теория Боголюбова. Ротоны. Термодинамические характеристики сверхтекучего гелия. Решение уравнений движения для операторов рождения и уничтожения при использовании модели Бардина Купера Шриффера и в случае модели Хаббарда при описании перехода металл-диэлектрик.

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	Освоить метод вторичного квантования при записи операторов и волновых функций. Научиться применять его при составлении уравнений движения в представлении Гейзенберга. Полезно проиллюстрировать механизмы взаимодействий диаграммами. Представить распределение электронных плотностей в виде рисунков с указанием фазы соответствующих волновых функций.
зачет	Подготовиться к ответу на вопросы. 1. Квантование электромагнитного поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. 2. Квантовая теория излучения. Вынужденное и спонтанное излучения. 3. Когерентные состояния электромагнитного поля 4. Конденсация Бозе-Энштейна. 5. Квазичастицы в жидком гелии. Теория Боголюбова. 6. Сверхтекучесть . Критерий Ландау. Ротоны. 7. Сверхпроводники. Уравнение братьев Лондонов. 8. Куперовская неустойчивость. Модель Бардина Купера Шриффера. 9. Метод Боголюбова в теории сверхпроводимости. 10. Высокотемпературные сверхпроводники. Типы зависимостей энергетической щели от волнового вектора.

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;

- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе "Квантовые устройства и радиофотоника".



### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика  
Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский  
Год начала обучения по образовательной программе: 2024

#### Основная литература:

1. Петров, Ю. В. Основы физики конденсированного состояния: учебное пособие / Ю.В. Петров. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 216 с. ISBN 978-5-91559-110-2. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/484938> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Кочелаев, Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев - Казан. федер. ун-т, Ин-т физики, Каф теорет. физики.- 2-е изд., перераб., доп. и испр.- Казань: Казанский университет, 2013. - 222 с. - Текст: электронный. - URL: [http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum\\_Theory.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum_Theory.pdf) (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: открытый.
3. Приложения двухвременных термодинамических функций Грина в физике твердого тела . Конспект лекций на английском языке / Тагиров Л.Р., Кочелаев Б.И., Дёминов Р.Г., Усеинов Н.Х. ; Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2018. - 100 с. - Текст: электронный. - URL: [http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application\\_of\\_Green\\_functions.pdf](http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application_of_Green_functions.pdf) (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: открытый.

#### Дополнительная литература:

1. Абрикосов, А. А. Основы теории металлов: учебное пособие / А. А. Абрикосов. - 2-е изд. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 600 с. - ISBN 978-5-9221-1097-6. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2093> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Еремин, М.В. Микроскопические модели в конденсированных средах: учебное пособие / М.В. Еремин. - Казань, Казанский университет, 2011. - 113 с.- Текст электронный. - URL: [http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin\\_Posobie\\_2011.doc](http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin_Posobie_2011.doc) (дата обращения 02.04.2020). - Режим доступа: для авториз. Пользователей
3. Брандт, Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учебное пособие / Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский. - 3-е изд. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 632 с. - ISBN 978-5-9221-1209-3. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59598> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гантмахер, В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В. Ф. Гантмахер. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 288 с. - ISBN 978-5-9221-1487-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/91178> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.04 Квазичастицы в конденсированных средах*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовые устройства и радиофотоника

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2024

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.