

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



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д.А. Таюрский



» 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

## Программа дисциплины

Микроскопические модели в материалах для квантовой электроники

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: 2019

## 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) главный научный сотрудник, д.н. (профессор) Еремин М.В. (НИЛ магнитной радиоспектроскопии и квантовой электроники им. С.А. Альтшулера, Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии), Mikhail.Eremine@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
ПК-2	Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки) и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

разделы физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач

Должен уметь:

ставить и решать научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки)

Должен владеть:

Владеть современными методами решения задач квантовой радиофизики

Должен демонстрировать способность и готовность:

Демонстрировать способность к решению задач квантовой электроники.

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Квантовые устройства и радиофотоника)" и относится к дисциплинам по выбору.

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 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 42 часа(ов), в том числе лекции - 28 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 66 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	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Уровни энергии в волновые функции свободных атомов и ионов переходных групп	2	10	5	0	20

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Оператор кристаллического поля. Схемы сильного и слабого кристаллических полей. Пространственное распределение электронной плотности.	2	10	5	0	26
3.	Тема 3. Магнитные свойств ионов в кристаллах. Расчет компонент $g$ -тензора и параметров сверхтонкой структуры	2	8	4	0	20
	Итого		28	14	0	66

## 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

### Тема 1. Уровни энергии в волновые функции свободных атомов и ионов переходных групп

Представление момента количества движения. Кратности вырождения электронных термов. Операторы повышения и понижения квантовых чисел. Примеры расчета волновых функций термов. Классификация повторяющихся термов по родоначальному числу. Пример расчета волновых функций с различным родоначальным числом.

Оператор энергии спин-орбитального взаимодействия. Схема квантования по полному моменту количества движения. Прямые и обращенные мультиплеты. Правило интервалов. Метод диагональных сумм. Теорема Вигнера-Экарта.  $3-j$  символы. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия. Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух  $d$ -электронов.

### Тема 2. Оператор кристаллического поля. Схемы сильного и слабого кристаллических полей. Пространственное распределение электронной плотности.

Оператор кристаллического поля. Разложение по сферическим гармоникам. Правила отбора. Теорема Вигнера-Экарта. Расщепление состояний  $d$ -электрона в кубическом кристаллическом поле. Схема сильного кристаллического поля. Низкоспиновые и высокоспиновые состояния парамагнитных комплексов. Схема слабого кристаллического поля.

### Тема 3. Магнитные свойства ионов в кристаллах. Расчет компонент $g$ -тензора и параметров сверхтонкой структуры

Расчет энергетической схемы уровней для иона иттербия в тетрагональном кристаллическом поле. Расчет матричных элементов оператора кристаллического поля. Приведенные матричные элементы. Блочный вид матрицы энергии. Определение волновых функций. Расчет компонент  $g$ -тензора для различных направлений магнитного поля.

## 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 образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/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://xxx.lanl.gov/find/cond-mat>

справочник структур - <http://www.crystallography.net>

таблицы символов - <http://plasma-gate.weizmann.ac.il/369j.html>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	По мере изложения теоретического материала, обучающиеся получают задание. Работа по каждой теме выполняется письменно дома и сдаётся преподавателю. Примеры типичных задач разбираются на лекции в качестве примеров. Предмет достаточно трудный. При нерегулярном посещении лекций освоить его, как правило, не удастся.
практические занятия	В задании о расчете расщеплений кристаллическим полем применить теорему Вигнера-Экарта и использовать соотношение ортогональности 3-х символов. Предварительно разложить оператор взаимодействия электронов по сферическим функциям. Для расчета энергий возбужденных термов привлечь метод диагональных сумм. Решение задач проводить используя представлении момента количества движения.

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	Решение задач проводить, используя представление момента количества движения. Использовать операторы повышения и понижения квантовых чисел. При расчете энергии терма заданной электронной конфигурации, предварительно разложить оператор взаимодействия электронов по сферическим функциям. При расчете расщеплений кристаллическим полем применить теорему Вигнера-Экарта и использовать соотношение ортогональности $3-j$ символов.
зачет	Оцениваются владение теоретическим материалом, подкрепленным умением решать задачи по расчету уровней энергии, волновых функции и компонент $g$ -тензора. При расчете компонент $g$ -тензора для элементов группы железа использовать схему промежуточного кристаллического поля. Для редкоземельных элементов применить схему слабого кристаллического поля.

#### 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".



Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
*Б1.В.ДВ.01.01 Микроскопические модели в материалах для  
квантовой электроники*

**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: 2019

**Основная литература:**

1. Кочелаев, Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев. - [2-е изд., перераб., доп. и испр.]. - Казань: Казанский университет, 2013. - 222 с. - Режим доступа: [http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum\\_Theory.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum_Theory.pdf)
2. Леушин А.М. Теория оптических спектров. Часть I Классические методы. Учебное пособие. [Текст]. - / А.М.Леушин. - Казанский университет, Казань, 2007.- 107 с. - URL: [http://kpfu.ru/portal/docs/F1651974492/tos\\_p1.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1651974492/tos_p1.pdf)
3. Еремин, М.В. Микроскопические модели в конденсированных средах [Текст] / М.В.Еремин. -Казанский университет. - 2011. -111 с. [http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin\\_Posobie\\_2011.doc](http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin_Posobie_2011.doc)
4. Паршаков, А.Н. Введение в квантовую физику: учебное пособие / А.Н. Паршаков. - Санкт-Петербург: Лань, 2010. - 352 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/297>

**Дополнительная литература:**

1. Савельев, И.В. Основы теоретической физики: учебник: в 2 томах / И.В. Савельев. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, [б. г.]. - Том 2: Квантовая механика - 2018. - 432 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/104957>
2. Абрагам, А. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов: в 2 томах: перевод с английского / А. Абрагам, Б. Блини; под ред. С. А. Альтшулера, Г. В. Скроцкого.- Москва: Мир, 1972. - Т. 1. - 1972. - 651 с.
3. Малкин Б.З. Квантовая теория парамагнетизма. Конспект лекций / Б.З. Малкин, Э.И. Байбеков. - Казань: Казан. ун-т, 2015. - 102 с. - URL: [http://kpfu.ru/portal/docs/F800871619/quant\\_theory\\_param.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F800871619/quant_theory_param.pdf)



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.01 Микроскопические модели в материалах для  
квантовой электроники*

**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: 2019

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 "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.