

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. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Теоретические основы квантовой электроники Б1.В.ДВ.13.01

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

**Автор(ы):** Еремин М.В.

**Рецензент(ы):** Тагиров М.С.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
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
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
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 к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

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 образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3	способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК-4	способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК-3	владением компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий
ПК-4	владением методами защиты интеллектуальной собственности

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

современные методы расчета энергетических схем уровней энергии ионов переходных групп в кристаллах

Должен уметь:

расчитывать уровни и волновые функции ионов переходных групп в кристаллах

Должен владеть:

навыками расчетов в схемах сильного, среднего и слабого кристаллических полей

Должен демонстрировать способность и готовность:

проводить расчеты энергетической схемы уровней и волновых функций примесных ионов в кристаллах и готовность оценки магнитных характеристик

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.13.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (не предусмотрено)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 7, 8 семестрах.

### 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 - 72 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 36 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 72 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: отсутствует в 7 семестре; зачет в 8 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. Введение. Теория свободного атома. Приближение центрального поля.	7	2	4	0	4
5.	Тема 5. Волновые функции термов. Классификация повторяющихся термов по родонаначальному числу.	7	4	4	0	4
6.	Тема 6. Оператор энергии спин-орбитального взаимодействия. Схема квантования по полному моменту количества движения. Прямые и обращенные мультиплеты. Правило интервалов. Теорема Вигнера-Эккарта. 3-j символы. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.	7	4	4	0	8
7.	Тема 7. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.	7	4	4	0	12
8.	Тема 8. Оператор энергии кристаллического поля. Модели точечных зарядов и независимых валентных связей. координаций переходных ионов.	7	4	2	0	8
9.	Тема 9. Схема сильного кристаллического поля. Пространственное распределение электронных облаков. Определение основных состояний ионов. Низкоспиновые состояния комплексов.	8	4	6	0	10
11.	Тема 11. Схема слабого кристаллического поля. Основные методики расчета матричных элементов. Техника неприводимых тензорных операторов и метод операторов эквивалентов.	8	5	4	0	10
12.	Тема 12. Расчет энергетической схемы уровней для иона меди в тетрагональном кристаллическом поле. Статический эффект Яна-Теллера..	8	5	4	0	8
13.	Тема 13. Расчет энергетической схемы уровней для иона иттербия в тетрагональном кристаллическом поле. Теоретические оценки для компонент g - тензора.	8	4	4	0	8
Итого			36	36	0	72

## 4.2 Содержание дисциплины

### **Тема 1. Введение. Теория свободного атома. Приближение центрального поля.**

Теория атома водорода. Приближение центрального поля. Электронные конфигурации. Кратность вырождения электронных оболочек. Слэтеровские детерминанты. Правило заполнения электронных оболочек. Термы электронных оболочек. Правило Гунда. Мультиплетность термов. Примеры опеределения возможных термов для конфигураций эквивалентных электронов.

### **Тема 5. Волновые функции термов. Классификация повторяющихся термов по родонаначальному числу.**

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

### **Тема 6. Оператор энергии спин-орбитального взаимодействия. Схема квантования по полному моменту количества движения. Прямые и обращенные мультиплеты. Правило интервалов. Теорема Вигнера-Экарта. 3-j символы. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.**

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 конфигураций из двух d -электронов.

### **Тема 7. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.**

Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов. Определение параметров Слэтера по энергетической схеме уровней методом наименьших квадратов. Правило определения центров тяжести термов. Параметры Рака.

### **Тема 8. Оператор энергии кристаллического поля. Модели точечных зарядов и независимых валентных связей. координаций переходных ионов.**

Модели точечных зарядов и независимых валентных связей в теории кристаллического поля.

Выпол оператора кристаллического поля для октаэдрического окружения парамагнитного иона. Случаи кубической и тетраэдрической координаций. Ограничения , накладываемые симметрии кристаллов на возможный набор параметров кристаллического поля.

### **Тема 9. Схема сильного кристаллического поля. Пространственное распределение электронных облаков. Определение основных состояний ионов. Низкоспиновые состояния комплексов.**

Схема сильного кристаллического поля. Энергетическая схема уровней для d- электрона в октаэдрическом кристаллическом поле . Картина распределения электронной плотности в различных состояниях. Определение основных состояний ионов в схеме сильного кристаллического поля. Низкоспиновые состояния комплексов.

### **Тема 11. Схема слабого кристаллического поля. Основные методики расчета матричных элементов. Техника неприводимых тензорных операторов и метод операторов эквивалентов.**

Схема слабого кристаллического поля. Теорема Вигнера\_Экарта. Основные методики расчета матричных элементов. Техника неприводимых тензорных операторов и метод операторов эквивалентов. Техника Рака. Соотношения между приведенными матричными элементами в различных схемах квантования. Примеры расчета приведенных матричных элементов.

### **Тема 12. Расчет энергетической схемы уровней для иона меди в тетрагональном кристаллическом поле. Статический эффект Яна-Теллера..**

Расчет энергетической схемы уровней для иона меди в тетрагональном кристаллическом поле. Статический эффект Яна-Теллера. Электронно колебательное взаимодействие . Адиабатическое приближение. Адиабатические потенциалы. Туннелирование между ямами адиабатического потенциала . Вибронные состояния парамагнитных центров в кристаллах.

### **Тема 13. Расчет энергетической схемы уровней для иона иттербия в тетрагональном кристаллическом поле. Теоретические оценки для компонент g - тензора.**

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".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

А. М. Леушин. Теория оптических спектров ( 2) - [techlibrary.ru/.../2t1f1u1z1j1o\\_2h.2u.\\_3a1f1p1r1j2g\\_1p1q1t1j1y1f1s1l1j1w\\_1s1q1f1l...](http://techlibrary.ru/.../2t1f1u1z1j1o_2h.2u._3a1f1p1r1j2g_1p1q1t1j1y1f1s1l1j1w_1s1q1f1l...)

А. М. Леушин. Теория оптических спектров (1) - [kpfu.ru/portal/docs/F1651974492/tos\\_p1.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1651974492/tos_p1.pdf)

3-j, 6-j symbols - <http://www-stone.ch.cam.ac.uk/cgi-bin/wigner.cgi?symbol=3j>

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

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 7</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Контрольная работа	ОПК-4	5. Волновые функции термов. Классификация повторяющихся термов по родонаначальному числу.
2	Контрольная работа	ОПК-3	6. Оператор энергии спин-орбитального взаимодействия. Схема квантования по полному моменту количества движения. Прямые и обращенные мультиплеты. Правило интервалов. Теорема Вигнера-Эккарта. 3-j символы. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.
3	Письменное домашнее задание	ПК-3	7. Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия . Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух d -электронов.
4	Проверка практических навыков	ОПК-4	8. Оператор энергии кристаллического поля. Модели точечных зарядов и независимых валентных связей. координаций переходных ионов.



Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 8</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Контрольная работа	ОПК-4	12. Расчет энергетической схемы уровней для иона меди в тетрагональном кристаллическом поле. Статический эффект Яна-Теллера..
2	Контрольная работа	ПК-3	13. Расчет энергетической схемы уровней для иона иттербия в тетрагональном кристаллическом поле. Теоретические оценки для компонент g - тензора.
3	Письменное домашнее задание	ПК-4	11. Схема слабого кристаллического поля. Основные методики расчета матричных элементов. Техника неприводимых тензорных операторов и метод операторов эквивалентов.
4	Устный опрос	ОПК-4	9. Схема сильного кристаллического поля. Пространственное распределение электронных облаков. Определение основных состояний ионов. Низкоспиновые состояния комплексов.
	<b>Зачет</b>	ОПК-3, ОПК-4, ПК-3, ПК-4	

6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Семестр 7					
Текущий контроль					
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	1
					2
Письменное домашнее задание	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	3
Проверка практических навыков	Продемонстрирован высокий уровень освоения навыков, достаточный для успешного решения задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован хороший уровень освоения навыков, достаточный для решения большей части задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован удовлетворительный уровень освоения навыков, достаточный для решения отдельных задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован неудовлетворительный уровень освоения навыков, недостаточный для решения задач профессиональной деятельности.	4
Семестр 8					

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Текущий контроль					
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	1
					2
Письменное домашнее задание	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	3
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	4
	Зачтено		Не зачтено		
Зачет	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.		

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Семестр 7  
Текущий контроль  
1. Контрольная работа  
Тема 5



Теория атома водорода. Приближение центрального поля. Электронные конфигурации. Кратность вырождения электронных оболочек. Слэтеровские детерминанты. Правило заполнения электронных оболочек. Термы электронных оболочек. Правило Гунда. Мультиплетность термов. Примеры определения возможных термов для конфигураций эквивалентных электронов.

## **2. Контрольная работа**

Тема 6

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

## **3. Письменное домашнее задание**

Тема 7

Расчет матричных элементов остаточного электростатического взаимодействия. Метод диагональных сумм. Пример расчета для конфигурации из двух  $d$ -электронов.

## **4. Проверка практических навыков**

Тема 8

Модели точечных зарядов и независимых валентных связей. координаций переходных ионов.

## **Семестр 8**

### **Текущий контроль**

#### **1. Контрольная работа**

Тема 12

Расчет энергетической схемы уровней для иона меди в тетрагональном кристаллическом поле. Статический эффект Яна-Теллера..

#### **2. Контрольная работа**

Тема 13

Расчет энергетической схемы уровней для иона иттербия в тетрагональном кристаллическом поле. Теоретические оценки для компонент  $g$  - тензора

#### **3. Письменное домашнее задание**

Тема 11

Схема слабого кристаллического поля. Основные методики расчета матричных элементов. Техника неприводимых тензорных операторов и метод операторов эквивалентов.

#### **4. Устный опрос**

Тема 9

Схема сильного кристаллического поля. Пространственное распределение электронных облаков. Определение основных состояний ионов. Низкоспиновые состояния комплексов

#### **Зачет**

Вопросы к зачету:

1. Приближение центрального поля
2. Термы и волновые функции
3. Тонкая структура термов.
4. Построение волновых функций мультиплетов
5. Волновые функции при сложении спиновых и орбитальных моментов.
6. Классификация состояний по родонаначальному числу.
7. Оператор кристаллического поля.
8. Параметры кристаллического поля для кубических групп.
9. Теорема Вигнера -Экарта
9. Расщепление состояний  $d$ -электрона.
10. Основные состояния ионов в сильного кристаллического поля.
11. Схема слабого кристаллического поля .
12. Методы Рака и метод эквивалентных операторов
13. Теорема Крамерса. Расчет компонент  $g$ -тензора
14. Теоретико-групповая классификация состояний в кристаллическом поле.

### **6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:  
 86 баллов и более - "отлично".  
 71-85 баллов - "хорошо".  
 56-70 баллов - "удовлетворительно".  
 55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 7</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	5
		2	5
Письменное домашнее задание	Обучающиеся получают задание по освещению определённых теоретических вопросов или решению задач. Работа выполняется письменно дома и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	3	10
Проверка практических навыков	Практические навыки проверяются путём выполнения обучающимися практических заданий в условиях, полностью или частично приближенных к условиям профессиональной деятельности. Проверяется знание теоретического материала, необходимое для правильного совершения необходимых действий, умение выстроить последовательность действий, практическое владение приёмами и методами решения профессиональных задач.	4	10
<b>Семестр 8</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	5
		2	5
Письменное домашнее задание	Обучающиеся получают задание по освещению определённых теоретических вопросов или решению задач. Работа выполняется письменно дома и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	3	5
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.	4	5
Зачет	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

7.1 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)  
 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. - URL: [http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin\\_Posobie\\_2011.doc](http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin_Posobie_2011.doc)

## 7.2. Дополнительная литература:

1. Абрагам, А. Электронный парамагнитный резонанс ионов переходных групп , Том.1 [Текст] / А. Абрагам, Б. Блини - М.: Мир, 1973. - 651 с.

2. 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)

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

А. М. Леушин. Теория оптических спектров. Часть 1 - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8205](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=8205)

архив публикаций по физике - <http://xxx.lanl.gov/find/cond-mat>

Данные о структуре кристаллов в базе данных "Crystallography Open Database - <http://www.crystallography.net>

Программа для расчета 3-j , 6-j и 9-j символов - <http://plasma-gate.weizmann.ac.il/369j.html>

Таблицы 3-j символов - <http://www.svengato.com/threej.html>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Обратить внимание, что представление момента количества движения является основным. Имеются схемы четырех типов; представление одноэлектронных функций , представление полного спинового и орбитального моментов, представление полного момента, а при использовании схемы сильного кристаллического поля представление фиктивного момента.
практические занятия	Основная цель научиться рассчитывать уровни энергии и их волновые функции, а также значения компонент тензора гиромагнитных отношений ( g- фактора) и вероятности переходов между уровнями энергий. Для этой цели необходимо овладеть техникой квантовомеханического расчета высшее достижение которой- техника неприводимых тензорных операторов и генеалогических коэффициентов.
самостоятельная работа	Освоить технику сложения моментов количества движения. Выучить правила отбора для 3-j и 6-j символов. Доказать соотношения между 3-j и 6-j символами , использующееся при выводе формулы для расчета приведенных матричных элементов. Ознакомиться с методом эквивалентных операторов . Научиться вычислять значения приведенных матричных элементов.
контрольная работа	Уметь находить волновые функции термов , используя свойства операторов повышения и уменьшения квантовых чисел , соответствующих проекции момента на ось z. При нахождении волновых функций возбужденных термов использовать соотношение ортогональности функций возбужденных состояний к основным с тем же самым магнитным квантовым числом. Проверять выполнение условия нормировки.
письменное домашнее задание	Сопоставить приближение центрального поля с экспериментальными данными . Оценить значения параметров Слетера по экспериментальным данным . Предварительно , используя свойство спин-орбитального взаимодействия не изменять положение центра тяжести терма, определить его гипотетическое положение . Оценить параметр спин-орбитальной связи
проверка практических навыков	Правильность вычислений уровней энергии и их волновых функций, а также значений компонент тензора гиромагнитных отношений ( g- фактора) и вероятности переходов между уровнями энергий. Для этой цели необходимо овладеть техникой квантовомеханического расчета высшее достижение которой- техника неприводимых тензорных операторов и генеалогических коэффициентов.
устный опрос	Схемы слабого, промежуточного и сильного кристаллического полей. правила отбора для 3-j и 6-j символов. Имеются схемы четырех типов; представление одноэлектронных функций , представление полного спинового и орбитального моментов, представление полного момента, а при использовании схемы сильного кристаллического поля представление фиктивного момента.

Вид работ	Методические рекомендации
зачет	<p>Приготовиться к ответу на вопросы.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приближение центрального поля</li> <li>2. Термы и волновые функции</li> <li>3. Тонкая структура термов.</li> <li>4. Построение волновых функций мультиплетов</li> <li>5. Волновые функции при сложении спиновых и орбитальных моментов.</li> <li>6. Классификация состояний по родоначальному числу.</li> <li>7. Оператор кристаллического поля.</li> <li>8. Параметры кристаллического поля для кубических групп.</li> <li>9. Теорема Вигнера -Эккарта</li> <li>9. Расщепление состояний d-электрона.</li> <li>10. Основные состояния ионов в сильного кристаллического поля.</li> <li>11. Схема слабого кристаллического поля .</li> <li>12. Методы Рака и метод эквивалентных операторов</li> <li>13. Теорема Крамерса. Расчет компонент g-тензора</li> <li>14. Теоретико-групповая классификация состояний в кристаллическом поле.</li> </ol>

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

Освоение дисциплины "Теоретические основы квантовой электроники" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен обучающимся. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

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.

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.

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

Освоение дисциплины "Теоретические основы квантовой электроники" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

## **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 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки не предусмотрено .