

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



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса БЗ.ДВ.5

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая радиофизика и квантовая электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Орлинский С.Б.

**Рецензент(ы):**

Мамин Г.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Орлинский С.Б. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Sergei.Orlinskii@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Основной целью курса "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" является дать студентам знания о применении электронного парамагнитного резонанса для решения актуальных задач науки, промышленности и практической медицины. Для достижения этой цели студентам требуется дать знания о принципах ЭПР, о влиянии структуры вещества на спектры и релаксационные характеристики магнитного резонанса. Приводятся примеры применения полученных студентами знаний для изучения структуры твердых тел, химических соединений, биомедицинских объектов.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б3.ДВ.5 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" относится к профессиональному циклу. Она имеет как фундаментальное, так и прикладное значение в системе радиофизического образования.

Эта дисциплина связана со следующими дисциплинами: материаловедение, кристаллография, квантовая механика, основы теории колебаний, теоретическая механика.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью к грамотной письменной и устной коммуникации на русском языке
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии - большую роль в курсе "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" играет самостоятельная работа по изучению теории ЭПР, а также самотестирование студентов с использованием современных интернет-технологий
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии - в курсе "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" объясняется большое количество общенаучных и специальных терминов, относящихся к теории ЭПР
ОК-3 (общекультурные компетенции)	способностью к постановке цели и выбору путей ее достижения, настойчивость в достижении цели

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-4 (общекультурные компетенции)	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности - в курсе "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" постоянно сравниваются теория и новые экспериментальные данные - побуждая студентов критически переосмысливать накопленный опыт
ОК-6 (общекультурные компетенции)	способностью работать самостоятельно и в коллективе, способность к культуре социальных отношений - в курсе "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" приводятся варианты применения курса в будущей профессиональной деятельности. Кроме этого курс является обобщением и систематизацией ранее полученных знаний, что позволяет студенту выстроить более цельную физическую картину мира. Выполнение самостоятельной работы стимулирует к профессиональному саморазвитию
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности - курс "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" содержит основы математического аппарата, позволяющего анализировать физические, химические и биологические парамагнитные системы
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
ПК-12 (профессиональные компетенции)	способностью к подготовке документации на проведение научно-исследовательской работы (смет, заявок на материалы, оборудование, трудовых договоров), а также поиску в сети Интернет материально-технических и информационных ресурсов для обеспечения научно-исследовательской работы
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью внедрять готовые научные разработки

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

потенциал кристаллического поля и взаимодействиях внутри атома, ответственных за спектры ЭПР.

2. должен уметь:

интерпретировать спектры ЭПР, магнитные свойства примесных ионов

3. должен владеть:

Методиками спинового гамильтониана, расчетами тонкой, сверхтонкой и суперсверхтонкой структур ЭПР

4. должен демонстрировать способность и готовность:

К овладению основными методами квантовой радиофизики

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Краткий обзор теории атома. Приближение центрального поля термы. Спин-орбитальное взаимодействие.	8	1	4	0	0	научный доклад
2.	Тема 2. Расщепление термов внутрикристаллическим электрическим полем разной симметрии.	8	2-6	10	0	0	научный доклад
3.	Тема 3. Вывод спинового гамильтониана в случае невырожденного орбитального уровня.	8	7	4	0	0	научный доклад
4.	Тема 4. Вывод спинового гамильтониана в случае вырожденного орбитального состояния.	8	8	4	0	0	научный доклад
5.	Тема 5. Точные решения спинового гамильтониана: тонкая структура спектра ЭПР.	8	9	4	0	0	научный доклад

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
6.	Тема 6. Точные решения спинового гамильтониана: сверхтонкая структура спектра ЭПР	8	10	4	0	0	научный доклад
7.	Тема 7. Решение спинового гамильтониана в случае сильного магнитного поля: тонкая структура спектра ЭПР.	8	11	4	0	0	научный доклад
8.	Тема 8. Решение спинового гамильтониана в случае слабого магнитного поля.	8	12	4	0	0	научный доклад
9.	Тема 9. "Запрещенные" переходы: тонкая структура спектра ЭПР.	8	13	4	0	0	научный доклад
10.	Тема 10. "Запрещенные" переходы: сверхтонкая структура спектра ЭПР.	8	14	4	0	0	научный доклад
11.	Тема 11. Спектроскопия ЭПР квартета Г .	8	15	4	0	0	научный доклад
12.	Тема 12. Идентификация спектров ЭПР. Условия их наблюдения (3d ,4f - ионы.)	8	16	4	0	0	научный доклад
.	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	экзамен
	Итого			54	0	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Краткий обзор теории атома. Приближение центрального поля термы. Спин-орбитальное взаимодействие.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Дается представление об открытиях, предшествующих ЭПР. Пространственное квантование спинов (Штерн и Герлах). Квантовые переходы между магнитными подуровнями под влиянием равновесного излучения (Эйнштейн и Эренфест). Основы квантовой теории парамагнитной релаксации в твердых телах (Валлер). Дисперсия и нерезонансное поглощение радиоволн парамагнетиками, находящимися в постоянном магнитном поле (Гортер). 5. Резонансное поглощение радиоволн в молекулярных пучках (Раби).

## **Тема 2. Расщепление термов внутрикристаллическим электрическим полем разной симметрии.**

### **лекционное занятие (10 часа(ов)):**

Дается выражения параметров спинового гамильтониана для иона Cr, находящегося в центре октаэдра Z параллельно C. Найти выражения параметров спинового гамильтониана для иона Cr, находящегося в центре октаэдра Z параллельно C. Найти величину g - фактора иона Co, находящегося в центре октаэдра Z параллельно C. Найти выражения параметров спинового гамильтониана иона Co, находящегося в центре куба Z параллельно C. Найти расщепление и собственные функции F- термина в электрическом поле кубической симметрии Z параллельно C.

## **Тема 3. Вывод спинового гамильтониана в случае невырожденного орбитального уровня.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Выводится спиновый гамильтониан в случае невырожденного орбитального уровня. Дается вывод выражения спинового гамильтониана для иона Ni, находящегося в центре куба Z параллельно C.

## **Тема 4. Вывод спинового гамильтониана в случае вырожденного орбитального состояния.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Выводится спиновый гамильтониан в случае невырожденного орбитального уровня. Дается вывод выражения параметров спинового гамильтониана для иона Ti, находящегося в центре тетраэдра Z параллельно C.

## **Тема 5. Точные решения спинового гамильтониана: тонкая структура спектра ЭПР.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Даются основные понятия кристаллического поля. Приводятся точные решения спинового гамильтониана: тонкая структура спектра ЭПР. Дается вывод выражение параметров спинового гамильтониана для иона Cu, находящегося в центре октаэдра искаженного вдоль оси C.

## **Тема 6. Точные решения спинового гамильтониана: сверхтонкая структура спектра ЭПР**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Даются основные определения сверхтонкая структура спектров ЭПР. Объясняются причины появления в тонкой структуре спектра ЭПР "запрещенных" линий.

## **Тема 7. Решение спинового гамильтониана в случае сильного магнитного поля: тонкая структура спектра ЭПР.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Разбираются методы решения спинового гамильтониана в случае сильного магнитного поля для тонкой структуры спектров ЭПР. Объясняются причины появления в сверхтонкой структуре спектра ЭПР "запрещенных" линий.

## **Тема 8. Решение спинового гамильтониана в случае слабого магнитного поля.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Разбираются методы решения спинового гамильтониана в случае в случае слабого магнитного поля. Приводится решение задачи Брейта - Раби.

## **Тема 9. "Запрещенные" переходы: тонкая структура спектра ЭПР.**

### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Дается определение "Запрещенным" переходам. Даются основные методы определения интенсивности линий. Приводится решение обобщенную задачу Брейта - Раби.

## **Тема 10. "Запрещенные" переходы: сверхтонкая структура спектра ЭПР.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Даются основные методы определения интенсивности линий сверхтонкой структуры. Разбирается пример: ион  $Mn^{2+}$  в поле низкой симметрии.

**Тема 11. Спектроскопия ЭПР квартета Г .**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Находится выражение параметров спинового гамильтониана для иона  $Ti$  , находящегося в центре куба  $Z$  параллельно  $C$  .

**Тема 12. Идентификация спектров ЭПР. Условия их наблюдения ( $3d, 4f$  - ионы.)**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Находится уровни энергии, волновые функции иона с  $S = 5/2$ , находящегося в электрическом поле кубической симметрии при  $H$  параллельно  $Z, X, Y$ .

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Краткий обзор теории атома. Приближение центрального поля термы. Спин-орбитальное взаимодействие.	8	1	Пространственное квантование спинов (Штерн и Герлах).	4	научный доклад
2.	Тема 2. Расщепление термов внутрикристаллическим электрическим полем разной симметрии.	8	2-6	Квантовые переходы между магнитными подуровнями под влиянием равновесного излучения (Эйнштейн и Эре	10	научный доклад
3.	Тема 3. Вывод спинового гамильтониана в случае невырожденного орбитального уровня.	8	7	Основы квантовой теории парамагнитной релаксации в твердых телах (Валлер).	4	научный доклад
4.	Тема 4. Вывод спинового гамильтониана в случае вырожденного орбитального состояния.	8	8	Дисперсия и нерезонансное поглощение радиоволн парамагнетиками, находящихся в постоянном магнитном п	4	научный доклад
5.	Тема 5. Точные решения спинового гамильтониана: тонкая структура спектра ЭПР.	8	9	Резонансное поглощение радиоволн в молекулярных пучках (Раби).	4	научный доклад



N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Точные решения спинового гамильтониана: сверхтонкая структура спектра ЭПР	8	10	Многочлены Лагерра	4	научный доклад
7.	Тема 7. Решение спинового гамильтониана в случае сильного магнитного поля: тонкая структура спектра ЭПР.	8	11	Операторы Лапласа	4	научный доклад
8.	Тема 8. Решение спинового гамильтониана в случае слабого магнитного поля.	8	12	Определите, на каком расстоянии от ядра с наибольшей вероятностью можно обнаружить электрон в атом	4	научный доклад
9.	Тема 9. "Запрещенные" переходы: тонкая структура спектра ЭПР.	8	13	Определите потенциал электрического поля для основного состояния атома водорода на различных расстояниях	4	научный доклад
10.	Тема 10. "Запрещенные" переходы: сверхтонкая структура спектра ЭПР.	8	14	Вычислить относительные величины вероятностей переходов для $Ni^{2+}$ , магнитное поле перпендикулярно тет	4	научный доклад
11.	Тема 11. Спектроскопия ЭПР квартета Г .	8	15	Вычислить относительные величины вероятностей переходов для $Ni^{2+}$ , магнитное поле перпендикулярно тет	4	научный доклад

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
12.	Тема 12. Идентификация спектров ЭПР. Условия их наблюдения (3d, 4f - ионы.)	8	16	Проверить ортогональность и нормировку этих волновых функций	4	научный доклад
	Итого				54	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекционные и практические занятия проводятся с использованием мультимедийного комплекса, позволяющего наглядно получать студентам всю необходимую информацию. Занятия проводятся в интерактивной форме, позволяющей студентам лучше усваивать материал. В лекциях уделено большое внимание разбору конкретных ситуаций реальных спектров ЭПР в различных веществах. Качество обучения достигается за счет использования следующих форм учебной работы: лекции (использование проблемных ситуаций, разбор конкретных ситуаций), самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Краткий обзор теории атома. Приближение центрального поля термы. Спин-орбитальное взаимодействие.

научный доклад, примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" об пространственном квантовании спинов (Штерн и Герлах). Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

### Тема 2. Расщепление термов внутрикристаллическим электрическим полем разной симметрии.

научный доклад, примерные вопросы:

Студентами проводится расчет в пакете EasySpin расщепления внутрикристаллическим электрическим полем. Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

### Тема 3. Вывод спинового гамильтониана в случае невырожденного орбитального уровня.

научный доклад, примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" квантовой теории парамагнитной релаксации в твердых телах (Валлер). Студентами записывают спиновый гамильтониан заданной симметрии. Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

### Тема 4. Вывод спинового гамильтониана в случае вырожденного орбитального состояния.

научный доклад, примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" о дисперсии и нерезонансном поглощении радиоволн парамагнетиками, находящихся в постоянном магнитном поле (Гортер). Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

### Тема 5. Точные решения спинового гамильтониана: тонкая структура спектра ЭПР.

научный доклад, примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" о Резонансном поглощении радиоволн в молекулярных пучках (Раби) Студентами проводится расчет в пакете EasySpin спектра ЭПР ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в поле заданной симметрии. Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 6. Точные решения спинового гамильтониана: сверхтонкая структура спектра ЭПР**

научный доклад , примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" о многочленах Лагерра Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 7. Решение спинового гамильтониана в случае сильного магнитного поля: тонкая структура спектра ЭПР.**

научный доклад , примерные вопросы:

Проводится проверка поиска студентами информации в сети "интернет" об операторах Лапласа Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 8. Решение спинового гамильтониана в случае слабого магнитного поля.**

научный доклад , примерные вопросы:

Проводится проверка расчетов студентами расстояния от ядра с наибольшей вероятностью можно обнаружить электрон в атоме водорода в 1s и 2p-состояниях Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 9. "Запрещенные" переходы: тонкая структура спектра ЭПР.**

научный доклад , примерные вопросы:

Проводится проверка расчетов студентами потенциала электрического поля для основного состояния атома водорода на различных расстояниях от ядра. Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 10. "Запрещенные" переходы: сверхтонкая структура спектра ЭПР.**

научный доклад , примерные вопросы:

Студентами проводится расчет в пакете EasySpin спектра ЭПР ионов  $\text{Ni}^{2+}$ , магнитное поле перпендикулярно тетрагональной оси. Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 11. Спектроскопия ЭПР квартета Г .**

научный доклад , примерные вопросы:

Студентами в пакете EasySpin проводится расчет относительных величины вероятностей переходов для  $\text{Ni}^{2+}$ , магнитное поле перпендикулярно тетрагональной оси. Просчитать относительные величины вероятностей переходов для  $\text{Ni}^{2+}$  для случая  $H \parallel y$  Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема 12. Идентификация спектров ЭПР. Условия их наблюдения (3d ,4f - ионы.)**

научный доклад , примерные вопросы:

Расчет студентами ортогональности и нормировки волновых функций Приобретаемые компетенции: ОК-1,3,4,6,8,10,12, ПК-1,6,8,12.

#### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

1. История открытия ЭПР.
2. Найти выражения параметров спинового гамильтониана для иона  $\text{Cr}^{3+}$ , находящегося в центре октаэдра  $Z \hat{e}eC$  .
3. Найти выражения параметров спинового гамильтониана для иона  $\text{Cr}^{3+}$ , находящегося в центре октаэдра  $Z \hat{e}eC$
4. Найти величину g - фактора иона  $\text{Co}^{2+}$ , находящегося в центре октаэдра  $Z \hat{e}eC$
5. Найти выражения параметров спинового гамильтониана иона  $\text{Co}^{2+}$ , находящегося в центре куба  $Z \hat{e}eC$
6. Найти расщепление и собственные функции F- термина в электрическом поле кубической симметрии  $Z \hat{e}eC$

7. Найти выражение спинового гамильтониана для иона  $Ni$ , находящегося в центре куба  $Z \hat{e} \hat{e} C$
8. Найти уровни энергии, волновые функции иона с  $S = 5/2$ , находящегося в электрическом поле кубической симметрии при  $H \hat{e} \hat{e} Z, X, Y$ .
9. Найти выражение параметров спинового гамильтониана для иона  $Ti$ , находящегося в центре тетраэдра  $Z \hat{e} \hat{e} C$
10. Найти выражение параметров спинового гамильтониана для иона  $Ti$ , находящегося в центре куба  $Z \hat{e} \hat{e} C$ .
11. Найти выражение параметров спинового гамильтониана для иона  $Cu$ , находящегося в центре октаэдра искаженного вдоль оси  $C$ .
12. Объяснить причины появления в тонкой структуре спектра ЭПР "запрещенных" линий.
13. Объяснить причины появления в сверхтонкой структуре спектра ЭПР "запрещенных" линий.
14. Решить задачу Брейта - Раби.
15. Решить обобщенную задачу Брейта -Раби
16. При каких условиях и почему у иона  $Fe$  наблюдается изотропный  $g$  - фактор равный 4,27.
17. Программа EasySpin
18. Пространственное квантование спинов (Штерн и Герлах).
19. Квантовые переходы между магнитными подуровнями под влиянием равновесного излучения (Эйнштейн и Эренфест).
20. Основы квантовой теории парамагнитной релаксации в твердых телах (Валлер).
21. Дисперсия и нерезонансное поглощение радиоволн парамагнетиками, находящихся в постоянном магнитном поле ( Гортер).
22. Резонансное поглощение радиоволн в молекулярных пучках (Раби).
23. Многочлены Лагерра
24. Операторы Лапласа
25. Проверить ортогональность и нормировку этих волновых функций
26. Определите, на каком расстоянии от ядра с наибольшей вероятностью можно обнаружить электрон в атоме водорода в  $1s$  и  $2p$ -состояниях.
27. Определите потенциал электрического поля для основного состояния атома водорода на различных расстояниях от ядра.
28. Вычислить относительные величины вероятностей переходов для  $Ni^{2+}$ , магнитное поле перпендикулярно тетрагональной оси.
29. Просчитать поворот для случая  $H // y$

### 7.1. Основная литература:

1. М.М.Зарипов Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах: курс лекций. - Казань:Казан.гос.ун-т, 2009
2. Атомная физика. Теоретические основы и лабораторный практикум: Уч. пос. / В.Е.Граков, С.А.Маскевич и др.; Под общ. ред. А.П.Клищенко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 333с.: 60x90 1/16. - (Высшее обр.). (п) ISBN 978-5-16-004688-4, 800 экз.  
<http://znanium.com/bookread.php?book=218015>
3. Врублевская Г. В. Физика. Практикум: Учебное пособие / Г.В. Врублевская, И.А. Гончаренко, А.В. Ильюшонок. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 286 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-005340-0, 1200 экз.  
<http://www.znanium.com/bookread.php?book=252334>
4. Минько, Н. И. Методы получения и свойства нанобъектов: учеб. пособие / Н. И. Минько, В. В. Строкова, И. В. Жерновский, В. М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М. : ФЛИНТА, 2013. - 165 с. - ISBN 978-5-9765-0326-7. <http://www.znanium.com/bookread.php?book=462886>

5. Электронные приборы и устройства: Учебник / Ф.А. Ткаченко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 682 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004658-7 <http://znanium.com/bookread.php?book=209952>

## 7.2. Дополнительная литература:

1. Методическое пособие "Настройка спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии Elexsys и измерение спектров ЭПР в стационарном режиме" / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин // 2014. электронный образовательный ресурс [http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X\\_band\\_CW.pdf](http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X_band_CW.pdf)
2. Методическое пособие "Использование программного модуля EasySpin в анализе спектров магнитного резонанса" / Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин, И.Н. Субачева, Р.В. Юсупов // 2014. <http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/easyspin.pdf>
3. Электронный парамагнитный резонанс ионов переходных групп, Том. II / А. Абрагам, Б. Блини, Том. II, Мир, Москва, 1973, 349с
4. Альтшулер С. А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс, М.: Наука, 1972.

## 7.3. Интернет-ресурсы:

Поисковая система Scopus. - <http://www.scopus.com/home.url>

Программа Easyspin. - <http://www.easyspin.org/>

Программа Матлаб. - [www.mathworks.com/](http://www.mathworks.com/)

Сайт издателя Elsevier. - <http://elsevierscience.ru/>

Сайт фирмы Брукер. - [www.bruker-biospin.de](http://www.bruker-biospin.de)

Центр коллективного пользования КПФУ . - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=11446](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=11446)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса" 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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. 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, УМК, 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 профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. 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.

Установленный пакет MatLab с пакетом EasySpin.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Квантовая радиофизика и квантовая электроника .

Автор(ы):

Орлинский С.Б. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Мамин Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.