

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. Таюрский Д.А.

_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Механизмы магнитной релаксации Б1.В.ДВ.5

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Дуглав А.В.

Рецензент(ы):

Еремин М.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 6145917

Казань

2017

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) Дуглав А.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Alexander.Dooglav@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины " Механизмы магнитной релаксации " являются:

- получение детального представления об основных механизмах и процессах электронной и ядерной спин-решеточной релаксации;
- получение навыков оценки скорости ядерной и электронной релаксации за счет различных процессов релаксации.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.5 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Профессиональный цикл М2. Необходимые "входные" знания: курс по физике конденсированного состояния, курс по радиоспектроскопии. Освоение данной дисциплины необходимо для всех последующих курсов, в которых рассматриваются методы исследования, связанные с измерениями релаксационных характеристик парамагнитных систем.

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 абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1)
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки (ОПК-5)
ОПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе (ОПК-6)
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1)
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3)

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Основные механизмы и процессы электронной и ядерной спин-решеточной релаксации.

2. должен уметь:

Оценивать скорость ядерной и электронной релаксации за счет различных процессов релаксации.

3. должен владеть:

методами расчета скорости спин-решеточной релаксации в рамках различных механизмов релаксации

4. должен демонстрировать способность и готовность:

углубленного самостоятельного изучения появляющихся новых подходов к изучению механизмов и процессов магнитной релаксации.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 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. Введение. Спин-решеточная релаксация и возможность наблюдения резонанса.	3	1	1	1	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Релаксация за счет взаимодействия спинов с полем теплового электромагнитного излучения.	3	2	1	1	0	Устный опрос
3.	Тема 3. Релаксация за счет взаимодействия с полем фононов.	3	3-4	2	1	0	Тестирование

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Явление узкого фононного горла.	3	5	1	1	0	Устный опрос
5.	Тема 5. Ядерная спин-решеточная релаксация в диэлектрических диамагнитных кристаллах, обусловленная модуляцией градиента КЭП.	3	6-7	2	2	0	Устный опрос
6.	Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация в кристаллах, обусловленная изолированными примесными парамагнитными центрами.	3	8-9	2	2	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Ядерная спиновая диффузия. Ядерная релаксация через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии. Релаксация через диполь-дипольный резервуар парамагнитной примеси.	3	10	1	1	0	Тестирование
8.	Тема 8. Динамическая поляризация ядер диамагнитных атомов в твердых диэлектриках.	3	11-12	2	2	0	Устный опрос
9.	Тема 9. Ядерная спин-решеточная релаксация в металлах.	3	13-14	2	1	0	Устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	Зачет
	Итого			14	12	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Спин-решеточная релаксация и возможность наблюдения резонанса.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Введение. Спин-решеточная релаксация и возможность наблюдения резонанса. Взаимодействие спинов с полем электромагнитного излучения. Скорость спин-решеточной релаксации в двухуровневой системе. Спин-решеточная релаксация в многоуровневой системе в приближении высоких температур.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Расчет T_1 для двухуровневой системы.

Тема 2. Релаксация за счет взаимодействия спинов с полем теплового электромагнитного излучения.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Взаимодействие спинов с полем теплового электромагнитного излучения. Скорость спин-решеточной релаксации в двухуровневой системе.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Расчет T_1 при релаксации за счет взаимодействия спинов с полем теплового электромагнитного излучения.

Тема 3. Релаксация за счет взаимодействия с полем фононов.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Релаксация за счет взаимодействия с полем фононов. Механизм релаксации Валлера. Прямой и рамановский процессы спин-решеточной релаксации. Механизм электронной СРР Кронига-Ван-Флека. Приближение Орбаха. Прямой процесс. Релаксация парамагнитных ионов с четным и нечетным числом электронов. Двухфононный процесс релаксации через возбужденное состояние электронной оболочки (процесс Орбаха-Аминова). Двухфононный Рамановский процесс.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Расчет скорости релаксации в механизме Кронига-Ван-Флека, прямой процесс, для парамагнитных ионов с четным и нечетным числом электронов.

Тема 4. Явление узкого фононного горла.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Явление узкого фононного горла. Теплоемкость фононов резонансной частоты в полосе ширины линии ЭПР и теплоемкость спиновой системы. Релаксация в условиях фононного узкого горла. Фононная лавина.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Расчет скорости релаксации при наличии фононного узкого горла.

Тема 5. Ядерная спин-решеточная релаксация в диэлектрических диамагнитных кристаллах, обусловленная модуляцией градиента КЭП.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Механизм ядерной спин-решеточной релаксации в диэлектрических диамагнитных кристаллах, обусловленный модуляцией градиента КЭП. Квадрупольные моменты ядер. Взаимодействие с колебаниями решетки. Экспериментальное доказательство эффективности этого механизма.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Расчет скорости ядерной спин-решеточной релаксации, обусловленной модуляцией градиента КЭП.

Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация в кристаллах, обусловленная изолированными примесными парамагнитными центрами.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Ядерная спин-решеточная релаксация в кристаллах, обусловленная изолированными примесными парамагнитными центрами. Изолированная электронно-ядерная пара. Подход, основанный на модели случайного поля. Подход, основанный на перемешивании электронно-ядерных состояний.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Расчет скорости ядерной спин-решеточной релаксации для ядер, ближайших к парамагнитной примеси, и ядер, максимально удаленных от парамагнитных центров (в приближении однородного распределения парамагнитных центров).

Тема 7. Ядерная спиновая диффузия. Ядерная релаксация через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии. Релаксация через диполь-дипольный резервуар парамагнитной примеси.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Ядерная спиновая диффузия. Спин-решеточная релаксация системы ядерных спинов, обусловленная невзаимодействующими между собой парамагнитными центрами. Ядерная релаксация через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии. Понятие о диполь-дипольном резервуаре. Релаксация через диполь-дипольный резервуар парамагнитной примеси. Экспериментальные доказательства существования этого механизма.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Расчет скорости ядерной релаксации через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии для различных размерностей распределения парамагнитных центров.

Тема 8. Динамическая поляризация ядер диамагнитных атомов в твердых диэлектриках.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Динамическая поляризация ядер диамагнитных атомов в твердых диэлектриках. Солид-эффект при хорошем спектральном разрешении. Достижимая степень поляризации ядер.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Расчет величины и скорости установления равновесной ядерной поляризации в случае $I=S=1/2$.

Тема 9. Ядерная спин-решеточная релаксация в металлах.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Ядерная спин-решеточная релаксация в металлах. Модель свободных электронов. Восприимчивость Паули. Найтовский сдвиг. Соотношение Корринги.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Определение соотношения между скоростью релаксации и найтовским сдвигом в металлах.

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. Введение. Спин-решеточная релаксация и возможность наблюдения резонанса.	3	1	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос
2.	Тема 2. Релаксация за счет взаимодействия спинов с полем теплового электромагнитного излучения.	3	2	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос
3.	Тема 3. Релаксация за счет взаимодействия с полем фононов.	3	3-4	подготовка к тестированию	8	тестирование

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Явление узкого фононного горла.	3	5	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
5.	Тема 5. Ядерная спин-решеточная релаксация в диэлектрических диамангнитных кристаллах, обусловленная модуляцией градиента КЭП.	3	6-7	Чтение рекомендованной литературы	6	устный опрос
6.	Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация в кристаллах, обусловленная изолированными примесными парамагнитными центрами.	3	8-9	Чтение рекомендованной литературы	6	устный опрос
7.	Тема 7. Ядерная спиновая диффузия. Ядерная релаксация через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии. Релаксация через диполь-дипольный резервуар парамагнитной примеси.	3	10	подготовка к тестированию	2	тестирование
				Чтение рекомендованной литературы	4	Устный опрос
8.	Тема 8. Динамическая поляризация ядер диамангнитных атомов в твердых диэлектриках.	3	11-12	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
9.	Тема 9. Ядерная спин-решеточная релаксация в металлах.	3	13-14	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
	Итого				46	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекции, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных заданий), консультации.

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

Тема 1. Введение. Спин-решеточная релаксация и возможность наблюдения резонанса.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекции и гл.1, ♦3 книги Сликтера "Основы теории магнитного резонанса". (ОК-1, ОПК-5)

Тема 2. Релаксация за счет взаимодействия спинов с полем теплового электромагнитного излучения.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.10, ♦1 книги Абрагама, Блини "Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов", т.1. (ОК-1, ОПК-5)

Тема 3. Релаксация за счет взаимодействия с полем фононов.

тестирование , примерные вопросы:

Расчет скорости релаксации на заданной частоте по известной скорости релаксации на другой частоте. Определение вида процессов релаксации. (ОК-1, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-3)

Тема 4. Явление узкого фоновго горла.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.10, ♦6 книги Абрагама, Блини "Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов", т.1. (ОК-1, ОПК-5)

Тема 5. Ядерная спин-решеточная релаксация в диэлектрических диамагнитных кристаллах, обусловленная модуляцией градиента КЭП.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.9Г, ♦11 книги Абрагама "Ядерный магнетизм". (ОК-1, ОПК-5)

Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация в кристаллах, обусловленная изолированными примесными парамагнитными центрами.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.6, ♦Б книги Абрагам, Гольдман, "Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок", т.2. (ОК-1, ОПК-5)

Тема 7. Ядерная спиновая диффузия. Ядерная релаксация через парамагнитные центры в отсутствие ядерной спиновой диффузии. Релаксация через диполь-дипольный резервуар парамагнитной примеси.

тестирование , примерные вопросы:

Расчет скорости релаксации ядер решетки заданного кристалла через заданные примесные парамагнитные центры, ближайшие к ядрам, и наиболее удаленные от ядер, без учета ядерной спиновой диффузии. (ОК-1, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-3)

Устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.6, ♦В, Г книги Абрагам, Гольдман, "Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок", т.2. (ОК-1, ОПК-5)

Тема 8. Динамическая поляризация ядер диамагнитных атомов в твердых диэлектриках.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.5, \$2 книги Абрагама "Ядерный магнетизм", гл.6, ♦Б, Г книги Абрагам, Гольдман, "Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок", т.2. (ОК-1, ОПК-5)

Тема 9. Ядерная спин-решеточная релаксация в металлах.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и гл.9А книги Абрагама "Ядерный магнетизм". (ОК-1, ОПК-5)

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Зачет в соответствии с приведенной выше программой; контрольные тесты, формируемые на основе следующей литературы:

1. С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.: Наука, 1972.
2. К.Джеффрис. Динамическая ориентация ядер. М.: Мир, 1965.

Пример вопросов тестов:

Скорость спин-решеточной релаксации некоего иона с нечетным числом электронов в незаполненной оболочке, измеренная на ЭПР-релаксометре с частотой 9.4 ГГц (X-диапазон), в диапазоне температур 4 - 10 К имеет следующую температурную зависимость:

(приводится температурная зависимость)

Какому процессу релаксации соответствует каждое из слагаемых? Какой будет температурная зависимость скорости спин-решеточной релаксации, измеренной на релаксометре с частотой 36 ГГц?

Пример вопросов на зачет:

Прямой (однофононный) процесс в рамках механизма Кронига-Ван-Флека.

Пример задач на зачет:

Имеется кристалл лантан-магниевого нитрата (LMN), допированный изотопом неодима-142 (ядерный спин равен нулю), концентрация $s = 1$ процент. Осуществляется поляризация ядер водорода за счет солид-эффекта (насыщение запрещенных переходов ЭПР неодима). Паразитная примесь - церий с концентрацией 0,05 процента. Найти стационарную ядерную поляризацию и скорость установления ядерной поляризации при частоте накачки 36 ГГц, при температурах $T = 4,2$ К и $T = 0,5$ К. Расчет провести: а) без учета утечки через церий; б) с учетом утечки.

7.1. Основная литература:

1. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5
<http://znanium.com/bookread.php?book=469025>
2. Минько, Н. И. Методы получения и свойства нанообъектов [Электронный ресурс]: 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://znanium.com/bookread.php?book=462886>
3. Травень, В. Ф. Органическая химия. Том 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов : в 3 т. / В. Ф. Травень. - 3-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 517 с.: ил. - (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-9963-2110-0 (Т. II), ISBN 978-5-9963-0357-1.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=8693

7.2. Дополнительная литература:

1. А.Абрагам, Б.Блини. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М.: Мир, 1973, т.1.
2. А.Абрагам. Ядерный магнетизм. М.: ИЛ, 1963.
3. А.Абрагам, М.Гольдман. Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок. М.: Мир, 1984, т.2
4. Ч.Сликтер. Основы теории магнитного резонанса. М.: Мир, 1981.
5. А.Г.Гуревич. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973.
6. С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.: Наука, 1972.
7. К.Джеффрис. Динамическая ориентация ядер. М.: Мир, 1965.
8. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.

7.3. Интернет-ресурсы:

Википедия - <http://ru.wikipedia.org>

Все для студента - <http://www.twirpx.com/>

Научная библиотека им. Н.И.Лобачевского - http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056

Электронно-библиотечная система - <http://ibooks.ru>

Электронные книги - <http://eknigi.org/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Механизмы магнитной релаксации" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

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.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, методические пособия, Интернет

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика конденсированного состояния .

Автор(ы):

Дуглав А.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Еремин М.В. _____

"__" _____ 201__ г.