# Программа учебной дисциплины

|  |  |
| --- | --- |
| Название дисциплины | «Магнито-резонансные методы исследования твердых тел»  «Magnetic resonance methods in solid state physics» |
| Автор(ы) программы | Демидов Виктор Владимирович |
| Курс | 4 |
| Модули | 3 |
| Объём курса | Плановое число лекций и семинаров в неделю |
| Элементы контроля | Постановка и выполнение экспериментальной работы. Экзамен. |

# 1. Аннотация курса

Цель курса – изучение студентами основных теоретических положений в этой области, а также получение представлений о возможностях данных методов для проведения современных исследований в различных областях физики, биологии и медицины.

Задачами данного курса являются:

* Освоение студентами теоретического описания магнито-резонансных явлений в твёрдых телах. Использование как квантового, так и классического подходов для описания магниторезонансных явлений.
* Изучение экспериментальных методик, использующих магнито-резонансные явления. Определение физических задач, которые могут решаться с помощью изученных методик. Распространение изученных методик на медицинские и биологические исследования.
* Освоение практических навыков работы на стандартном спектрометре магнитного резонанса.

# 2. Программа курса

**1) Введение в теорию магнитного резонанса**

Механические и магнитные моменты электронов и ядер. Связь между механическим и магнитным моментами. Движение магнитного момента во внешнем магнитном поле. Вращающаяся система координат. Классическое представление магнитного резонанса. Квантовое представление магнитного резонанса. Регистрация магнитного резонанса. Комплексная магнитная восприимчивость вещества. Форм-фактор линии поглощения. Уравнение Блоха. Линия поглощения и линия дисперсии.

**2) Электронный парамагнитный резонанс**

Теорема Крамерса. Крамерсовы дублеты. Эффективный спин и спиновый гамильтониан. ([1] гл. 1, §4). Основные слагаемые спинового гамильтониана ([1] гл. 1, §§4-7). Соединения элементов группы железа и редкоземельных элементов. Примеры поведения энергетических уровней во внешнем магнитном поле. Разрешённые и запрещённые переходы. Сверхтонкое взаимодействие.

**3) Форма линии магнитного резонанса**

Интенсивность и ширина линии магнитного резонанса ([2] §1.6, §1.3). Форм-факторы резонансной линии (Лоренц, Гаусс, Дайсон). Однородное и неоднородное уширения резонансной линии. Поперечная и продольная релаксации и их влияние на форму линии.

**4) Спин-спиновые взаимодействия**

Магнитные диполь-дипольные взаимодействия. Обменное взаимодействие. Обменное сужение линии поглощения.

**5) Спин-фононные взаимодействия**

Тепловой резервуар фононов. Время спин-решёточной релаксации и вероятности перехода. Механизм Валлера. Механизм Ван Флека. Двух фононный механизм Орбаха. Эффект узкого фононного горла.

**6) Динамическая поляризация ядер**

Ядерный магнитный резонанс. Спин-решёточная релаксация ядер. Солид-эффект. Понятие о спиновой температуре. Динамическое охлаждение ядер. Электронно-ядерная кросс-релаксация.

**7) Методы регистрации магнитного резонанса.**

Поглощение электромагнитного излучения. Спектрометр на основе Q-метра. Различные виды объёмных СВЧ резонаторов. Магнитная система в спектрометрах магнитного резонанса. Синхронное детектирование. Импульсные спектрометры магнитного резонанса. Основные параметры вещества, определяемые методами магнитного резонанса.

**8) Магнитный резонанс в сверхпроводниках.**

Структура сверхпроводник-ферромагнетик. Эффект близости. Спин-решёточная релаксация в высокотемпературных сверхпроводниках. Нерезонансное поглощение микроволнового излучения в сверхпроводниках.

**9) Магнитный резонанс в магнитоупорядоченных системах.**

Ферромагнетики и ферромагнитный резонанс. Свободная энергия в ферромагнетике. Эффективное поле ферромагнетика. Магнитная анизотропия. Уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта. Резонансные соотношения. Плёночные структуры и поверхностные эффекты. Возникновение и регистрация дополнительных взаимодействий в магнитно-упорядоченных структурах. Магнитный псевдорезонанс.

# 3. Элементы контроля и правила оценивания

**Реферат**: в течение семестра, но не позднее месяца до окончания курса предусмотрена подготовка и защита реферата по темам из программы курса. Тематика рефератов выбирается студентом и согласуется с преподавателем. На подготовку реферата отводится 3 недели. После подготовки студенты защищают реферат, выступая с докладом на подготовленную тему перед слушателями данного курса, которые могут задавать вопросы докладчику и обсуждать представленный материал. Если защита реферата не проведена вовремя по причине неподготовленности студента, то оценка снижается на 20% за каждую неделю просрочки.   
**Экзамен:** на экзамене студентам будет предложено подготовить расширенные ответы на два вопроса по материалу лекций. Экзамен проводится в виде обсуждения подготовленных ответов на поставленные вопросы и последующей беседы по материалу курса. Оценка за экзамен складывается из суммы оценок за подготовленные ответы (2х40%) и ответа на вопрос по тематике лекций (20%).

**Правила выставления итоговой оценки:** сумма оценок за собственный реферат (30%), за активное участие при заслушивании других рефератов (10%) и за экзамен (60%). Округление итоговой оценки по арифметическим правилам.

## 4. Примеры заданий элементов контроля

**Пример темы реферата:** Механизмы спин-решёточной релаксации парамагнитной примеси.

**Пример задачи экзамена:** Нарисовать принципиальную схему простейшего ЭПР спектрометра.

**Пример вопроса по тематике лекций:** Как экспериментально получить температурную зависимость намагниченности ферромагнитно упорядоченного вещества?

# 5. Рекомендованная литература и ссылки по теме

## 5.1. Основной список

1. А. Абрагам, Б. Блини, «Электронный парамагнитный резонанс переходнх ионов», т. 1, М. «Мир», 1972.

2. С. А. Альтшуллер, Б. М. Козырев, «Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп», изд. 2-е, М., «Наука», 1972.

3. А. Г. Гуревич, «Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках», М., «Наука», 1973.

4. А. Г. Гуревич, Г. А. Мелков, «Магнитные колебания и волны», М., «Наука», 1994.

## 5.2. Дополнительный список

1. Ч. Пул, «Техника ЭПР-спектроскопии», «Мир», 1970.