

# Магнетизм конденсированных сред и наноструктур

Лекторы:

Александра Калашникова



**Язык:**

Русский

**Трудоемкость:**

6 з.е.

**Форма контроля:**

Экзамен

**Образовательная программа:**

Фотоника и спинтроника

1 семестр

**Пререквизиты:**

Общая физика: электричество и магнетизм

Оптика конденсированного состояния

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
24	16	
*1 академический час = 45 минутам		

Магнитоупорядоченные материалы находят применение в самых разных технологиях, от давно известных до самых новых или еще только появляющихся.

Целью данного курса является дать студенту углубленные знания о физике магнитоупорядоченных материалов и об особенностях свойств магнитных микро- и нанообъектов. В ходе курса студенты также познакомятся с практически-важными явлениями, находящимися на стыке магнетизма и оптики, акустики и электричества, получат представление о методиках исследования магнитных свойств и основных применениях, например, в сенсорике и записи информации.

Знания, подученные при изучении курса, заложат основу для углубленного изучения спинтроники и магноники, магнитофотоники и микромагнетизма в следующих семестрах.

# Содержание курса

## 1 семестр

### Магнетизм конденсированных сред

#### Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)
<b>1. Основы магнетизма конденсированных сред</b>	
1.1. Магнитный момент атома. Диа- и парамагнетизм и магнитное упорядочение	2
1.2. Обменное взаимодействие и типы магнитоупорядоченных сред	2
1.3. Спин-орбитальное взаимодействие и магнитная анизотропия	2
1.4. Анизотропное обменное взаимодействие и сложные магнитные структуры	2
1.5. Магнитные домены и процессы намагничивания	2
1.6. Спиновая динамика в магнитоупорядоченных средах	2
1.7. Магноны в ферро- и антиферромагнетиках	2
<b>2. Магнитные микро- и наноструктуры</b>	
2.1. Магнитные тонкие пленки	2
2.2. Магнитные гетероструктуры	2
2.3. Магнитные наночастицы свойства и применения	2
2.4. ЦМД, магнитные вихри и скирмионы	
<b>3. Немагнитные явления в магнитных материалах</b>	
3.1. Электрические явления и мультиферроики	2
3.2. Магнитоакустические и магнитооптические явления	2

#### Семинары:

##### 1. Методы исследования статических магнитных свойств:

- 1.1. SQUID магнитометрия
- 1.2. Вибрационная магнитометрия
- 1.3. Магнитосиловая микроскопия
- 1.4. Магнитооптическая магнитометрия
- 1.5. Инициативная тема от студента

##### 2. Методы исследования магнитной динамики:

- 2.1. Спектроскопия ферромагнитного резонанса и спиновых волн
- 2.2. Спектроскопия комбинационного рассеяния на спиновых волнах
- 2.3. Спектроскопия рассеяния Мандельштама-Бриллюэна на спиновых волнах
- 2.4. Инициативная тема от студента

##### 3. Применения магнитных наноструктур:

- 3.1. Магнитные наночастицы в биологии и медицине
- 3.2. Магнитные сенсоры
- 3.3. Магнитная память на жестких дисках и лентах
- 3.4. Магнитная память со случайным доступом
- 3.5. Магнитная память «на беговой дорожке»
- 3.6. Инициативная тема от студента

#### Рекомендуемые ресурсы

1. В. А. Боков, Физика магнетиков (Невский диалект, 2002)
2. С. Тикадзуми, Физика ферромагнетизма в 2-х томах, М.: Мир, 1987. - 416 с.
3. J. Stöhr, H. Ch. Siegmann, Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics (SpringerVerlag, 2006)
4. J. M. D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials (Cambridge University Press, 2010)
5. А. Г. Гуревич и Г. А. Мелков, Магнитные колебания и волны, Физматлит, 1994. - 464 с.

## Политика оценивания

### Оценочные средства дисциплины: выступление на семинаре, домашнее задание, зачет, устный экзамен.

В каждом семестре проводится промежуточная аттестация в форме устного зачета, устный экзамен, а также учитываются баллы, полученные за выступление на семинаре. Для допуска к устному экзамену необходимо успешно пройти промежуточную аттестацию (зачет), выступить с докладом на семинаре (20 баллов) и выполнить не менее 60% домашних заданий (18 из 30 баллов).

Максимальное число баллов за курс – 100.

Оценка формируется исходя из количества баллов: от 90 до 100 – «отлично», от 74 до 90 – «хорошо», от 50 до 74 – «удовлетворительно».

Максимальное число баллов за экзамен – 50 (min 20)

Максимальное число баллов за семинар – 20 (min 5)

Максимальное число баллов домашние задания – 30 (min 6 – одно решенное задание)

При невыполнении минимальных требований по любому из пунктов студент получает оценку «неудовлетворительно».

## Тип самостоятельных заданий

Домашние задания (5 заданий)

Подготовка 1 доклада для семинара по одной из заданных тем или теме, выбранной самостоятельно.

### Пример домашнего задания:

Тема: ферромагнитный резонанс в тонкой ферромагнитной пленке

1. Тонкая ферромагнитная пленка имеет легкую ось магнитокристаллической анизотропии направленную по нормали  $z$  ( $\theta = 0$ ). Также имеется анизотропия формы. Намагниченность  $0.5$  Тл. Внешнее магнитное поле приложено в плоскости пленки ( $\phi = 0$ ;  $\theta = 90^\circ$ ), его индукция меняется от  $0$  до  $0.5$  Тл.
2. Необходимо рассмотреть два, с сильной и слабой магнитокристаллической анизотропией: Дж/м<sup>3</sup> и Дж/м<sup>3</sup>.
3. Используя формализм Смита-Сула, найдите зависимость углов равновесной ориентации намагниченности от внешнего магнитного поля.
4. Используя формализм Смита-Сула, найдите зависимость частоты ферромагнитного резонанса от внешнего магнитного поля.

### Примерный перечень вопросов/заданий к зачету/экзамену:

1. Парамагнетика. Приведите выражение для зависимости намагниченности парамагнетика от внешнего магнитного поля и для температурной зависимости магнитной восприимчивости парамагнетика.
2. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетика. Закон Кюри-Вейсса, критические экспоненты. Намагниченность одно- и двумерных систем.
3. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетика. Закон Блоха и его вывод и диапазон применимости.
4. Магнитная анизотропия. Определение для энергии магнитной анизотропии. Приведите выражение, описывающее энергию кубической магнитной анизотропии. Определите ориентацию осей анизотропии для двух случаев:  $K_{\text{cubic}} > 0$  and  $K_{\text{cubic}} < 0$ .
5. Поведение антиферромагнетиков во внешнем магнитном поле. Спин-флип и спин-флоп переходы.