

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет наук о материалах

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. декана ФНМ по учебной  
работе  
\_\_\_\_\_/А.В. Кнотько /  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Физика магнитных материалов и диэлектриков**

---

**Уровень высшего образования:**

**бакалавриат**

---

**Направление подготовки:**

**04.03.02 Химия, физика и механика материалов**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**

**общий**

---

**Форма обучения:**

**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Методической комиссией факультета наук о материалах  
(протокол №\_\_\_\_\_, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от \_\_\_\_\_20\_\_ г.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: базовая часть, профессиональная подготовка, модуль «Физика конденсированного состояния», курс предназначен для студентов факультета наук о материалах **4-го года обучения (7-й семестр)**, курс является обязательным

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):

Математический анализ  
Обыкновенные дифференциальные уравнения  
Общая физика  
Введение в физику твердого тела и физика полупроводников

3. Результаты обучения по дисциплине:

*Знать:* основные принципы твердотельного магнетизма, стандартные магнитные структуры, основные типы обменных взаимодействий, типичные зависимости магнитных свойств веществ от температуры, магнитного поля, химического состава и т.п.;

*Уметь:* проводить расчеты основных параметров магнитных веществ, температурных зависимостей восприимчивости и спонтанного магнитного момента, владеть анализом по зависимости Кюри-Вейсса, использовать полученные знания для теоретического описания и экспериментального изучения магнитных явлений в твердых телах;

4. Объем дисциплины составляет 3 з.е. (108 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	7				
<b>Общая трудоёмкость, акад. Часов</b>	108				108
<b>Аудиторная работа:</b>	72				72
Лекции, акад. Часов	36				36
Семинары, акад. Часов	18				18
Лабораторные работы, акад. часов					
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	54				54
<b>Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)</b>	Экз.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

### 1. ОСНОВЫ МАГНЕТИЗМА АТОМОВ

(лекции - 8 часов, семинары - 4 часов)

Предмет и структура курса.

Орбитальный магнетизм электрона в атоме в квазиклассическом приближении. Магнетон Бора.

Спиновый магнетизм электрона в атоме.

Сложение векторов орбитального и спинового магнитного момента, g-фактор. Правила

Хунда. Расчет магнитных свойств атомов и ионов.

Спин  $\frac{1}{2}$  во внешнем магнитном поле. Закон Кюри.

Электронный парамагнитный резонанс. Экспериментальное определение g-фактора из спектра ЭПР.

## 2. ОСНОВЫ МАГНЕТИЗМА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

(лекции - 21 часов, семинары – 10 часов)

Магнитные свойства ионов в кристалле. Роль переходных металлов в магнетизме твердых тел. d- и f-металлы.

Кулоновское поле соседних ионов в твердом теле. Аналитическое выражение для кристаллического поля. Замораживание орбитального момента в d-металлах. Орбитали  $e_g$  и  $t_{2g}$  в октаэдрическом и тетраэдрическом окружении. Высокоспиновое и низкоспиновое состояния.

Снятие вырождения при нарушении симметрии. Эффект Яна-Теллера.

Спин-орбитальное взаимодействие в d- и f-металлах. Случаи 3d, 4d и 5d-ионов.

Обменное взаимодействие в твердых телах. Модель Гейзенберга. Модель Изинга. Ферромагнитный и антиферромагнитный обмен.

Магнитное упорядочение в ферромагнетике в приближении среднего поля. Закон Кюри-Вейсса.

Разложение Ландау для перехода II рода и параметр порядка. Эквивалентность приближению среднего поля.

Неелевский антиферромагнетик в приближении среднего поля. Закон Кюри-Вейсса. Спин-флип переход.

Ферримагнетики. Нарушение закона Кюри-Вейсса. Точка компенсации.

Длиннопериодические магнитные структуры.

Типы обменного взаимодействия в твердых телах. Магнитные диэлектрики. Правила Гуденафа-Канамори. Магнитные металлы. РККИ-обмен.

Спиновые стекла. Температурные зависимости восприимчивости. Случаи охлаждения в нулевом и ненулевом поле.

Фрустрированные магнетики. Вырожденное основное состояние.

Сегнетомагнетики (мультиферроики.)

Плотность состояний в нормальных и переходных металлах. Парамагнетизм Паули.

Зонный магнетизм. Модель Хаббарда. Параметры  $U$  и  $t$ . Критерий Стонера.

Зонный магнетизм. Температурные зависимости восприимчивости и намагниченности. Воздействие магнитного поля. Метамагнетизм.

Плотность состояний в магнетике при нулевой температуре. Ее изменение при ненулевой температуре. «Наполовину-металлы» (half-metals.)

Магноны в ферромагнетиках. Вклад магнонов в намагниченность и теплоемкость. Выделенность случаев низкой размерности.

## 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНЕТИКОВ

(лекции - 7 часов, семинары — 4 часа)

Магнитная анизотропия. Магнитострикция. Практические применения магнитострикции.

Ферромагнитные домены и доменные стенки. Магнитный гистерезис и цикл перемагничивания. Магнитожесткие и магнитомягкие вещества. Роль магнитной анизотропии. Практическое применение ферро- и ферримагнетиков. Постоянные магниты.

Магнитосопротивление в магнетиках. Явления «гигантского» и «колоссального» магнитосопротивления.

Основы магнитных измерений. Измерение намагниченности и восприимчивости.  $ac$ -магнитометр. СКВИД-магнитометр. Форм-фактор.

Исследование магнитных структур с помощью дифракции нейтронов и синхротронного излучения.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Список контрольных вопросов

1. Какова характерная орбитальная скорость электронов в одноэлектронном атоме?
2. Каков физический смысл первого правила Хунда?
3. Для каких электронных конфигураций ненулевые векторы орбитального и спинового момента в сумме дают нулевой полный момент?
4. Обязательно ли  $g$ -фактор имеет значения в интервале от 1 (чисто орбитальный) до 2 (чисто спиновый)?
5. Почему ЭПР может наблюдаться при комнатной температуре, хотя характерные энергии при этом намного меньше  $kT$ ?
6. Почему в выражении для кристаллического поля квадратичный член обращается в ноль?
7. Почему выражения для кристаллического поля для тетраэдрического и октаэдрического окружения практически одинаковы?
8. Какое вырождение не снимается при тетрагональной деформации октаэдрического окружения?
9. Что является параметром порядка в случае ян-теллеровского перехода?
10. Почему медь, серебро, золото не только немагнитны, но и их восприимчивость Паули слишком мала для переходных металлов?
11. Почему металлический никель магнитен, а его аналоги палладий и платина немагнитны?
12. Почему малая характерная энергия ферромагнитного магнона обычно соответствует большой эффективной массе?
13. Как проще всего отличить ферримангнетик от ферромагнетика?
14. Каковы скорость и энергия нейтронов с де-бройлевской длиной волны порядка одного ангстрема?
15. Где должны находиться магнитные рефлексы на нейтронограмме неелевского антиферромагнетика?
16. Какую роль в промышленном материале для постоянных магнитов  $SmCo_5$  играет самарий?
17. Какое максимально значение восприимчивости мы можем измерить, если образец имеет форму шара?

Список тем рефератов

Студенты выполняют реферат классической статьи по заданной теме из высокоцитируемого англоязычного журнала, выбранной самостоятельно и одобренной преподавателем.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

1. Электронная структура и магнитные свойства атома.  $g$ -фактор. 3d и 4f-металлы.
2. «Замораживание» орбитального момента кристаллическим полем. Спин-орбитальное взаимодействие.
3. Обменное взаимодействие в твердых телах. Модель Гейзенберга. Модель Изинга.
4. Магнитные фазовые переходы в приближении среднего поля.
5. Магнитные фазовые переходы в приближении разложения Ландау
6. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримангнетики. Закон Кюри-Вейсса.
7. Типы обменного взаимодействия. Магнитные диэлектрики. Правила Гуденафа-Канамори.
8. Типы обменного взаимодействия. Магнитные металлы. РККИ-обмен.
9. Ферромагнитные домены и доменные стенки. Магнитный гистерезис.
10. Зонный магнетизм. Модель Хаббарда. Критерий Стонера.
11. Низкоразмерный магнетизм.
12. Магноны в ферро- и антиферромагнетиках.

## 7. Ресурсное обеспечение:

### 7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

А.А. Абрикосов. Основы теории металлов. Москва, Наука, 2009.

Дополнительная литература

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. Москва, Мир, 1979.
2. В.С. Вонсовский. Магнетизм. Москва, Наука, 1971.

### 7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)

Не требуется

### 7.3. Описание материально-технического обеспечения.

аудитория с доской, компьютерный проектор,

## 8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

## 9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.-м.н. А.В. Андиранов