

## Рабочая программа дисциплины

### 1. Название дисциплины: Микромагнетизм.

### 2. Лекторы.

2.1. к.ф.-м.н., доцент Лукашѳва Екатерина Викентьевна, кафедра общей физики физического факультета МГУ, e-mail [evlukasheva@physics.msu.ru](mailto:evlukasheva@physics.msu.ru), тел: 14-89, 10-81.

### 3. Аннотация дисциплины.

В основе микромагнетизма лежит классическая феноменологическая макроскопическая теория. Она не ставит своей целью объяснение природы спонтанной намагниченности, магнитной анизотропии и других эффектов, присущих магнитоупорядоченным веществам. В теории микромагнетизма эти эффекты постулируются и учитываются соответствующим образом записанными выражениями для полной свободной энергии. Теория ставит своей задачей найти пространственное распределение намагниченности и зависимость его от времени, исходя только из выражений для свободной энергии и общих уравнений равновесия и движения вектора намагниченности.

В курсе рассматриваются различные типы магнетиков: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, ферримагнетики и т.д. Особое внимание уделяется ферромагнетикам и ферритам. Изучаются виды взаимодействий в магнетиках. Подробно рассматриваются статические магнитные структуры, реализуемые в этих веществах, экспериментальные способы обнаружения и исследования этих структур. Во второй части курса рассматривается динамика намагниченности: микромагнитное уравнение, уравнение движения намагниченности (уравнение Ландау-Лифшица) с различными релаксационными слагаемыми, изучается ферромагнитный резонанс, выводится дисперсионное соотношение для спиновых волн в магнитных плѳнках. Также изучается движение магнитных неоднородностей стационарного профиля и модель Уокера для движения доменной стенки. Внимание уделяется и колебательному движению доменной границы.

### 4. Цели освоения дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен освоить основные принципы микромагнитной теории, уметь анализировать поведение магнитных структур магнетиков во внешних полях, представлять возможности современного экспериментального исследования этих структур и их компьютерного моделирования.

### 5. Задачи дисциплины.

Получение теоретических знаний о статике и динамике магнитных неоднородностей. Умение использовать полученные базовые знания при моделировании магнитных структур и их экспериментальном изучении. Овладение знаниями о физических моделях, а также об ограничениях и границах их применимости

### 6. Компетенции.

7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ОНК-5, ПК-1

7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ПК-2, М-СПК-3, М-СПК-10, М-СПК-15, М-СПК-18

### 7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать магнитные структуры в магнетиках и их эволюцию под действием внешних магнитных полей;

уметь рассчитывать поля, создаваемые намагниченными магнетиками во внешней среде и эффективные поля внутри магнетика;  
 владеть современными представлениями о возможностях исследования и применения магнетиков;

#### 8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	2			
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	72	...	...	72
<b>Аудиторная работа:</b>	34	...	...	34
Лекции, акад. часов	26	...	...	34
Семинары, акад. часов	8	...	...	8
Лабораторные работы, акад. часов	...	...	...	...
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	38	...	...	38
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)</b>	Экзамен	...	...	...

№ раз-дела	Наименование раздела Разделы могут объе-динять несколько лекций	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий Распределение общей трудоёмкости по семестрам указано в рабочих планах (приложение 7)			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа Содержание самостоятельной работы должно быть обеспечено, например, пособиями, интернет-ресурсами, домашними заданиями и т.п.
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Виды магнетиков, их свойства. Магнитное поле, создаваемое магнетиком.	2 часа. Ферромагнетики. Основные понятия: намагниченность, доменная структура (ДС), восприимчивость. Процесс намагничивания ферромагнетика. Технические свойства ферромагнетиков. Магнитомягкие и магнитожесткие ферромагнетики. Кривые намагничивания. Гистерезис.	2 часа Решение задач по определению магнитных полей, создаваемых однородно намагниченными телами, намагничиванию магнетиков во внешних полях		РС. Оп Об РК	
		2 часа Макроскопический магнитный момент. Вектор намагниченности. Точечный магнитный момент. Скалярный и векторный магнитный потенциал точечного магнитного момента.				2 часа. Работа с лекционным материалом. Вектор намагниченности. Точечный магнитный момент. Скалярный и векторный магнитный потенциал точечного магнитного момента.
		2 часа Однородно намагниченный магнетик. Тензор размагничивающих коэффициентов. Предельные случаи. Баллистический и магнетометрический факторы формы				2 часа Работа с лекционным материалом. Вектор намагниченности. Точечный магнитный момент. Скалярный и векторный магнитный потенциал точечного магнитного момента.
2	Взаимодействия в ферромагнетиках. Магнитная структура ферро- и ферри-магнетиков.	2 часа. Энергия обменного взаимодействия, энергия магнитной кристаллографической анизотропии, энергия Зеемана, магнитостатическая энергия. Микромагнитное уравнение. Внутреннее эффективное поле.			РС. Оп Об Р	
		2 часа Одномерное распределение намагниченности в магнитной плёнке. Домены и доменные стенки. Доменные стенки Блоха и Нееля. Параметры доменных стенок.				3 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Домены и доменные стенки.

		2 часа Двумерное распределение намагниченности в магнитной плёнке. Скрученная доменная стенка. Горизонтальные линии Блоха.			3 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Двумерные магнитные структуры	
		2 часа Численные решения микромагнитного уравнения для двумерных и трёхмерных распределений намагниченности	4 часа Численное моделирование статических микромагнитных структур		3 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Численные решения микромагнитного уравнения	
		2 часа Экспериментальные исследования доменных структур.			6 часов. Работа с лекционным материалом и литературой. Написание реферата. Экспериментальные исследования доменных структур	
3	Динамика намагниченности	2 часа Уравнение движения намагниченности и его микроскопическое обоснование. Диссипативный (релаксационный) член и его различные формы. Динамическое уравнение в терминах магнитного поля.	2 часа Численное решение уравнения движения намагниченности с учётом релаксации.		2 часа. Работа с лекционным материалом Уравнение движения намагниченности	РС. Оп Об РК
		2 часа Линеаризованное уравнение движения. СВЧ восприимчивость			2 часа. Работа с лекционным материалом Линеаризованное уравнение движения. СВЧ восприимчивость	
		2 часа Ферромагнитный резонанс (ФМР). ФМР в магнитных плёнках.			3 часа. Работа с лекционным материалом Ферромагнитный резонанс	
		2 часа Спиновые волны. Дисперсионное соотношение для спиновых волн в магнитных плёнках.			2 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Спиновые волны.	
		2 часа Движение магнитных неоднородностей стационарного профиля. Модель Уокера для движения доменной стенки			2 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Движение магнитных неоднородностей стационарного профиля	

		4 часа Подвижность доменной границы. Колебательное движение доменной границы. Эффективная масса, упругость, вязкое трение при колебательном движении доменной стенки. Резонанс доменных границ и линий Блоха			2 часа. Работа с лекционным материалом и литературой Интергальная динамика магнитных неоднородностей	
--	--	--	--	--	--	--

## 9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина по выбору.
2. Вариативная часть, спецкурс кафедры. Блок профессиональной подготовки.
3. Данная дисциплина является продолжением общих курсов «Электричество и магнетизм», «Электродинамика», «Физика конденсированного состояния вещества». Для её освоения необходимо пользоваться компетенциями, приобретёнными при освоении этих курсов. А также общих курсов математики.
  - 3.1. «Электричество и магнетизм», «Электродинамика», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Теория функции комплексной переменной».
  - 3.2. Спецпрактикум кафедры, Научно-исследовательская практика, Научно-исследовательская работа..

## 10. Образовательные технологии

- дискуссии,
- применение компьютерных симуляторов,
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса,
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ,

## 11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Примеры тем для докладов, презентаций и рефератов:

1. Применение магнитных материалов в научных исследованиях.
2. Применение магнетиков в «нефизических областях»: биологии, медицине, энергетике и пр.
3. Магнитооптические методы исследования магнитной структуры.
4. Влияние магнитострикции на магнитные структуры.
5. Способы получения магнитных плёнок и магнитных наноструктур.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Микромагнетизм»

1. Ферромагнетики. Основные понятия: намагничённость, доменная структура (ДС), восприимчивость. Экспериментальные доказательства существования ДС. Причины формирования ДС. Процесс намагничивания ферромагнетика.
2. Технические свойства ферромагнетиков. Магнитомягкие и магнитожесткие ферромагнетики. Кривые намагничивания. Гистерезис. Магнитные фазовые переходы: типа порядок-порядок и спин-переориентационные переходы, спонтанные и индуцированные переходы.
3. Макроскопический магнитный момент. Вектор намагничённости. Точечный магнитный момент. Скалярный и векторный магнитный потенциал точечного магнитного момента.
4. Скалярный и векторный магнитный потенциал, индукция и напряжённость магнитного поля намагничённого магнетика. Физический смысл векторного магнитного потенциала.
5. Однородно намагничённый магнетик. Тензор размагничивающих коэффициентов. Предельные случаи. Баллистический и магнетометрический факторы формы.
6. Основные виды взаимодействий в ферромагнетике. Выражения для энергии обменного взаимодействия, энергии магнитной кристаллографической анизотропии, энергии Зеемана, магнитостатической энергии.
7. Микромагнитное уравнение. Граничные условия. Внутреннее эффективное поле.
8. Одномерное распределение намагничённости в магнитной плёнке. Домены и доменные стенки. Доменные стенки Блоха и Нееля. Параметры доменных стенок.

9. Двумерное распределение намагниченности в магнитной плёнке. Скрученная доменная стенка. Горизонтальные линии Блоха.
10. Численное решение микромагнитного уравнения. Метод динамического установления для двумерных распределений намагниченности.
11. Уравнение движения намагниченности и его микроскопическое обоснование. Диссипативный (релаксационный) член и его различные формы.
12. Динамическое уравнение в терминах магнитного поля, локальной плотности сил и вращающих моментов.
13. Прецессионный характер движения вектора намагниченности. Динамические граничные условия. Параметр закрепления спинов.
14. Линеаризованное уравнение движения. СВЧ восприимчивость.
15. Ферромагнитный резонанс (ФМР). ФМР в магнитных плёнках. Сравнение с экспериментом.
16. Спиновые волны. Дисперсионное соотношение для спиновых волн в магнитных плёнках.
17. Спинволновой резонанс (СВР).
18. Движение магнитных неоднородностей стационарного профиля. Модель Уокера для движения доменной стенки.
19. Движение магнитных неоднородностей стационарного профиля. Поле и скорость Уокера. Линейный предел.
20. Подвижность доменной границы. Колебательное движение доменной границы.
21. Эффективная масса, упругость, вязкое трение при колебательном движении доменной стенки. Резонанс доменных границ и линий Блоха.

## 12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. Браун У.Ф. «Микромагнетизм»
2. Хуберт А. «Теория доменных стенок в упорядоченных средах.», М.: Мир, 1977 г, 306 стр.
3. Антонов Л.И., Лукашёва Е.В, Миронова Г.А., Скачков Д.Г., «Магнетизм в курсе физики» . Физический ф-т МГУ, 2002г часть 3 «Макроскопические свойства магнетиков», 145 стр.
4. Боков В.А., Физика магнетиков, СПб.: Невский диалект, 2002 г., 272 стр.

### Дополнительная литература

1. Вонсовский С.В. «Магнетизм» М.:Наука, 1971 г.
2. Магнетизм и магнитные материалы, терминологический справочник под редакцией Лисовского Ф.В., Антонова Л.И., изд. Вагриус, 1997 г.

...

### Периодическая литература

1. Антонов Л.И., Лукашёва Е.В, Миронова Г.А., Скачков Д.Г., Динамическое установление равновесного периода в структуре намагниченности ферромагнитных плёнок, ФММ, 2000, т.90, №3.
2. Магнитное поле двумерного периодического распределения намагниченности. ФММ, 1994, т.78, вып. 4, с.5-12.
3. Структура и свойства доменных границ в кубических кристаллах с наведенной одноосной анизотропией, ФММ, т. 78, вып. 10, 1994, стр. 26-44.
4. Полиморфизм бипериодических полосовых доменных структур, Письма в ЖЭТФ, том 67, вып. 9, стр. 701-706, 1998
5. M. Redjal, A. Kakaу, M.F. Ruane, F.V. Humphrey. Journal of Applied Physics, **91**, 8278 (2002).
6. K. Kudo. Phys. Rev. E, **80**, 016209 (2009).

## 13. Материально-техническое обеспечение

Аудитория 4-30, в наличии имеется проекционное оборудование, ноутбук, интерактивная доска .