

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 31.08.2023 11:27:29

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физика магнетизма. Часть 2. Магнетизм материалов

Закреплена за подразделением

Кафедра физического материаловедения

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Физика и технологии функциональных материалов

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

21

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	Неделя			
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	21	21	21	21
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*кфмн, зав.каф., Савченко Александр Григорьевич; асс., Худина Елена Викторовна*

Рабочая программа

**Физика магнетизма. Часть 2. Магнетизм материалов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, 22.04.01-ММТМ-23-7.plx Физика и технологии функциональных материалов, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, Физика и технологии функциональных материалов, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра физического материаловедения**

Протокол от 11.04.2022 г., №8-04

Руководитель подразделения Савченко А.Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а так же уяснение студентами современных теоретических представлений о природе магнетизма магнитно-упорядоченных веществ, типах магнитного упорядочения веществ, о природе составляющих магнитной энергии и магнитных доменах, об основах процессов намагничивания и явления магнитного гистерезиса.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Материаловедение и технологии перспективных материалов	
2.1.2	Методология выбора и материалы наукоемких технологий	
2.1.3	Метрология и испытания функциональных материалов	
2.1.4	Структурные методы исследования наноматериалов	
2.1.5	Теория фаз и фазовых превращений	
2.1.6	Учебная практика	
2.1.7	Физика магнетизма. Часть 1. Магнетизм веществ	
2.1.8	Физические свойства наноматериалов	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Атомное строение неорганических материалов	
2.2.2	Спектроскопические и зондовые методы	
2.2.3	Физические методы исследования материалов	
2.2.4	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-5: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям в области материаловедения и технологии материалов</b>
<b>Знать:</b>
ПК-5-31 Правила оформления отчетов и других нормативных документов
ПК-5-32 Правила проведения экспериментов
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-1-33 Современные концепции, достижения и ограничения изучаемой дисциплины
ОПК-1-32 Современные методы исследования и их возможности
ОПК-1-31 Базовые понятия о предмете и объектах изучения
<b>ПК-5: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям в области материаловедения и технологии материалов</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-5-У1 Планировать и осуществлять экспериментальные исследования
ПК-5-У3 Составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям в области материаловедения и технологии материалов
ПК-5-У2 Анализировать и обрабатывать результаты исследований
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У2 Анализировать данные о возможных подходах к решению проблем в изучаемой области, а также междисциплинарных областях, и выбирать оптимальный

ОПК-1-У1 Применять полученные знания в учебной и профессиональной деятельности
<b>ПК-5: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям в области материаловедения и технологии материалов</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-5-В2 Навыком обработки результатов экспериментов
ПК-5-В1 Навыком проведения экспериментов
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 Способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания по физике магнетизма, в том числе знания о современных методах исследования

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Раздел 1. Упорядоченные магнетики</b>							
1.1	«Сильные» магнетики. Классический ферромагнетизм. Спонтанная намагниченность. Приближение среднего поля. Термодинамическая теория ферромагнитного фазового перехода. Основы квантовой механики. Волновые свойства частиц. Операторы. Средние значения величин. Уравнение Шрёдингера. Квантование момента импульса. Магнитное квантовое число. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р3
1.2	Молекула водорода и модель Гейзенберга. Эффективный (спиновый) гамильтониан. Обменное поле и молекулярное поле Вейсса. Критерий ферромагнетизма. Магнетизм металлов. Кривая Бете-Слэтера. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
1.3	Критерий ферромагнетизма Стонера. Восприимчивость в модели Стонера. Зонные ферромагнетики при конечной температуре. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4			Р4

1.4	Виды обменного взаимодействия. Обменное взаимодействие в 3d-металлах. Условие возникновения ферромагнетизма. Кривая Слэтера-Полинга. Обменное взаимодействие в 4f-металлах. Расчёт s-f-взаимодействия (по Зинеру). Косвенное обменное взаимодействие – РККИ-взаимодействие в металлах. Геликоидальные структуры РЗМ. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4			Р5
1.5	Косвенное обменное взаимодействие. Ферромагнитный суперобмен. Антиферромагнитный суперобмен. Правила Гуденафа-Канамори. Расщепление d-орбиталей в полях различной симметрии. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4			
1.6	Антиферромагнетизм. Феноменологическая теория антиферромагнетизма. Поперечная восприимчивость. Продольная восприимчивость. Антиферромагнетик во внешнем поле. Спин-флоп и спин-флип переходы. Термодинамическая теория антиферромагнетизма. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
1.7	Ферризмagnetизм. Теория ферризмagnetизма Нееля. Асимптотическая точка Кюри. Точка компенсации. Ферризмagnetики M-, P-, Q-, N- и V-типа. Ферриты. Ферриты шпинели. Ферриты гранаты. Гексагональные ферриты. Гексаферриты M-, W-, Y-, Z-, U- и X-типа. Феррооксиды. Ортоферриты. Перовскиты манганиты. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р6
1.8	Другие типы магнетизма веществ. Геликоидальный магнетизм. Сперо-, асперо- и сперизмagnetизм. Суперпарамагнетизм. Миктомагнетизм и спиновое стекло. Слабый (паразитный) ферризмagnetизм. Метамагнетизм. «Зародышевый» ферризмagnetизм. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р7

1.9	Практические занятия по тематике раздела «Упорядоченные магнетики» /Пр/	2	3	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1		КМ1	Р8
	<b>Раздел 2. Раздел 2. Энергия упорядоченных магнетиков</b>							
2.1	Виды взаимодействий и энергии магнетиков. Энергия взаимодействия с магнитным полем. Энергия магнитного поля. Энергия обменного взаимодействия. Обменный гамильтониан. Энергетическая константа обмена. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р9
2.2	Энергия магнитной анизотропии. Магнитная кристаллографическая анизотропия. Определение констант анизотропии K1 и K2. Механизмы магнитной анизотропии. Одноионная модель. /Лек/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
2.3	Наведённая (ориентационная) магнитная анизотропия. Анизотропия магнитного отжига. Анизотропия прокатки. Обменная магнитная анизотропия. Поверхностная магнитная анизотропия. Наведенная магнитная анизотропия, возникающая в процессе фазовых превращений. Другие виды наведенной магнитной анизотропии. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.4			Р10
2.4	Магнитоупругая энергия. Явление магнитострикции. Изотропная магнитострикция. Механизм возникновения магнитострикции. Закон анизотропии Акулова. Объемная магнитострикция и аномальное тепловое расширение. Вынужденная магнитострикция. Эффект формы. Магнитная анизотропия, вызванная магнитострикцией. Измерение магнитострикции. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4			Р1
2.5	Магнитостатическая энергия. Поле рассеяния и размагничивающее поле однородно намагниченных тел. Доменные структуры. Уравнение Лапласа для магнитостатического потенциала. Модели доменных структур Киттеля. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р11

2.6	Практические занятия по тематике раздела «Энергия упорядоченных магнетиков» /Пр/	2	4	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			Р12
	<b>Раздел 3. Раздел 3. Домены и доменная структура</b>							
3.1	Доменные границы. Физика микромагнетизма. Коэффициент обменной жесткости. Стенки Блоха и стенки Нееля. 180-градусные доменные границы. 90-градусные доменные границы. Замыкающие домены. Особые доменные границы. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3			
3.2	Доменная структура. Размеры доменов. Замыкающие домены в одноосных кристаллах. Виды доменов. Домены в микрочастицах. Однодоменные частицы. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			Р13
3.3	Цилиндрические магнитные домены. Методы наблюдения доменов и доменных границ. /Ср/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3			
3.4	Движение доменных границ. Уравнение Ландау и Лифшица. Учёт диссипации энергии. Движение одномерной стенки. Покоящаяся стенка в поле. Магнитное последствие. /Ср/	2	5	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
3.5	Спиновые волны. Продольное намагничивание. Поперечное намагничивание. Магнитостатические волны. Обменные спиновые волны. Стоячие спиновые волны. Магноны. Квантовомеханический подход. /Ср/	2	6	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
3.6	Практические занятия по тематике раздела «Домены и доменная структура» /Пр/	2	5	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1	Л1.1Л3.1			Р14
	<b>Раздел 4. Раздел 4. Теория технической кривой намагничивания</b>							

4.1	Кривая намагничивания и распределение спинов. Закон Кая. Смещение доменных границ. Теория напряжений Кондорского - Кёрстена. Эффект Гопкинсона. Необратимое смещение ДС. Вращение намагнитченности. Необратимое вращение. Магнитный гистерезис. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.4			
4.2	Рэлеевская петля. Закон асимптотического насыщения. Форма петли гистерезиса. /Ср/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
4.3	Коэрцитивная сила. Размагничивающее поле включений. Немагнитные включения. Критический размер. Коэрцитивная сила по теории напряжений. Коэрцитивная сила по теории включений. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			
4.4	Мало- и двухдоменные частицы. Критический радиус однодоменной частицы. Однодоменный эллипсоид. Цепочка сфер. Уравнение Эйлера-Брауна для однодоменных частиц. /Ср/	2	4	ОПК-1-31 ОПК-1-33	Л1.1Л2.1 Л2.2			P2
4.5	Практические занятия по тематике раздела «Теория технической кривой намагничивания» /Пр/	2	4	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-У3 ПК-5-В1 ПК-5-В2	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1			P15

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
--------	-------------------------	------------------------------------	------------------------



КМ1	Контрольная работа	ОПК-1-31;ОПК-1-33	По курсу предусмотрена одна контрольная работа по разделу 1. Упорядоченные магнетики. Вопросы к контрольной работе: 1. Ферромагнетики. Термодинамическая (формальная) теория ферромагнетизма: Свободная энергия в нулевом поле. Спонтанная намагниченность 2. Ферромагнетики. Теория молекулярного поля Вейсса: Намагниченность газа взаимодействующих магнитных стрелок. Закон Кюри-Вейсса 3. Теория молекулярного поля Вейсса: Квантовомеханическое представление. Случай высоких температур и малых полей. Случай низких температур 4. Ферромагнитное упорядочение как фазовый переход 5. Антиферромагнетики. Феноменологическая (в приближении молекулярного поля) теория антиферромагнетизма Нееля. Температура Нееля и асимптотическая точка Кюри 6. Антиферромагнетики. Намагничивание антиферромагнетиков: Поперечная и продольная восприимчивость – объяснение различий 7. Ферримагнетики. Феноменологическая теория (в приближении молекулярного поля) коллинеарных ферримагнетиков Нееля. Восприимчивость и асимптотическая точка Кюри 8. Ферримагнетики. Диаграмма магнитных состояний. Точка компенсации
КМ2	Экзамен	ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену. Примеры: 1. Наведённая магнитная анизотропия, возникающая в процессе отжига в магнитном поле. 2. Обменная (однонаправленная) магнитная анизотропия. 3. Магнитострикция – определение. Явление магнитострикции: Спонтанное растяжение. Изотропная магнитострикция. 4. Доменные границы. Стенки Блоха 5. Доменные границы. Стенки Нееля 6. Необратимое смещение доменных границ. 7. Вращение намагниченности. Необратимое вращение. 8. Коэрцитивная сила по теории напряжений. 9. Коэрцитивная сила по теории включений.

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Реферат по разделам 1 и 2	ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1	Темы рефератов по разделам «Упорядоченные магнетики», «Энергия упорядоченных магнетиков» 1. Магнитная анизотропия. Механизмы магнитной анизотропии. Энергия магнитной анизотропии. Наведенная анизотропия. 2. Магнитострикция: изотропная и анизотропная. Материалы с гигантской анизотропной магнитострикцией. 3. Магнетизм веществ, не обладающих атомным магнитным порядком. Диамагнетики и парамагнетики. 4. Типы магнетизма. Микромагнетизм и спиновые стекла. Свойства спиновых стекол. 5. Типы магнетизма. Метамагнетизм и зародышевый ферромагнетизм.
P2	Реферат по разделам 3 и 4	ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У2;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Темы рефератов по разделам: «Домены и доменная структура»; «Теория технической кривой намагничивания» 1. Методы наблюдения доменов и доменных границ. 2. Процессы перемагничивания. Критерии лимитирующего звена процесса перемагничивания. 3. Типы доменных границ в ферромагнетиках. Особые доменные границы. 4. Процесс намагничивания. Движение доменных границ во внешнем поле. Магнитный гистерезис. 5. Магнитные фазовые переходы.

P3	Практическая работа "«Сильные» магнетики. Классический ферромагнетизм. Спонтанная намагниченность. Приближение среднего поля. Термодинамическая теория ферромагнитного фазового перехода. Основы квантовой механики. Волновые свойства частиц. Операторы. Средние значения величин. Уравнение Шрёдингера. Квантование момента импульса. Магнитное квантовое число"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы
P4	Практическая работа "Критерий ферромагнетизма Стонера. Восприимчивость в модели Стонера. Зонные ферромагнетики при конечной температуре"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы
P5	Практическая работа "Виды обменного взаимодействия. Обменное взаимодействие в 3d-металлах. Условие возникновения ферромагнетизма. Кривая Слэтера-Полинга. Обменное взаимодействие в 4f-металлах. Расчёт s-f-взаимодействия (по Зинеру). Косвенное обменное взаимодействие – РККИ-взаимодействие в металлах. Геликоидальные структуры РЗМ"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы

Р6	<p>Практическая работа "Ферримагнетизм. Теория ферримагнетизма Нееля. Асимптотическая точка Кюри. Точка компенсации. Ферримагнетики М-, Р-, Q-, N- и V- типа. Ферриты. Ферриты шпинели. Ферриты гранаты. Гексагональные ферриты. Гексаферриты М-, W-, Y-, Z-, U- и X- типа. Феррооксиды. Ортоферриты. Перовскиты манганиты"</p>	ОПК-1-31;ОПК-1-33;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-5-У2	Решение задач по теме работы
Р7	<p>Практическая работа "Другие типы магнетизма веществ. Геликоидальный магнетизм. Сперо-, асперо- и сперимагнетизм. Суперпарамагнетизм. Микромагнетизм и спиновое стекло. Слабый (паразитный) ферромагнетизм. Метамагнетизм. «Зародышевый» ферромагнетизм"</p>	ОПК-1-31;ОПК-1-33;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-5-У2	Решение задач по теме работы
Р8	<p>Практические занятия по тематике раздела «Упорядоченные магнетики»</p>	ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1	Решение задач по теме "Упорядоченные магнетики"
Р9	<p>Практическая работа "Виды взаимодействий и энергии магнетиков. Энергия взаимодействия с магнитным полем. Энергия магнитного поля. Энергия обменного взаимодействия. Обменный гамильтониан. Энергетическая константа обмена"</p>	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы

P10	Практическая работа "Наведённая (ориентационная) магнитная анизотропия. Анизотропия магнитного отжига. Анизотропия прокатки. Обменная магнитная анизотропия. Поверхностная магнитная анизотропия. Наведенная магнитная анизотропия, возникающая в процессе фазовых превращений. Другие виды наведенной магнитной анизотропии"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы
P11	Практическая работа "Магнитостатическая энергия. Поле рассеяния и размагничивающее поле однородно намагниченных тел. Доменные структуры. Уравнение Лапласа для магнитостатического потенциала. Модели доменных структур Киттеля"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы
P12	Практическая работа "Практические занятия по тематике раздела «Энергия упорядоченных магнетиков»"	ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1	Решение задач по теме «Энергия упорядоченных магнетиков»
P13	Практическая работа "Доменная структура. Размеры доменов. Замыкающие домены в одноосных кристаллах. Виды доменов. Домены в микрочастицах. Однодоменные частицы"	ОПК-1-31;ОПК-1-33	Решение задач по теме работы

P14	Практическая работа "Практические занятия по тематике раздела «Домены и доменная структура»"	ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1	Решение задач по теме «Домены и доменная структура»
P15	Практическая работа "Практические занятия по тематике раздела «Теория технической кривой намагничивания» "	ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Решение задач по теме "Теория технической кривой намагничивания"

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_01\_

1. Ферромагнетики. Термодинамическая (формальная) теория ферромагнетизма: Свободная энергия в нулевом поле. Спонтанная намагниченность
2. Энергия магнитоэластической деформации – магнитоупругая энергия
3. Мало- и двухдоменные частицы

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_02\_

- 1 Теория молекулярного поля Вейсса: Квантовомеханическое представление. Случай высоких температур и малых полей. Случай низких температур
- 2 Обменная (однонаправленная) магнитная анизотропия
- 3 Критический радиус однодоменной частицы

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_03\_

- 1 Ферромагнитное упорядочение как фазовый переход
- 2 Наведённая магнитная анизотропия, возникающая в процессе отжига в магнитном поле
- 3 Цепочка сфер. Когерентное вращение

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_04\_

- 1 Ферромагнетики. Диаграмма магнитных состояний. Точка компенсации
- 2 Косвенное обменное взаимодействие. Теория Крамерса-Андерсона. Ферро- и антиферромагнитный суперобмен. Правила Гуденафа-Канамори
- 3 Доменные границы. Стенки Блоха

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По курсу предусмотрен экзамен.

Оценка «отлично»

– обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо»

– обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно»

– обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.

Оценка «неудовлетворительно»

– обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные или некорректные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка»

– обучающийся на экзамен не явился.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

<b>6.1.1. Основная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Боровик Е. С., Мильнер А. С.	Лекции по магнетизму: учеб. пособие для физ. спец. ун-тов	Библиотека МИСиС	Харьков: Гос. ун-т им. А. М. Горького, 1966
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Кринчик Г. С.	Физика магнитных явлений	Электронная библиотека	Москва: Московский университет, 1976
Л2.2	Вонсовский С. В.	Магнетизм: магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферромагнетиков: монография	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1971
Л2.3	Киттель Ч., Гусев А. А.	Введение в физику твердого тела: учеб. руководство	Библиотека МИСиС	М.: МедиаСтар, 2006
Л2.4	Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л., Лившиц Б. Г.	Физические свойства металлов и сплавов: Учебник для металлург. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1980
<b>6.1.3. Методические разработки</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Летюк Л. М., Ануфриев А. Н., Морченко А. Т.	Физика магнитных материалов: Лаб. практикум для студ. спец. 0648	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
<b>6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»</b>				
Э1	Московский физико-технический институт / Кафедра общей физики В.Н. Глазков Лекция 13: МАГНЕТИЗМ 1. СТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНЕТИКОВ Заметки к лекции по общей физике		<a href="https://mipt.ru/upload/medialibrary/48f/13_magnets_2018_may06.pdf">https://mipt.ru/upload/medialibrary/48f/13_magnets_2018_may06.pdf</a>	
Э2	ETH Zurich group about EPR		<a href="http://www.epr.ethz.ch">http://www.epr.ethz.ch</a>	
Э3	European community of Magnetism		<a href="http://magnetism.eu">http://magnetism.eu</a>	
Э4	International Society of Magnetic Resonance		<a href="https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education">https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education</a>	
Э5	Magnetic Resonance Imaging		<a href="http://www.magnetic-resonance.org">http://www.magnetic-resonance.org</a>	
Э6	Molecular magnetism		<a href="http://www.molmag.de">http://www.molmag.de</a>	
Э7	Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»		<a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>	
<b>6.3 Перечень программного обеспечения</b>				
П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr			
П.2	ESET NOD32 Antivirus			
П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit			
П.4	Microsoft Office			
П.5	MS Teams			
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>				
И.1	И1 Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:			
И.2	И1.1	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>		
И.3	И1.2	— Полнотекстовые деловые публикации информагентств и прессы по 53 отраслям <a href="https://polpred.com/news">https://polpred.com/news</a>		
И.4	И2 Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):			
И.5	И2.1	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>		
И.6	И2.2	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>		
И.7	И2.3	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>		

И.8	И2.4 — научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>
-----	--

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-416	Учебная аудитория	проектор; экран; маркерная доска; компьютер преподавателя; микроскоп Carl Zeiss Axio Scope A1, компьютерный класс на 12 компьютеров, комплект учебной мебели
Б-429	Учебная аудитория	проектор; мультимедийная доска; маркерная доска, документ-камера; компьютерный класс на 6 студентов и преподавателя (7 компьютеров); установка для измерения магнитных характеристик; установка для определения потерь на перемагничивание МК-4Э; магнитноизмерительная установка МК-3Э; стенд для измерения удельного электросопротивления; дилатометр; твердометр по Роквеллу; комплект учебной мебели
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Лекционные занятия нацелены на углублённое изучение студентами, базовых, фундаментальных вопросов «Физики магнетизма. Часть 2. Магнетизм материалов».

При проведении обучения предусматриваются домашние задания по различным разделам курса, в том числе в форме самостоятельного решения задач по различным разделам курса.

Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:

- проведение лекций с использованием интерактивных и мультимедийных технологий (презентация в формате MS PowerPoint);

- использование при проведении занятий специализированной аудитории - физической лаборатории, с возможностью проведения занятий в интерактивной форме;

- использование при проведении занятий активных форм обучения – учебных видеоматериалов и компьютерных тренажеров.

Дисциплина относится к основополагающим и требует значительного объема самостоятельной работы.

Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

В связи с использованием во время занятий мультимедийных технологий для проведения лекционных занятий требуется специализированная мультимедийная аудитория с возможностью показа видеоматериалов с аудио сопровождением и доступом к сети Интернет. Аудитория выбирается в зависимости от количества студентов, изучающих в текущем семестре данную дисциплину, при численности студентов от 15 до 30 человек рекомендуется аудитория Б-416, при численности менее 14 человек – аудитория Б-429.