

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 31.08.2023 11:52:07

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)

# Магнитные свойства функциональных материалов

Закреплена за подразделением Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов

Направление подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль Физико-химия процессов и материалов

Квалификация **Магистр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 34

самостоятельная работа 65

часов на контроль 45

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 3

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	65	65	65	65
Часы на контроль	45	45	45	45
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*к.ф.-.м.н., доц., Карпенков Дмитрий Юрьевич*

Рабочая программа

**Магнитные свойства функциональных 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-23-6.plx Физико-химия процессов и 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, Физико-химия процессов и материалов, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов**

Протокол от 16.06.2021 г., №20

Руководитель подразделения Кузнецов Д.В.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	детальное и углубленное изучение основных понятий и принципов физики магнитных явлений; составление представления об областях применения и принципах функционирования магнитных материалов, освещение актуальных вопросов в области исследования магнитных свойств низкоразмерных и наноструктурных материалов, ознакомление с перспективными направлениями исследований магнитных функциональных материалов.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.03
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.1.2	Методология и практика определения размерных характеристик материалов	
2.1.3	Методы защиты металлов и металлопродукции	
2.1.4	Практика перевода и редактирования	
2.1.5	Производственная практика	
2.1.6	Технологии получения материалов	
2.1.7	Фазовые превращения при получении металлов и соединений	
2.1.8	Физико-химия эволюции твердого вещества	
2.1.9	Энерго- и ресурсосберегающие технологии в производстве и использовании материалов	
2.1.10	Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве	
2.1.11	Методы исследования характеристик и свойств материалов	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика	

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

<b>ПК-5: Способен формировать совместно с технологом и конструктором предложения по изменению технологического регламента получения нанометаллов, сплавов и композитов на их основе с улучшенными свойствами в соответствии с требованиями потребителя, а также реализовывать получение и исследование свойств пробных партий образцов</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-5-32 Модели, описывающие взаимосвязь физических, химических и механических свойств материалов (например, модели кристаллофизики: модели пьезоэлектрического эффекта, эффекта Пельтье, электрооптического эффекта, магнитотермического эффекта, магнитомеханического эффекта)	
<b>ПК-3: Способен самостоятельно использовать современные представления наук о материалах при анализе влияния микро- и нано- масштаба на физико-химические, механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов, а также взаимодействия материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-3-31 Существующие и перспективные методы прогнозирования технологических свойства материалов и веществ; современные представления о взаимодействии материалов с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением	
<b>ПК-5: Способен формировать совместно с технологом и конструктором предложения по изменению технологического регламента получения нанометаллов, сплавов и композитов на их основе с улучшенными свойствами в соответствии с требованиями потребителя, а также реализовывать получение и исследование свойств пробных партий образцов</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-5-31 Модели, характеризующие связь между эксплуатационными, технологическими и инженерными свойствами и параметрами состава и структуры материала	
<b>ОПК-4: Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-4-31 Знать основные правила поиска и отбора информации, методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности	

<b>ОПК-2: Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие направлению подготовки</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-2-31 Знать основы технического проектирования для решения задач, относящихся к профессиональной деятельности, требования стандартов на составление оформление науднотехнических отчетов, обзоров, публикаций, рецензий
<b>ПК-6: Углубленно знает основные типы неорганических и органических материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, владеет навыками самостоятельного выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований надежности и долговечности, экономичности и экологических последствий их применения</b>
<b>Знать:</b>
ПК-6-31 Основные типы неорганических и органических материалов различного назначения, в том числе наноматериалов
<b>ПК-5: Способен формировать совместно с технологом и конструктором предложения по изменению технологического регламента получения нанометаллов, сплавов и композитов на их основе с улучшенными свойствами в соответствии с требованиями потребителя, а также реализовывать получение и исследование свойств пробных партий образцов</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-5-У1 Анализировать результаты исследований: устанавливать закономерности связей параметров структуры материалов и параметров внешних условий, моделирующих условия эксплуатации, и оценивать возможность переноса модельных результатов на поведение материала в реальных условиях эксплуатации
<b>ПК-6: Углубленно знает основные типы неорганических и органических материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, владеет навыками самостоятельного выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований надежности и долговечности, экономичности и экологических последствий их применения</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-6-У1 Самостоятельно выбирать материалы для заданных условий эксплуатации с учетом требований надежности и долговечности, экономичности и экологических последствий их применения
<b>ОПК-2: Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие направлению подготовки</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 Уметь разрабатывать и оформлять научно-техническую и проектную документацию, составлять служебную документацию, обзоры, публикации, рецензии, выполнять требования нормоконтроля при оформлении научно-технических отчетов
<b>ПК-3: Способен самостоятельно использовать современные представления наук о материалах при анализе влияния микро- и нано- масштаба на физико-химические, механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов, а также взаимодействия материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-3-У1 Оценивать и прогнозировать технологические и эксплуатационные свойства материалов и веществ в зависимости от их микро- и наноструктуры; использовать на практике современные представления о взаимодействии материалов с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением
<b>ОПК-4: Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-4-У1 Уметь применять правила преобразования информации необходимые для её хранения
<b>ОПК-2: Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие направлению подготовки</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 Владеть приведением в соответствие требованиям и нормам стандартов разработанную документацию, формированием и оформлением отчётов, с соблюдением требований ГОСТ
<b>ПК-6: Углубленно знает основные типы неорганических и органических материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, владеет навыками самостоятельного выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований надежности и долговечности, экономичности и экологических последствий их применения</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-6-В1 Анализом влияния выбора материала на технологию производственного процесса и качество продукции

**ОПК-4: Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области**

**Владеть:**

ОПК-4-В1 Владеть приемами умственной деятельности, связанными с анализом, синтезом, сравнением, классификацией, структурированием и систематизацией информации

**ПК-3: Способен самостоятельно использовать современные представления наук о материалах при анализе влияния микро- и нано- масштаба на физико-химические, механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов, а также взаимодействия материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками**

**Владеть:**

ПК-3-В1 Основами моделирования свойств материалов в зависимости от их микро- и наноструктуры; навыками разработки новых материалов с заданными технологическими и функциональными свойствами

**ПК-5: Способен формировать совместно с технологом и конструктором предложения по изменению технологического регламента получения нанометаллов, сплавов и композитов на их основе с улучшенными свойствами в соответствии с требованиями потребителя, а также реализовывать получение и исследование свойств пробных партий образцов**

**Владеть:**

ПК-5-В1 Анализом влияния качества сырья и работоспособности оборудования на технологию производственного процесса и качество продукции

#### 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. Основные понятия физики магнитных явлений</b>							
1.1	Магнетизм. Магнитное поле. Магнитный момент. Векторы магнитной индукции, намагниченности, напряженности магнитного поля. Магнитный поток. Магнитный заряд. Магнитные свойства электронной оболочки атома. Электрон в магнитном поле. Спин-орбитальное взаимодействие. /Лек/	3	3	ПК-3-31	Л1.1 Л1.8 Л1.15Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Э1			
1.2	Вычисление эффективного магнитного момента атома железа. /Ср/	3	5	ОПК-4-В1	Л1.8 Л1.12			Р1
1.3	Диамагнетизм. Диамагнетизм атомов. Диамагнетизм соединений. Диамагнетизм металлов. Диамагнетизм Ландау. Диамагнетизм сверхпроводников. Диамагнетизм плазмы. /Лек/	3	2	ПК-3-31	Л1.11 Л1.15 Э1			
1.4	Вычисление молярной диамагнитной восприимчивости атомарного водорода. /Ср/	3	5	ОПК-4-У1	Л1.8 Л1.12			Р2
1.5	Оценка радиуса наружной электронной оболочки атома хлора по значениям диамагнитной восприимчивости. /Ср/	3	5	ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.8 Л1.12			Р3

1.6	Парамагнетизм. Парамагнетизм Ланжевена. Парамагнетизм Бриллюэна. Парамагнетизм Паули. Парамагнетизм Ван Флека. Ядерный парамагнетизм. /Лек/	3	2	ПК-3-31	Л1.11 Л1.15 Э1			
1.7	Расчет значения намагниченности насыщения идеального парамагнитного газа. /Ср/	3	5	ОПК-2-У1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1	Л1.8 Л1.12			Р4
	<b>Раздел 2. Основные виды магнитного упорядочения. Магнитные функциональные материалы.</b>							
2.1	Ферромагнетизм. Доменная структура фер- ромагнетиков. Теория внутримолекулярного поля Вейсса. Обменная энергия. Магнитные свойства ферромагнетиков. /Лек/	3	3	ПК-3-31	Л1.3			
2.2	Определение объемной и поверхностной плотности "магнитных зарядов" для ферромагнитной сферы. /Ср/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ОПК-4-31	Л1.8			Р7
2.3	Анферромагнетизм. Спинпереориентацион-ные переходы. /Пр/	3	2	ПК-3-31	Л1.11			
2.4	Ферримагнетизм. /Пр/	3	2	ПК-3-31	Л1.11 Л1.12Л3.1			
2.5	Расчет числа магнетонов Бора на одну молекулу магнетита и сравнение со значением, полученным по теории Нееля. /Ср/	3	5	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.15			Р5
2.6	Определение отношения ферримагнитной точки Кюри к асимптотической точке Кюри в ферримагнетике. /Ср/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.8 Л1.12			Р6
2.7	Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Спиновые стекла. /Пр/	3	2	ПК-3-31 ПК-5- 31 ПК-5-32 ПК-6-31	Л1.14 Л1.16 Л1.18 Л1.19			
2.8	Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристаллической анизотропии. Константы анизотропии. /Лек/	3	2	ПК-3-31 ПК-5- 31 ПК-6-31	Л1.8 Л1.11 Л1.15			
2.9	Определение внешнего магнитного поля требуемого для насыщения изотропной железной сферы. /Ср/	3	5	ПК-3-У1 ПК-3- -В1 ПК-5-В1	Л1.12			Р8

2.10	Определение намагниченности насыщения и первой константы анизотропии материала по экспериментальным данным. /Ср/	3	4	ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-6-У1 ПК-6-В1	Л1.8			
2.11	Основные виды энергии магнетиков. Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков. Размагничивающий фактор. Энергия взаимодействия ферромагнетика с внешним полем /Лек/	3	3	ПК-3-31 ПК-5-32	Л1.8 Л1.12 Л1.15			
2.12	Расчет термодинамических параметров парамагнитного вещества. /Ср/	3	7	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-32	Л1.8			Р9
2.13	Процессы перемагничивания: смещения доменных границ, вращения результирующей намагниченности и парапроцесс. Магнитомягкие материалы. /Лек/	3	2	ПК-3-31	Л1.8 Л1.15			
2.14	Определение поверхностной плотности энергии 180 градусной доменной границы. /Ср/	3	5	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-4-В1 ПК-3-В1	Л1.15			Р10
2.15	Магнитожесткие материалы. Ферриты. Сплавы для постоянных магнитов. Влияние технологических воздействий на микроструктуру сплавов. /Пр/	3	3	ПК-3-31 ПК-5-32 ПК-5-В1 ПК-6-31	Л1.2 Л1.4 Л1.9 Л1.16 Л1.17			Р11
2.16	Определение коэрцитивной силы и остаточной намагниченности тонкой пленки. /Ср/	3	5	ПК-3-У1	Л1.12			Р12
	<b>Раздел 3. Магнитные свойства низкоразмерных и наноструктурных материалов. Спинтроника. Магнитные резонансы.</b>							
3.1	Магнитные свойства наночастиц. Методы исследования магнитных свойств наночастиц. Температура блокировки. Предел однодоменности. Влияние размера наночастиц на их магнитные свойства. /Пр/	3	3	ПК-3-31 ПК-6-31	Л1.11 Л1.13 Л1.15 Л2.4 Л2.5 Э1			

3.2	Основы спинтроники. Спиновая инжекция. Спинток. Гигантский магнитный импеданс. Туннельное магнитосопротивление. Эффект гигантского магнетосопротивления. /Пр/	3	3	ОПК-2-31 ОПК-4-31 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.7 Л1.10 Э1			
3.3	Ферромагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Эффект Мёссбауэра. /Пр/	3	2	ПК-3-31	Л1.7 Э1			
3.4	Расчет значения времени жизни первого возбужденного состояния ядра $^{57}\text{Fe}$ . /Ср/	3	5	ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-5-32 ПК-5-У1 ПК-6-31 ПК-6-У1	Л1.12			Р14
3.5	Определение ширины линии резонансного поглощения. /Ср/	3	7	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ПК-5-У1	Л1.5 Л1.6			Р13

### 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
--------	-------------------------	------------------------------------	------------------------

KM1	Экзамен	ПК-5-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-6-31;ПК-6-У1;ОПК-4-В1;ОПК-4-У1;ОПК-2-У1;ОПК-4-31;ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-В1;ПК-6-В1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные характеристики магнетиков. Петля гистерезиса.</li> <li>2. Спиновый и орбитальный магнитные и механические моменты электронов в атоме. Спиновый и орбитальный g-факторы, гиромагнитная аномалия спина. Магнетон Бора.</li> <li>3. Полный магнитный момент электронной оболочки. Принцип Паули. Правила Хун-да. Фактор Ланде.</li> <li>4. Магнитные моменты протона и нейтрона. Аномалии ядерного магнетизма и их качественное объяснение. Магнитный момент атомного ядра. Гиромагнитное отношение для ядра. Ядерный магнетон.</li> <li>5. Диамагнетизм атома. Диамагнитная восприимчивость.</li> <li>6. Парамагнетизм атома. Парамагнитная восприимчивость. Закон Кюри.</li> <li>7. Теория молекулярного поля Вейсса.</li> <li>8. Зонная теория магнетизма. Критерий ферромагнетизма.</li> <li>9. Ферромагнетики. Прямой обмен.</li> <li>10. Механизмы косвенного обменного взаимодействия.</li> <li>11. Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристаллической анизотропии. Константы анизотропии.</li> <li>12. Основные типы магнитной анизотропии. Физические причины, обуславливающие их существование.</li> <li>13. Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков. Размагничивающий фактор.</li> <li>14. Энергия взаимодействия ферромагнетика с внешним полем.</li> <li>15. Теория ферримагнетизма Нееля. Магнитные подрешетки. Основные типы температурных зависимостей намагниченности ферримагнетиков. Точка компенсации.</li> <li>16. Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Понятие асимптотической точки Кюри. Закон Кюри- Вейсса для антиферромагнетиков.</li> <li>17. Процессы перемагничивания магнетиков: смещения доменных границ, вращения результирующей намагниченности и парапроцесс.</li> <li>18. Механизмы формирования высокоэргитивного состояния.</li> <li>19. Магнитно-твердые материалы их свойства и области применения.</li> <li>20. Магнитно-мягкие материалы их свойства и области применения.</li> <li>21. Аморфные магнетики. Спиновые стекла.</li> <li>22. Наноразмерные магнетики. Магнитные свойства наноматериалов.</li> <li>23. Основы спинтроники. Спиновая инжекция. Спин-ток.</li> <li>24. Эффект гигантского магнетосопротивления.</li> <li>25. Ферромагнитный резонанс.</li> <li>26. Ядерный магнитный резонанс.</li> <li>27. Эффект Мёссбауэра.</li> </ol>
-----	---------	---	---

**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	Практическая работа	ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-6-31;ПК-6-У1	Вычислить эффективный магнитный момент атома железа.
P2	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-32;ПК-5-31	Вычислить молярную диамагнитную восприимчивость атомарного водорода.
P3	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-32;ПК-5-31	Основной вклад в диамагнетизм вносят внешние электроны атомов. У атома хлора 8 внешних электронов, а его диамагнитная восприимчивость равна $-24,2 \cdot 10^{-9}$ мЗ/кмоль. Оценить Радиус наружной электронной оболочки атома хлора.

P4	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-32;ПК-5-31	Гипотетический идеальный газ при нормальных условиях состоит из атомов, нормальное состояние которых в спектроскопических обозначениях $2D_{3/2}$ . Рассчитать значение намагниченности насыщения газа $M_s$ и определить величину напряженности магнитного поля, необходимого для достижения намагниченности $M=M_s/2$ .
P5	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Намагниченность насыщения магнетита при $T=0K$ равна 485 Гс. Рассчитать число магнетонов Бора на одну молекулу магнетита и сравнить со значением, полученным по теории Нееля. Предположить, что $g=2$ .
P6	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Рассмотреть ферромагнитный материал, в котором отношение числа магнитных ионов А-позициях к числу магнитных ионов в В-позициях равно $\lambda/\nu=3/2$ . Предполагая, что обменное взаимодействие внутри А- и В-подрешеток пренебрежимо мало по сравнению с обменным взаимодействием между подрешетками, определить отношение ферромагнитной точки Кюри к асимптотической точке Кюри. Возможно ли в таком материале существование точки компенсации?
P7	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Для ферромагнитной сферы, намагниченной до насыщения $M_s$ в радиальном направлении, определить объемную и поверхностную плотности "магнитных зарядов".
P8	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Какая величина внешнего магнитного поля требуется для насыщения изотропной железной сферы?
P9	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Рассмотреть парамагнитное вещество, содержащее $N=10^{22}$ атомов/см <sup>3</sup> с $L=0$ $S=1/2$ , в состоянии теплового равновесия при температуре $T$ в магнитном поле $H$ . Для вещества при $H=10^4$ Э и $T=300$ и $4K$ определить значения намагниченности $M$ , внутренней энергии $U$ , свободной энергии $F$ и энтропии $S$ .
P10	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Определить поверхностную плотность энергии 180 градусной доменной границы никеля (ГЦК), находящегося под действие однородного напряжения $\sigma=100$ кг/мм <sup>2</sup> . Предположить, что $S=1/2$ , $a=2.86$ А, $T_c=638K$ , $\lambda=3 \cdot 10^{-5}$ изотропно.
P11	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-32;ПК-5-31	Экспериментальная кривая намагничивания монокристаллического образца кремнистого железа, снятая в направлении $[110]$ , в единицах СИ представлена уравнением $H=(M^3-2M) \cdot 10^4$ . Определить намагниченность насыщения и первую константу анизотропии материала.
P12	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Рассмотрим тонкую пермалоевую пленку ( $M_s=830$ Гс) с одноосной анизотропией $K_u=2.5 \cdot 10^3$ эрг/см <sup>3</sup> , к которой приложены продольное и поперечное (перпендикулярно ОЛН) магнитные поля $H_x$ и $H_y$ . Определить коэрцитивную силу и остаточную намагниченность этой пленки, если постоянное поперечное поле $H_y=0.5$ Нс и петля гистерезиса снимается в продольном переменном поле.
P13	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Определить ширину линии резонансного поглощения, наблюдаемой при длине волны СВЧ-поля 3 см, для сферического ферромагнетика с релаксационной частотой $\lambda=4\pi \cdot 10^8$ см <sup>-1</sup> и намагниченностью насыщения $M_s=10^4$ Гс. Предположить, что $g=2$ .
P14	Практическая работа	ОПК-4-В1;ПК-5-31;ПК-5-32	Определить наименьшее значение времени жизни первого возбужденного состояния ядра $^{57}Fe$ .

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

Экзаменационный билет состоит из пяти заданий: двух теоретических вопросов, одной задачи и двух тестовых задач. Примеры билетов находятся в приложениях к рабочей программе дисциплины.

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

Основная образовательная программа подготовки магистров предусматривает ФОС как комплекс педагогических измерительных материалов и оценочных средств для определения качества результатов обучения и уровня сформированности компетенций обучающихся в ходе освоения, в частности, дисциплины (модуля). ФОС является составной частью учебно-методического обеспечения учебных дисциплин, служит для оценки успешности освоения обучаемыми дисциплины (модуля) и способствует повышению качества образовательного процесса.

Вид промежуточной аттестации по дисциплине, установленный учебным планом, определяет состав ФОС.

Общая процедура и сроки проведения оценочных мероприятий соответствуют регламентам текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Итоговая аттестация по дисциплине предусмотрена в виде экзамена. Экзамен является заключительным этапом процесса формирования компетенций студента при изучении дисциплины или её части и имеет целью проверку и оценку знаний студентов по теории и применению полученных знаний, умений и навыков.

Экзамен проводится по расписанию, сформированному учебным отделом, в сроки, предусмотренные календарным графиком учебного процесса. Расписание экзаменов доводится до сведения студентов не менее чем за две недели до начала экзаменационной сессии. По данной дисциплине экзамен проводится в устной форме и студентам на экзамене предоставляется право выбрать один из билетов. Время подготовки к ответу составляет 60 минут. По истечении установленного времени студент должен ответить на вопросы экзаменационного билета.

Экзамен принимается преподавателем - ведущим лектором. Экзамен проводится только при предъявлении студентом зачетной книжки и при условии выполнения всех контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой по изучаемой дисциплине (сведения фиксируются допуском в ведомости).

ФОС промежуточной аттестации по дисциплине состоит из экзаменационных вопросов, составленных с учетом показателей оценивания компетенций, формируемых в результате освоения дисциплины. Оценка выставляется обучающимся, допущенным к экзамену, на основе критериев уровней освоения компетенций (соотносится с уровнями: «пороговый» – оценка «3», «продвинутый» – оценка «4» и «высокий» – оценка «5»).

Оценка «отлично» или «хорошо» ставится, если студент полно излагает изученный материал, обнаруживает понимание специфики вопроса, дает правильное определение основных понятий речевой коммуникации; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка; владеет навыками языкового анализа. Ответ не содержит фактические ошибки.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, т.е. обнаруживает понимание специфики вопроса, но при ответе не демонстрирует достаточной обоснованности суждений, и/или отчасти подменяет рассуждения пересказом текста, и/или допускает одну фактическую ошибку.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент обнаруживает незнание большей части материала, неверно отвечает на вопрос, даёт ответ, который содержательно не соотносится с поставленной задачей, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно излагает материал.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Розе Н. В., Трубятчинский Н. Н., Яновский Б. Н.	Земной магнетизм и магнитная разведка	Электронная библиотека	Вышний Волочек: ОНТИ НКТП СССР, 1934
Л1.2	Охотников В. Д.	Магниты: научно-популярное издание	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949
Л1.3	Акулов Н. С.	Ферромагнетизм: монография	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1939
Л1.4	Преображенский А. А.	Магнитные материалы	Электронная библиотека	Москва: Высш. школа, 1955
Л1.5	Сергеев Н. А., Рябушкин Д. С.	Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса: монография	Электронная библиотека	Москва: Логос, 2013
Л1.6	Бельская Н. П., Ельцов О. С.	Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика: учебное пособие	Электронная библиотека	Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.7	Ахизер А. И., Барьяхтар В. Г., Пелетминский С. В.	Спиновые волны	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1967
Л1.8	Кринчик Г. С.	Физика магнитных явлений	Электронная библиотека	Москва: Московский университет, 1976
Л1.9	Крупичка С.	Физика ферритов и родственных им магнитных окислов	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1976
Л1.10	Туров Е. А.	Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов: феноменологическая теория спиновых волн в ферромагнетиках, антиферромагнетиках и слабых ферромагнетиках	Электронная библиотека	Москва: Академия наук СССР, 1963
Л1.11	Вонсовский С. В.	Магнетизм: магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков: монография	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1971
Л1.12	Яковлев И. А.	Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1977
Л1.13	Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л.	Наноматериалы: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Лаборатория знаний, 2017
Л1.14	Кекало И. Б., Шуваева Е. А.	Аморфные нано- и микрокристаллические магнитные материалы: лаб. практикум: учеб. пособие для студ. вузов напр. Физ. материаловедение и спец. Наноматериалы	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2008
Л1.15	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
Л1.16	Кекало И. Б., Менушенков В. П.	Быстрозакаленные магнитно-твердые материалы системы Nd-Fe-B: Курс лекций для студ. физ.-хим. фак-та	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2000
Л1.17	Летюк Л. М., Ануфриев А. Н., Морченко А. Т.	Физика магнитных материалов: Лаб. практикум для студ. спец. 0648	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
Л1.18	Кекало И. Б.	Аморфные магнитные материалы: Разд.: Получение, процессы аморфизации, атомное строение, свойства: Курс лекций для студ. направл. 651800 и 654100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
Л1.19	Кекало И. Б.	Аморфные магнитные материалы: Модели структуры, дефекты, релаксационные процессы: Курс лекций для студ. направл. 651800, 654100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2002
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Белов К. П.	Что такое магнетизм: научно-популярное издание	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955
Л2.2	Крылов А. Н.	О земном магнетизме	Электронная библиотека	Петроград: Типография Морского Комиссариата, 1922
Л2.3	Сарина М. П.	Электричество и магнетизм: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л2.4	Луков В. В., Щербаков И. Н.	Основы молекулярного магнетизма: учебник	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2017
Л2.5	Моргунов Р. Б., Коплак О. В., Безверхний А. И., Дмитриев О. С.	Магнетизм на острие иглы. Основы атомно-силовой и магнитно-силовой микроскопии: научное электронное издание: монография	Электронная библиотека	Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2018

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Капуткин Д. Е., Рахштадт Ю. А., Ашмарин Г. М.	Пособие для самостоятельной подготовки студентов вечернего факультета по курсу 'Магнетизм'	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1999

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	База данных научной литературы Scopus	<a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a>
----	---------------------------------------	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	MATCAD
П.2	Win Pro 10 32-bit/64-bit

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-329	Лаборатория	"стационарные компьютеры/моноблоки 6 шт., набор демонстрационного оборудования, в том числе: доска учебная, плазменный телевизор с диагональю 99 см. Определение стабильности коллоидных систем Malvern Zetasizer Nano ZS; Определение размеров частиц методом ультразвуковой спектроскопии Matec Zeta-APS; Спектрофотометрическое определение кинетики окисления Thermo Scientific HeXios a; Определение механизма тушения флуоресценции квантовых частиц с функциональными группами на поверхности Cary Eclipse Fluorescence spectrophotometer; Окислительно-восстановительное потенциометрическое титрование pH-150MI; Определение поверхностного натяжения и плотности жидкостей KRÜSS Easy Drop DSA 20; Измерение вязкости на ротационном и вибрационном вискозиметрах SV-10, RM-100. Пресс гидравлический ПГМ-100МГ4А СКБ Стройприбор; леофильная сушка - CHRIST ALPHA 1-2 LD; мультиметр ""Актаком"" ""АВМ-4306"" и источник тока ""Master DC Power Supply HY5010E"" (снятие ВАХ); весы аналитические ""AND GR-202""; комплект учебной мебели"

Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс 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

Специфика курса заключается в малом объеме лекционной нагрузки и большом объеме СРС. Поэтому преподавателю при проведении лекционных занятий следует основное внимание уделять физическому смыслу основных понятий и законов в области физики магнитных материалов. Следует избегать использования сложного математического аппарата. Так же в рамках лекций рекомендуется давать краткий общий обзор разделов, выносимых на СРС для ориентации студентов в материале. Преподавателю рекомендуется при проведении лекционных занятий использовать активные и интерактивные технологии (диалоговый режим, дискуссии, разбор конкретных ситуаций и т.д.).