

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:25:03

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)

# Основы магнетизма. Часть 1. Физика магнетизма

Закреплена за подразделением

Кафедра физического материаловедения

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 7

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	Неделя			
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*дфмн, Профессор , Алексей Сергеевич Лилеев*

Рабочая программа

**Основы магнетизма. Часть 1. Физика магнетизма**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

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 также изучение студентами основных теоретических представлений о природе магнетизма, магнитных взаимодействиях и магнитных явлениях
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.17
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.2	Материаловедение	
2.1.3	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.4	Металловедение инновационных материалов	
2.1.5	Методы исследования материалов	
2.1.6	Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии	
2.1.7	Метрология и технические измерения функциональных материалов	
2.1.8	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.9	Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике	
2.1.10	Основы материаловедения и методов исследования материалов	
2.1.11	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.12	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.13	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.14	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.15	Разработка новых материалов	
2.1.16	Технология функциональных материалов	
2.1.17	Фазовые равновесия и дефекты структуры	
2.1.18	Физика диэлектриков	
2.1.19	Физика полупроводников	
2.1.20	Введение в квантовую теорию твердого тела	
2.1.21	Дефекты кристаллической решетки	
2.1.22	Компьютеризация эксперимента	
2.1.23	Планирование и организация научно-исследовательской работы	
2.1.24	Планирование научного эксперимента	
2.1.25	Теория поверхностных явлений	
2.1.26	Теория симметрии	
2.1.27	Электроника	
2.1.28	Кристаллография	
2.1.29	Практическая кристаллография	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.2.2	Высокотемпературные материалы	
2.2.3	Композиционные и керамические материалы	
2.2.4	Композиционные материалы	
2.2.5	Компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.2.6	Компьютерное моделирование процессов получения материалов	
2.2.7	Математические методы моделирования физических процессов	
2.2.8	Металловедение сварки	
2.2.9	Методы исследования структур и материалов. Часть 2	
2.2.10	Объемные наноматериалы	
2.2.11	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия	
2.2.12	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.13	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.14	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.15	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

2.2.16	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.17	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.18	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.19	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.20	Специальные сплавы
2.2.21	Структура и свойства функциональных наноматериалов
2.2.22	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы
2.2.23	Функциональные материалы электроники
2.2.24	Экстремальные технологии получения наноматериалов

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

#### ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований

##### Знать:

ПК-1-31 Базовые знания в области физики магнетизма

##### Уметь:

ПК-1-У3 Самостоятельно использовать современные представления наук о магнетизме при анализе влияния микро- и наномасштаба на магнитные и другие свойства материалов, изменения свойств материалов при взаимодействии с окружающей средой в процессе обработки, электромагнитными излучением и потоками

ПК-1-У2 Самостоятельно проводить сбор данных, анализ и обобщение научно-технической информации, основных нормативных документов на основе знаний физики магнетизма

ПК-1-У1 Самостоятельно использовать знания о физико-химических основах, принципах и методиках исследований, испытаний и диагностики магнитных материалов, имеет навыки комплексного подхода к исследованию магнитных свойств и магнитных характеристик

##### Владеть:

ПК-1-В3 Навыками совершенствования своего профессионализма, развития и приобретения научного знания путем оценки, интерпретации и интегрирования знаний в области материаловедения и физики магнетизма

ПК-1-В2 Навыком свободно пользоваться русским языком в профессиональной области, владеет терминологией в области физики магнетизма

ПК-1-В1 Навыками формирования и аргументации собственных суждений и научной позиции на основе знаний о типах современных достижения в физики магнетизма

### 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. Введение. Развитие науки о магнетизме</b>							
1.1	Введение. Развитие науки о магнетизме /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.6Л2.1 Л2.8 Э1			
1.2	Магнитные характеристики /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У1	Л1.6Л2.1 Л2.8 Э1			Р3
1.3	Проработка лекционного материала /Ср/	7	8	ПК-1-31	Л1.1Л2.2 Л2.3			
	<b>Раздел 2. Атомный магнетизм</b>							

2.1	Орбитальный магнитный момент электрона. Связь между орбитальным магнитным моментом и моментом количества движения электрона. Магнетон Бора. Пространственное квантование. Проекция магнитного момента на направление поля. Опыты Штерна и Герлаха. Трактовка их результатов. Гиромангнитное отношение в металлах и сплавах. Магнитные моменты многоэлектронных атомов. Сложение механических и магнитных моментов переходных и редкоземельных элементов. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.7Л2.10 Э2			
2.2	Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.5Л2.8			
2.3	Магнитные свойства атомов. Тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.1Л2.7			
2.4	Магнитные свойства атомов. Тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.7Л2.8			Р4
2.5	Подготовка доклада на семинар /Ср/	7	8	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-В1	Л1.1			Р1
	<b>Раздел 3. Диамагнетизм. Основные закономерности</b>							
3.1	Диамагнетизм. Происхождение и основные особенности /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.1Л2.7			
3.2	Диамагнетизм атомов и вещества. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.5Л2.10			
3.3	Аномальные диамагнетники. Диамагнетики в магнитном поле. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.6Л2.6			
3.4	Диамагнетизм и парамагнетизм /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.6Л2.6			Р5
3.5	Подготовка к контрольной работе № 1 /Ср/	7	8	ПК-1-31 ПК-1-У1	Л1.1 Л2.2Л2.1			
3.6	Контрольная работа № 1 /Ср/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л2.2 Л2.3Л2.6			КМ2
	<b>Раздел 4. Парамагнетизм. Энергетический спектр атомов</b>							
4.1	Закон Кюри. Функция Бриллюэна. Парамагнетизм свободных электронов. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л2.2 Л1.1Л2.7			

4.2	Взаимодействие d - и s-электронов в атоме. Влияние s-d взаимодействия на магнитный момент вещества. Электронный парамагнитный резонанс. Оптическая ориентация магнитных моментов атома. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.1Л2.10			
4.3	Немагнитная природа ферромагнитного состояния /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У3 ПК-1-В1	Л1.1Л2.10			Р6
4.4	Подготовка к контрольной работе № 2 /Ср/	7	8	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.1 Л2.2Л1.1Л3.1			
4.5	Контрольная работа № 2 /Ср/	7	4	ПК-1-31	Л1.2Л2.2 Л2.4		КМ3	
	<b>Раздел 5. Теория спонтанной намагниченности</b>							
5.1	Немагнитная природа ферромагнитного состояния. Формальная теория ферромагнетизма. Теория Изинга. Идеи Розинга о молекулярном поле. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.1 Л2.3Л2.6			
5.2	Атомные магнитные моменты в ферромагнетиках, "s-d"-обмен в ферромагнетиках. Статические модели ферромагнетиков. Зонная теория ферромагнетизма /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.6Л2.7			
5.3	Расчет кривых намагничивания и петель гистерезиса с учетом сил анизотропии. /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3	Л1.1Л2.7			Р7
	<b>Раздел 6. Термодинамика магнитных явлений</b>							
6.1	Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Постановка задачи. Необходимость привлечения понятия квазичастиц для объяснения температурной зависимости намагниченности. Энергия системы упорядоченных спинов. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.3 Л1.4Л2.7			
6.2	Спиновые волны /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.3 Л1.4			
6.3	Сравнение расчетных петель гистерезиса при различных механизмах перемагничивания с экспериментальными данными /Пр/	7	2	ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-В1 ПК-1-В2 ПК-1-В3	Л2.4Л3.1			Р8
6.4	Подготовка доклада на семинар /Ср/	7	8	ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-В1 ПК-1-В2 ПК-1-В3	Л1.1 Л2.2 Л2.4Л1.1			Р2

	<b>Раздел 7. Спиновые волны. Магнетоны.</b>							
7.1	Магнон. Движение магнона. Спиновые комплексы. Спиновые волны. Газ магнонов. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.2Л2.7			
7.2	Намагниченность ферромагнетика при низких температурах. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.6 Л2.8Л2.7Л3. 1			
7.3	Теоретические основы формирования высоких значений намагниченности и высокой проницаемости в ферромагнетиках /Пр/	7	2	ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.5Л2.7			Р9
7.4	Проработка лекционного материала /Ср/	7	8	ПК-1-31	Л2.2 Л2.3 Л2.4Л2.6 Л2.7			
	<b>Раздел 8. Антиферромагнетизм, ферримагнетизм</b>							
8.1	Антиферромагнетизм. Теория Нееля. Магнитные и другие свойства антиферромагнетиков. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.6Л2.7			
8.2	Ферримагнетизм. Магнитные свойства ферримагнетиков. Ферриты, их структура и свойства. Решетка шпинели магнетита. Магнитный момент на атом. /Лек/	7	2	ПК-1-31	Л1.7			
8.3	Формирование высоких значений коэрцитивной силы и магнитной энергии в ферромагнетиках. /Пр/	7	2	ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В2 ПК-1-В3	Л1.6 Л1.7			Р10
8.4	Оценка значений коэрцитивной силы, рассчитанной по разным теориям /Пр/	7	1	ПК-1-У2 ПК-1-В2 ПК-1-В3	Л1.6Л2.7			Р11
8.5	Проработка лекционного материала /Ср/	7	3		Л1.1 Л2.2 Л2.3Л2.1Л3. 1			

### 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	Зачет с оценкой	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3	Вопросы к самостоятельной подготовке 1. Магнитостатика. Поиск основного параметра, обуславливающего магнитные явления. Источники магнитных свойств вещества. 2. Парамагнетизм. Постановка задачи. Энергетический спектр атомов, имеющих магнитный момент в поле H и при температуре T. Функция Ланжевена. Закон Кюри. Функция Бриллюэна. 3. Магнитный гистерезис. Теории гистерезиса. Основные виды гистерезиса. Гистерезис, обусловленный задержкой образования зародыша перемagnичивания. 4. Орбитальный магнитный момент электрона. Связь между орбитальным магнитным моментом и моментом количества движения электрона 5. Атомные магнитные моменты в ферромагнетиках, "s-d"-обмен в ферромагнетиках. Статические модели ферромагнетиков. Зонная

		<p>теория ферромагнетизма</p> <p>6. Высокоанизотропные одноосные ферромагнетики. Трудность зародышеобразования. Влияние намагничивающего поля на поле зародышеобразования.</p> <p>7. Одноэлектронный атом во внешнем магнитном поле. Диамагнетизм электронов атома. Экспериментальное определение гиромагнитного отношения (гиромагнитные опыты). Сравнение с теорией.</p> <p>8. Магنون. Движение магнона. Спиновые комплексы. Спиновые волны. Газ магнонов. Намагниченность ферромагнетика при низких температурах.</p> <p>9. Фундаментальные характеристики, обуславливающие процесс перемагничивания в материалах, в которых гистерезис определяется трудностью зародышеобразования.</p> <p>10. Магнетон Бора. Пространственное квантование. Проекция магнитного момента на направление поля. Опыты Штерна и Герлаха. Траектория их результатов.</p> <p>11. Ферромагнитное состояние как упорядоченное состояние спинов. Дальний и ближний магнитный порядок. Кривая Бетта - Слейтера. Критерий ферромагнетизма.</p> <p>12. Неколлинеарное расположение магнитных моментов в ферромагнетиках. Геликоидальные (спиральные) магнитные структуры. Косвенное обменное взаимодействие.</p> <p>13. Тонкая структура спектральных линий. Эффект Зеемана. Спиновый магнитный момент электрона. Спиновый магнитный момент атома. Фактор Ланде. Аномальный эффект Зеемана. Эффект Пашена – Бака.</p> <p>14. Энергия магнитной анизотропии. Теория магнитной кристаллографической анизотропии. Константы кристаллографической анизотропии. Константы магнитной анизотропии металлов. Температурная зависимость констант.</p> <p>15. Моделирование процессов перемагничивания материалов, в которых процесс перемагничивания определяется трудностью зародышеобразования.</p> <p>16. Антиферромагнетики. Теория Нееля. Магнитные и другие свойства антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитные свойства ферримагнетиков. Температурная зависимость намагниченности двухподрешеточного ферримагнетика.</p> <p>17. Магнитные моменты многоэлектронных атомов. Сложение механических и магнитных моментов.</p> <p>18. Гистерезис, обусловленный задержкой смещения доменной границы.</p> <p>19. Гистерезис, обусловленный необратимым вращением.</p> <p>20. Диамагнетизм. Происхождение и основные особенности. Диамагнетизм атомов и вещества. Аномальные диамагнетки. Диамагнетики в магнитном поле.</p> <p>21. Обратимые и необратимые процессы при намагничивании.</p> <p>22. Однодоменные структуры. Некогерентное перемагничивание областей в реальных ферромагнетиках.</p> <p>23. Парамагнетизм свободных электронов. Взаимодействие d - и s-электронов в атоме. Влияние s-d взаимодействия на магнитный момент вещества. Электронный парамагнитный резонанс.</p> <p>24. Энергия магнитных полей рассеяния. Причины возникновения полей рассеяния в образце ферромагнетика. Размагничивающий фактор.</p> <p>25. Магнитострикция. Природа магнитострикции. Спонтанная магнитострикция. Анизотропная и изотропная составляющие спонтанной магнитострикции. Магнитострикция монокристаллов. Магнитострикция поликристаллических ферромагнетиков.</p> <p>26. Парамагнетизм свободных электронов. Взаимодействие d - и s-электронов в атоме. Влияние s-d взаимодействия на магнитный момент вещества. Электронный парамагнитный резонанс.</p> <p>27. Спиновые волны (температурная зависимость спонтанной намагниченности). Постановка задачи. Необходимость привлечения понятия квазичастиц для объяснения температурной зависимости намагниченности.</p> <p>28. Доменная структура и причины ее образования. Типы доменной структуры. Энергия и ширина граничного слоя между доменами.</p>
--	--	---



			<p>Размеры доменов. Влияние соотношения различных видов энергии на характер доменной структуры.</p> <p>29. Формальная теория ферромагнетизма. Теория Изинга.</p> <p>30. Теория ферромагнетизма Вейсса. Спонтанная намагниченность и её зависимость от температуры. Сравнение с экспериментом.</p> <p>31. Процессы намагничивания ферромагнетиков. Процессы смещения доменных границ. Процессы вращения вектора намагниченности.</p> <p>32. Домены. Величина молекулярного поля. Недостатки теории Вейсса.</p> <p>33. Идеальные магнетики. Термодинамический потенциал в присутствии магнитного поля.</p> <p>34. Квантовая теория ферромагнетизма Френкеля-Гайзенберга. Обменная энергия и ее зависимость от направления спинов соседних атомов.</p> <p>35. Температурная зависимость намагниченности. Точка Кюри.</p> <p>36. Энергия ферромагнетика в магнитном поле.</p> <p>37. Спиновые волны (температурная зависимость спонтанной намагниченности). Постановка задачи.</p> <p>Необходимость привлечения понятия квазичастиц для объяснения температурной зависимости намагниченности</p>
КМ2	Контрольная работа 1	ПК-1-31	<p>Вопросы к контрольной работе 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Процессы намагничивания ферромагнетиков. Процессы смещения доменных границ. Процессы вращения вектора намагниченности.</li> <li>2. Классификация веществ по магнитным структуре и свойствам</li> <li>3. Орбитальный магнитный момент электрона. Связь между орбитальным магнитным моментом и моментом количества движения электрона</li> <li>4. Пространственное квантование</li> <li>5. Спины и магнитные моменты элементарных частиц</li> <li>6. Опыт Штерна и Герлаха</li> <li>7. Доменная структура ферромагнетика</li> <li>8. Влияние формы образца на магнитные свойства. Энергия размагничивающего фактора</li> <li>9. Петля гистерезиса однодоменной частицы</li> <li>10. Энергия магнитной анизотропии. Теория магнитной кристаллографической анизотропии. Константы кристаллографической анизотропии и методы их измерения</li> <li>11. Обменная анизотропия</li> <li>12. Магнитная анизотропия РЗМ</li> <li>13. Спин-переориентационный переход в интерметаллическом соединении Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B</li> <li>14. Переходная доменная структура</li> <li>15. Явление термического намагничивания</li> <li>16. ДОМЕНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ</li> <li>17. Антиферромагнетизм</li> <li>18. Мультиферроики</li> </ol>

КМ3	Контрольная работа 2	ПК-1-31	<p>Вопросы к контрольной работе 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оцените, какую энергию должны иметь нейтроны, чтобы их можно было использовать для анализа структуры кристаллов.</li> <li>2. Докажите, что несимметричное расположение магнитных моментов в антиферромагнетике при <math>H=H_n</math> энергетически невыгодно.</li> <li>3. Найдите числовое соотношение между длиной электромагнитной волны частотой <math>\omega H</math> и магнитным полем <math>H</math>.</li> <li>4. На каком расстоянии <math>L</math> от магнита в опыте Штерна и Герлаха надо расположить экран, чтобы расстояние между следами пучков равнялось бы <math>0,0044</math> мм? В опыте Штерна и Герлаха <math>dH/dt=2,2</math> Э/см. Ширина области неоднородного поля <math>D=10</math> см, скорость атомов пучка равнялась <math>106</math> см/с.</li> <li>5. Перепишите условия ЭПР и запишите условие ЯМР в виде зависимости длины электромагнитной волны от магнитного поля. Найдите численное значение коэффициента пропорциональности для электрона и протона.</li> <li>6. Вычислите среднюю энергию частицы ферми-газа при <math>T=0</math> и выразите ее через энергию Ферми <math>\epsilon_F</math>.</li> <li>7. Объяснить, почему магнит, парящий над сверхпроводником, не падает.</li> <li>8. Причины гистерезиса.</li> <li>9. Виды магнитной анизотропии.</li> <li>10. Определение поля анизотропии.</li> <li>11. Когерентный механизм перемагничивания.</li> <li>12. Некогерентный механизм перемагничивания.</li> <li>13. Переходная доменная структура.</li> <li>14. Гистерезис, обусловленный трудностью зародышеобразования.</li> <li>15. Особенности процессов перемагничивания частиц с переходной доменной структурой.</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	Домашнее задание 1	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3;ПК-1-В1	<p>Представляет из себя подготовку доклада для выступления на семинаре. Доклад проводится в виде представления презентации в формате MS PowerPoint:</p> <p>1) Тематика первого домашнего задания: «Взаимодействие вещества с магнитным полем. Причины существенного различия реакции вещества на внешнее магнитное поле.»</p>
P2	Домашнее задание 2	ПК-1-В3;ПК-1-В2;ПК-1-В1;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3	<p>Представляет из себя подготовку доклада для выступления на семинаре. Доклад проводится в виде представления презентации в формате MS PowerPoint:</p> <p>2) Тематика второго домашнего задания – доклад по разделам курса по выбору студента по согласованию с преподавателем.</p> <p>Примеры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- спиновые волны</li> <li>- обменное взаимодействие</li> </ul>
P3	Практическая работа по теме "Магнитные характеристики"	ПК-1-31;ПК-1-У1	Магнитные характеристики. Решение задач.
P4	Практическая работа по теме "Магнитные свойства атомов. Тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий"	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2	Решение задач по теме практической работы
P5	Практическая работа по теме "Диамагнетизм и парамагнетизм"	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2	Решение задач по теме практической работы

P6	Практическая работа по теме "Немагнитная природа ферромагнитного состояния"	ПК-1-31;ПК-1-У3;ПК-1-В1	Решение задач по теме практической работы
P7	Практическая работа по теме "Расчет кривых намагничивания и петель гистерезиса с учетом сил анизотропии"	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3	Решение задач по теме практической работы
P8	Практическая работа по теме "Сравнение расчетных петель гистерезиса при различных механизмах перемагничивания с экспериментальными данными"	ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3;ПК-1-В1;ПК-1-В2;ПК-1-В3	Решение задач по теме практической работы
P9	Практическая работа по теме "Теоретические основы формирования высоких значений намагниченности и высокой проницаемости в ферромагнетиках"	ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-1-В2	Решение задач по теме практической работы
P10	Практическая работа по теме "Формирование высоких значений коэрцитивной силы и магнитной энергии в ферромагнетиках"	ПК-1-У2;ПК-1-У1;ПК-1-В3;ПК-1-В2	Решение задач по теме практической работы
P11	Практическая работа по теме "Оценка значений коэрцитивной силы, рассчитанной по разным теориям"	ПК-1-У2;ПК-1-В2;ПК-1-В3	Решение задач по теме практической работы

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

Экзамен не предусмотрен

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

Оценка зачета ставится на основе среднего балла оценок за две контрольные работы и два домашних задания. Студенты не согласные со своей оценкой должны выполнить зачетную работу.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Попов Н. А.	Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Прометей, 2015

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Фрёлих Г.	Теория диэлектриков: диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери: монография	Электронная библиотека	Москва: Издательство иностранной литературы, 1960
Л1.3	Туров Е. А.	Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов: феноменологическая теория спиновых волн в ферромагнетиках, антиферромагнетиках и слабых ферромагнетиках	Электронная библиотека	Москва: Академия наук СССР, 1963
Л1.4	Овсюк Е. М., Веко О. В., Войнова Я. А., Кисель В. В., Редьков В. М.	Квантовая механика частиц со спином в магнитном поле: монография	Электронная библиотека	Минск: Беларуская навука, 2017
Л1.5	Зильберман Г. Е.	Электричество и магнетизм	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1970
Л1.6	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
Л1.7	Степанова В. А., Капуткин Д. Е.	Физика. Электричество и магнетизм: учебно-метод. пособие: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. - Metallurgy	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2012
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Акулов Н. С.	Ферромагнетизм: монография	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1939
Л2.2	Сарина М. П.	Электричество и магнетизм: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л2.3	Никольский В. В.	Теория электромагнитного поля: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Высш. школа, 1961
Л2.4	Боброва Т. М., Ипполитова Л. Н., Кузнецов Д. В.	Электричество и магнетизм: методические указания: методическое пособие	Электронная библиотека	Елец: Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2010
Л2.5	Чечуев В. Я.	Элементы электростатики и электромагнетизма: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: НГАУ, 2014
Л2.6	Стародубцева Г. П., Хащенко А. А.	Курс лекций по физике: механика, молекулярная физика, термодинамика. Электричество и магнетизм: учебное пособие	Электронная библиотека	Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет (СтГАУ), 2017
Л2.7	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

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.8	Мишин Д. Д.	Магнитные материалы: Учеб. пособие для физ. и физ.-техн. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1991
Л2.9	Введенский В. Ю., Лилеев А. С.	Физические методы исследования. Магнитные свойства: курс лекций: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150700 - Физическое материаловедение, спец. 150702 - Физика металлов	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2010
Л2.10	Летюк Л. М., Лукин Б. И., Ануфриев А. Н., Летюк Л. М.	Магнитные материалы и структуры: Разд.: Аморфные магнетики: Учеб. пособие для студ. спец. 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1982

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Крутогин Д. Г.	Элементы и устройства магнитоэлектроники: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2008

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

Э1	ГОСТ 19693-74. Материалы магнитные. Термины и определения. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2005	<a href="http://docs.entd.ru/document/1200015683">http://docs.entd.ru/document/1200015683</a>
Э2	Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров – М.: Техносфера, 2012. – 560	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=233466&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=233466&amp;sr=1</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Microsoft Office
П.4	MS Teams

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

И.1	Межуниверситетская сетевая система междисциплинарной подготовки и профессиональной переподготовки кадров для nanoиндустрии. – Url: <a href="http://www.nano-obr.ru">www.nano-obr.ru</a> .
И.2	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.3	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.4	— Полнотекстовые деловые публикации информгентств и прессы по 53 отраслям <a href="https://polpred.com/news">https://polpred.com/news</a>
И.5	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.6	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.7	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.8	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.9	— научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>
И.10	

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-420	Учебная аудитория	проектор; мультимедийная доска; маркерная доска, документ-камера; компьютер преподавателя; микроскопы металлографические 11 шт., 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.

Б-416	Учебная аудитория	проектор; экран; маркерная доска; компьютер преподавателя; микроскоп Carl Zeiss Axio Scope A1, компьютерный класс на 12 компьютеров, комплект учебной мебели
-------	-------------------	--

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина 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.