

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 28.08.2023 12:50:45

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 магнитных явлений. Часть 2. Магнетизм веществ

Закреплена за подразделением

Кафедра физического материаловедения

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Физика конденсированного состояния

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

34

самостоятельная работа

38

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	17			
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	38	38	38	38
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):  
*дфмн, профессор, Лилеев А.С.*

Рабочая программа

**Физика магнитных явлений. Часть 2. Магнетизм веществ**

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 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-23-1.plx Физика конденсированного состояния, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Физика конденсированного состояния, 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	Сформировать компетенций, предусмотренных с учебным планом, а также научить использовать основные физические представления о природе магнитных явлений, механизмах возникновения магнитоупорядоченного состояния, описывать процессы перемангничивания магнитных материалов, дать понятия о взаимосвязи магнитных характеристик со структурой материала.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.04
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Атомно-кристаллическая структура твердых фаз	
2.1.2	Компьютерное моделирование в физическом материаловедении	
2.1.3	Магнитные материалы	
2.1.4	Методы теории электронной структуры твердых тел	
2.1.5	Неравновесные конденсированные системы часть 1	
2.1.6	Специальный физический практикум	
2.1.7	Фазовое равновесие в многокомпонентных системах	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Инженерия поверхности	
2.2.2	История и методология физики	
2.2.3	Наночастицы и наноматериалы	
2.2.4	Радиационная обработка поверхности	
2.2.5	Термодинамическое моделирование химических процессов в многокомпонентных гетерогенных системах	
2.2.6	Тонкопленочные материалы	
2.2.7	Физика дифракции	
2.2.8	Экспериментальные методы в физике магнетизма	
2.2.9	Электронные свойства неравновесных материалов	
2.2.10	Научно-педагогическая практика	
2.2.11	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.12	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

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

<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области физики конденсированных состояний</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-1-31 принципы обработки и анализа научно-технической информации и результатов научных исследований в области физики конденсированных состояний и физики магнитных явлений	
<b>ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-2-31 основы моделирования процессов намагничивания и перемангничивания магнитных материалов;	
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31 фундаментальные основы физики магнитных явлений и процессы намагничивания и перемангничивания магнитных материалов;	
<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области физики конденсированных состояний</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-1-У1 обрабатывать экспериментальные данные результатов научных исследований в области физики	

конденсированных состояний и физики магнитных явлений
<b>ОПК-2:</b> Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 использовать профессионально-ориентированные знания в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности в области физики магнитных явлений и технологии магнитных материалов;
<b>ОПК-1:</b> Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 использовать знания физики магнитных явлений для анализа технологии получения магнитных материалов;
<b>ПК-1:</b> Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области физики конденсированных состояний
<b>Владеть:</b>
ПК-1-В1 опытом обработки экспериментальных данных результатов научных исследований в области физики конденсированных состояний и физики магнитных явлений
<b>ОПК-2:</b> Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 опытом анализа результатов экспериментальных исследований в области физики магнитных явлений и технологии магнитных материалов;
<b>ОПК-1:</b> Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 опытом использования фундаментальных знаний в области физики магнитных явлений для решения научно-исследовательских задач

#### 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. Взаимодействие вещества с магнитным полем. Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнитоупорядоченное состояние.</b>							
1.1	Взаимодействие вещества с магнитным полем. Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнитоупорядоченное состояние. /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л3.2 Э1			
1.2	Повторение теоретического материала прошлого семестра. Освоение материалов раздела 1 /Ср/	2	2	ОПК-1-31 ПК-1-31	Л1.1 Л1.3Л3.2			
	<b>Раздел 2. Магнитная анизотропия и явление магнитострикции.</b>							
2.1	Магнитная анизотропия и явление магнитострикции /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.5 Э1			

2.2	Магнитная кристаллическая анизотропия и ее влияние на техническое намагничивание. Энергия кристаллической магнитной анизотропии для кубических, гексагональных и тетрагональных кристаллов. /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.5			
2.3	Энергия магнитоупругого взаимодействия. Спонтанная магнитострикция одного домена и многодоменного кристалла. Магнитострикция при магнитном насыщении, продольная магнитострикция. Магнитострикция поликристаллического ферромагнетика. Методы измерения магнитострикции. Влияние магнитного поля, температуры, химического состава и термической обработки на магнитострикцию ферромагнетиков. /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.3Л2.7Л3. 3			
2.4	Подготовка к практическому занятию "Магнитоэлектрическая энергия" /Ср/	2	4	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.3Л2.5			
2.5	Магнитоэлектрическая энергия (энергия размагничивающего поля), размагничивающий фактор для ферромагнетиков различной формы. Энергия взаимодействия магнитных диполей. Обменная (однонаправленная) анизотропия. Поверхностная магнитная анизотропия при низкотемпературном переходе в Fe3O4, при напылении тонких пленок и быстрой закалке из расплава. Наведенная магнитная анизотропия. Одноосная анизотропия при термомагнитной и термомеханической обработке. /Пр/	2	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1	Л1.1 Л1.3Л2.5			P1
2.6	Освоение теоретического материала раздела 2 /Ср/	2	6	ОПК-1-31				
	<b>Раздел 3. Теория технической кривой намагничивания.</b>							

3.1	Теория технической кривой намагничивания. Доменная структура и процессы намагничивания. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3			
3.2	Кривая технического намагничивания (основные участки кривой КН и её параметры). Факторы, влияющие на форму кривой намагничивания. Основные виды энергии и типы взаимодействий, определяющие форму КН. Обратимые и необратимые процессы при намагничивании. Контрольная работа 1 по разделам 2-3. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.3		КМ1	Р2
3.3	Освоение теоретического материала раздела 3 /Ср/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.3Л3.3			
	<b>Раздел 4. Процессы перемангничивания</b>							
4.1	Перемангничивание ферромагнетиков. Механизмы перемангничивания и их модели. /Лек/	2	2	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.3 Л1.5 Л1.7 Л1.8Л3.1			
4.2	Подготовка к практическому занятию "Расчет кривых намагничивания и петель гистерезиса с учетом сил анизотропии" /Ср/	2	2	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.3 Л1.5Л3.1			
4.3	Расчет кривых намагничивания и петель гистерезиса с учетом сил анизотропии. /Пр/	2	4	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.5 Л1.7 Л1.8			Р3
4.4	Подготовка к практическому занятию "Расчет петель гистерезиса при разных механизмах перемангничивания" /Ср/	2	2	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.3 Л1.5			
4.5	Сравнение расчетных петель гистерезиса при различных механизмах перемангничивания с экспериментальными данными /Пр/	2	3	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.5 Л1.7 Л1.8			Р4
4.6	Освоение теоретического материала раздела 4 /Ср/	2	3	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1 Л1.3 Л1.5			
	<b>Раздел 5. Магнетизм наноструктур.</b>							
5.1	Магнетизм наноструктур. Микромагнетизм нанокристаллических ферромагнетиков. Супермагнетизм. Магнитные наноточки. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.6Л2.2 Л2.3 Э1			
5.2	Подготовка к практическому занятию "Магнетизм наноструктур" /Ср/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.6Л2.2 Л2.3 Э1			

5.3	Теория Герцера. Модель хаотичной анизотропии. Наведенная магнитная анизотропия. Микромагнитный риппл. Теория Хоффмана. Внутренние поля рассеяния. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.6Л2.3			Р5
5.4	Освоение теоретического материала раздела 5 /Ср/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.6Л2.3 Э1			
	<b>Раздел 6. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.</b>							
6.1	Магнитные материалы. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью с кристаллической и магнитной текстурой, с постоянной магнитной проницаемостью в слабых и сильных полях. Термомагнитные материалы, их основные свойства. Аморфные и микро- и нанокристаллические магнитные сплавы. Виды магнитной анизотропии сплавов. Высококоэрцитивные сплавы с анизотропией полей рассеяния с магнитной и кристаллической текстурой. Высококоэрцитивные сплавы с одноосной кристаллической анизотропией /Лек/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.4 Л1.5Л2.4 Л2.6Л3.4 Л3.5 Э1			
6.2	Подготовка к практическому занятию. "Процессы перемагничивания в магнитных материалах" /Ср/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.4 Л1.6Л2.6			
6.3	Процессы перемагничивания в магнитных материалах. Контрольная работа 2 по разделам 4-6. /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.4 Л1.6 Л1.7 Л1.8 Э1		КМ2	Р6
6.4	Освоение теоретического материала раздела 6 /Ср/	2	4	ОПК-1-31 ОПК-2-31	Л1.4 Л1.6 Э1			
6.5	Подготовка домашнего задания /Ср/	2	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7Л3.4			Р7

### 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 1 по разделам 2-3.	ОПК-2-31;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ПК-1-У1	<p>Вопросы к контрольной работе № 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Энергия магнитной анизотропии. Теория магнитной кристаллографической анизотропии. Константы кристаллографической анизотропии.</li> <li>2. Константы магнитной анизотропии металлов. Температурная зависимость констант.</li> <li>3. Что такое обменная анизотропия, когда наблюдается смещенная петля гистерезиса.</li> <li>4. Как влияет изменение анизотропии формы и нарушение одноосности удлиненных однодоменных частиц на их коэрцитивную силу.</li> <li>5. Магнитострикция. Природа магнитострикции. Спонтанная магнитострикция.</li> <li>6. Анизотропная и изотропная составляющие спонтанной магнитострикции.</li> <li>7. Магнитострикция монокристаллов. Магнитострикция поликристаллических ферромагнетиков.</li> <li>8. Обратимые и необратимые процессы при намагничивании.</li> <li>9. Магнитный гистерезис. Теории гистерезиса. Основные виды гистерезиса. Гистерезис, обусловленный задержкой образования зародыша перемагничивания.</li> <li>10. Высокоанизотропные одноосные ферромагнетики. Трудность зародышеобразования. Влияние намагничивающего поля на поле зародышеобразования.</li> <li>11. Фундаментальные характеристики, обуславливающие процесс перемагничивания в материалах, в которых гистерезис определяется трудностью зародышеобразования.</li> <li>12. Моделирование процессов перемагничивания материалов, в которых процесс перемагничивания определяется трудностью зародышеобразования.</li> <li>13. Гистерезис, обусловленный задержкой смещения доменной границы.</li> <li>14. Гистерезис, обусловленный необратимым вращением.</li> <li>15. Модели некогерентного вращения вектора намагниченности при перемагничивании цепочки однодоменных частиц.</li> <li>16. Модели некогерентного вращения вектора намагниченности при перемагничивании бесконечного цилиндра.</li> <li>17. Основные выводы из теории магнитного гистерезиса, если перемагничивание происходит с задержкой роста зародыша перемагничивания.</li> <li>18. Основные причины снижения коэрцитивной силы в реальных ферромагнетиках.</li> <li>19. Как учесть взаимодействие частиц при оценке коэрцитивной силы.</li> <li>20. Какова зависимость коэрцитивной силы ферромагнитных частиц от их размера и чем она обусловлена.</li> <li>21. Однодоменные структуры. Некогерентное перемагничивание областей в реальных ферромагнетиках.</li> <li>22. Энергия магнитных полей рассеяния. Причины возникновения полей рассеяния в образце ферромагнетика. Размагничивающий фактор.</li> <li>23. Процессы намагничивания ферромагнетиков. Процессы смещения доменных границ. Процессы вращения вектора намагниченности.</li> <li>24. Гистерезис, обусловленный трудностью отрыва доменной стенки.</li> <li>25. Лимитирующее звено процесса перемагничивания.</li> <li>26. Критерий лимитирующего звена процесса перемагничивания.</li> <li>27. Явление термического намагничивания.</li> <li>28. Графики Хенкеля. Физический смысл и возможности применения.</li> <li>29. Константы кристаллографической анизотропии и методы их измерения.</li> <li>30. Когерентный механизм перемагничивания.</li> <li>31. Некогерентный механизм перемагничивания.</li> <li>32. Переходная доменная структура.</li> <li>33. Гистерезис, обусловленный трудностью зародышеобразования.</li> <li>34. Особенности процессов перемагничивания частиц с переходной</li> </ol>
-----	---------------------------------------	------------------------------------	---

			доменной структурой.
КМ2	Контрольная работа 2 по разделам 4-6.	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ПК-1-31;ПК-1-У1	Вопросы к контрольной работе № 2 1. Магнитные материалы. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью с кристаллической и магнитной текстурой, с постоянной магнитной проницаемостью в слабых и сильных полях. 2. Термомагнитные материалы, их основные свойства. 3. Аморфные и микро- и нанокристаллические магнитные сплавы. Виды магнитной анизотропии сплавов. 4. Высококоэрцитивные сплавы с анизотропией полей рассеяния с магнитной и кристаллической текстурой. 5. Высококоэрцитивные сплавы с одноосной кристаллической анизотропией. 6. Чем обусловлены особенности магнитных свойств наноматериалов и наноструктур? 7. Теория Герцера. 8. Модель хаотичной анизотропии и наведенная магнитная анизотропия. 9. Теория Хоффмана. 10. Применение магнитных наноточек.

КМЗ	Экзамен	ОПК-2-31;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ПК-1-31;ПК-1-У1	<p>Типовые вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену по курсу.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Магнитный гистерезис. Теории гистерезиса. Основные виды гистерезиса. Гистерезис, обусловленный задержкой образования зародыша перемагничивания.</li> <li>2. Высокоанизотропные одноосные ферромагнетики. Трудность зародышеобразования. Влияние намагничивающего поля на поле зародышеобразования.</li> <li>3. Фундаментальные характеристики, обуславливающие процесс перемагничивания в материалах, в которых гистерезис определяется трудностью зародышеобразования.</li> <li>4. Энергия магнитной анизотропии. Теория магнитной кристаллографической анизотропии. Константы кристаллографической анизотропии.</li> <li>5. Константы магнитной анизотропии металлов. Температурная зависимость констант.</li> <li>6. Моделирование процессов перемагничивания материалов, в которых процесс перемагничивания определяется трудностью зародышеобразования.</li> <li>7. Гистерезис, обусловленный задержкой смещения доменной границы.</li> <li>8. Гистерезис, обусловленный необратимым вращением.</li> <li>9. Обратимые и необратимые процессы при намагничивании.</li> <li>10. Модели некогерентного вращения вектора намагниченности при перемагничивании цепочки однодоменных частиц.</li> <li>11. Модели некогерентного вращения вектора намагниченности при перемагничивании бесконечного цилиндра.</li> <li>12. Основные выводы из теории магнитного гистерезиса, если перемагничивание происходит с задержкой роста зародыша перемагничивания.</li> <li>13. Что такое обменная анизотропия, когда наблюдается смещенная петля гистерезиса.</li> <li>14. Основные причины снижения коэрцитивной силы в реальных ферромагнетиках.</li> <li>15. Как учесть взаимодействие частиц при оценке коэрцитивной силы.</li> <li>16. Как влияет изменение анизотропии формы и нарушение одноосности удлиненных однодоменных частиц на их коэрцитивную силу.</li> <li>17. Какова зависимость коэрцитивной силы ферромагнитных частиц от их размера и чем она обусловлена.</li> <li>18. Как влияет изменение анизотропии формы и нарушение одноосности удлиненных однодоменных частиц на их коэрцитивную силу.</li> <li>19. Однодоменные структуры. Некогерентное перемагничивание областей в реальных ферромагнетиках.</li> <li>20. Энергия магнитных полей рассеяния. Причины возникновения полей рассеяния в образце ферромагнетика. Размагничивающий фактор.</li> <li>21. Магнитострикция. Природа магнитострикции. Спонтанная магнитострикция.</li> <li>22. Анизотропная и изотропная составляющие спонтанной магнитострикции.</li> <li>23. Магнитострикция монокристаллов. Магнитострикция поликристаллических ферромагнетиков.</li> <li>24. Процессы намагничивания ферромагнетиков. Процессы смещения доменных границ. Процессы вращения вектора намагниченности.</li> <li>25. Гистерезис, обусловленный трудностью отрыва доменной стенки.</li> <li>26. Лимитирующее звено процесса перемагничивания.</li> <li>27. Критерий лимитирующего звена процесса перемагничивания.</li> <li>28. Явление термического намагничивания.</li> <li>29. Графики Хенкеля. Физический смысл и возможности применения.</li> <li>30. Магнитные материалы. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью с кристаллической и магнитной текстурой, с постоянной магнитной проницаемостью в слабых и сильных полях.</li> </ol>
-----	---------	--	---

			31. Термомагнитные материалы, их основные свойства. 32. Аморфные и микро- и нанокристаллические магнитные сплавы. Виды магнитной анизотропии сплавов. 33. Высококоэрцитивные сплавы с анизотропией полей рассеяния с магнитной и кристаллической текстурой. 34. Высококоэрцитивные сплавы с одноосной кристаллической анизотропией.
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическое занятие 1	ОПК-1-31;ОПК-1-У1	Магнитоэлектронная энергия (энергия намагничивающего поля), намагничивающий фактор для ферромагнетиков различной формы. Энергия взаимодействия магнитных диполей. Обменная (однонаправленная) анизотропия. Поверхностная магнитная анизотропия при низкотемпературном переходе в Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , при напылении тонких пленок и быстрой закалке из расплава. Наведенная магнитная анизотропия. Одноосная анизотропия при термомагнитной и термомеханической обработке.
P2	Практическое занятие 2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-В1	Кривая технического намагничивания (основные участки кривой КН и её параметры). Факторы, влияющие на форму кривой намагничивания. Основные виды энергии и типы взаимодействий, определяющие форму КН. Обратимые и необратимые процессы при намагничивании.
P3	Практическое занятие 3	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-1-В1;ПК-1-У1;ПК-1-31	Расчет кривых намагничивания и петель гистерезиса с учетом сил анизотропии.
P4	Практическое занятие 4	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ОПК-2-У1;ПК-1-В1;ПК-1-У1;ПК-1-31	Сравнение расчетных петель гистерезиса при различных механизмах перемагничивания с экспериментальными данными
P5	Практическое занятие 5	ОПК-2-31;ОПК-1-31	Теория Герцера. Модель хаотичной анизотропии. Наведенная магнитная анизотропия. Микромагнитный риппл. Теория Хоффмана. Внутренние поля рассеяния.
P6	Практическое занятие 6	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-В1;ОПК-1-У1;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-1-31	Процессы перемагничивания в магнитных материалах.
P7	Домашнее задание	ОПК-2-31;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-2-У1	Примеры тем домашнего задания 1 в форме мультимедийного доклада с презентацией: - Влияние исходного магнитного состояния на кривую намагничивания и магнит-но-доменную структуру сплавов SmCo <sub>5</sub> . - Технология производства магнитов Nd-Fe-B. - Пленочные постоянные магниты и особенности их процессов намагничивания и перемагничивания. - Нанокристаллические магнитные порошки из соединения Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B. - Гистерезис, обусловленный трудностью отрыва доменной стенки. Примеры материалов.
<b>5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)</b>			
По данной дисциплине предусмотрен экзамен Билет экзамена состоит из 3 вопросов: Вопрос 1 - по материалам раздела 2; Вопрос 2 - материалы разделов 3 и 4; Вопрос 3 - материалы разделов 5 и 6.			

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

По курсу предусмотрен экзамен. Проставление оценки за экзамен может осуществляться на основе оценок за контрольные работы и домашнее задание. В случае не согласия студента с проставленной оценкой он имеет право сдать экзамен.

Общие критерии оценки экзамена:

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 ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Кринчик Г. С.	Физика магнитных явлений	Электронная библиотека	Москва: Московский университет, 1976
Л1.2	Вонсовский С. В.	Магнетизм: магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков: монография	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1971
Л1.3	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
Л1.4	Мишин Д. Д.	Магнитные материалы: Учеб. пособие для физ. и физ.-техн. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1991
Л1.5	Кекало И. Б., Самарин Б. А.	Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами: учебник для вузов по спец. 'Физика металлов'	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1989
Л1.6	Рыжонков Д. И., Левина В. В., Дзидзигури Э. Л.	Ультрадисперсные системы: физические, химические и механические свойства: учеб. пособие для студ. вузов спец. -150701 (070800), 150108 (110800)	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2005
Л1.7	Лилеев А. С.	Механизмы перемангничивания магнитных материалов. Моделирование процессов перемангничивания (N 4085): учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2020
Л1.8	Лилеев А. С.	Механизмы перемангничивания магнитных материалов. Моделирование процессов перемангничивания. Ч. 2 (N 4433): учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2021

**6.1.2. Дополнительная литература**

	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	Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л.	Наноматериалы: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Лаборатория знаний, 2017
Л2.3	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
Л2.4	Тейлор К., Дарби М., Вонсовский С. В.	Физика редкоземельных соединений: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Мир, 1974
Л2.5	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
Л2.6	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
Л2.7	Введенский В. Ю., Лилеев А. С., Перминов А. С.	Экспериментальные методы физического материаловедения: монография	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Гуртов В. А., Осауленко Р. Н.	Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2012
Л3.2	Киттель Ч.	Введение в физику твердого тела	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1978
Л3.3	Летюк Л. М., Ануфриев А. Н., Морченко А. Т.	Физика магнитных материалов: Лаб. практикум для студ. спец. 0648	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
Л3.4	МИСиС, Копецкий Ч. В., Лившиц Б. Г.	Вып. 168: Магнитные материалы: Темат. сб. науч. тр.	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1985
Л3.5	Анциферов В. Н., Бездудный Ф. Ф., Белянчиков Л. Н., др., Карабасов Ю. С.	Новые материалы	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2002

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

Э1	Ю.М. Поплавко ОСНОВЫ ФИЗИКИ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ: Учебное пособие. □ Киев: НТУУ «КПИ». 2004. □ 227 с. Ил. 72. Библ.: 9 назв.	<a href="http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko_Magnetism.pdf">http://me.kpi.ua/downloads/Poplavko_Magnetism.pdf</a>
----	---	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

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

П.5	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>	
И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.3	— Полнотекстовые деловые публикации информагентств и прессы по 53 отраслям <a href="https://polpred.com/news">https://polpred.com/news</a>
И.4	Иностраные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.6	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.7	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.8	— научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
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
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

Обучение проводится в один семестр и организуется в соответствии с настоящей программой. Самостоятельная работа студентов осуществляется и контролируется с помощью:

- индивидуального опроса студентов при проведении практических занятий (часть проводится в форме семинаров),
- сдачи домашних заданий в форме докладов с презентациями MS PowerPoint,
- двух письменных контрольных работ.

Контрольные работы проводятся в часы практических занятий. Сдача домашнего задания происходит в форме представления мультимедийных докладов.

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.

Дополнительно рекомендованная литература, отсутствующая в учебной библиотеке НИТУ "МИСиС":

Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества. – М.: МИР, 1983. - данная книга имеется в научной библиотеке НИТУ "МИСиС".

K.H.J. Buschow, F.R. de Boer. Physics of Magnetism and Magnetic Materials. - New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004.

Чеченин Н.Г. Магнитные наноструктуры и их применение. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2006.