

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.06.2023 09:47:50  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика магнитных материалов**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Дёгтева О.Б.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины является формирование у студентов знаний о факторах, влияющих на формирование гистерезисных свойств кристаллических магнитомягких и магнитотвердых материалов, которые определяются особенностями их структурного состояния, технологическими условиями их получения, что в свою очередь определяет особенности процессов намагничивания, перемагничивания и механизмы формирования коэрцитивной силы. Дисциплина направлена на формирование у обучающихся способности свободно ориентироваться в многообразии современных магнитных материалов и использовать их в технических устройствах, а также разрабатывать новые магнитные материалы с заданными свойствами.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

- получение знаний об основных классах современных магнитных материалов и особенностях их практического применения;
- понимание взаимосвязи гистерезисных процессов в реальных магнетиках с особенностями их структурного состояния;
- формирование общих представлений о кристаллической структуре и основных типах дефектов кристаллических решеток, а также о процессах, происходящих с дефектами под влиянием внешних воздействий и воздействии этих процессов на основные магнитные свойства материалов;
- приобретение опыта анализа физических явлений и процессов в области магнитных материалов и подготовки отчета по теме исследования.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика магнитных материалов» изучается в модуле «Магнитные материалы в радиофизике» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по предшествующим дисциплинам «Физическая кристаллография», «Основы физического металловедения». Дисциплина необходима для последующего изучения курсов «Доменная структура магнетиков», «Микромагнетизм», «Процессы перемагничивания магнетиков». Профессиональные компетенции, формируемые при освоении дисциплины, необходимы для прохождения производственной и преддипломной практик и подготовки выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 28 часов, практические занятия 28 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** 10 часов, в том числе курсовая работа 10 часов.

**самостоятельная работа:** 78 часов, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи. УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов. УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей

отдельным разделам темы.	области исследований. ПК-4.2. Применяет методы анализа научно-технической информации.
--------------------------	--

## 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 6 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

### 1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Введение. Физика магнитных материалов - один из важнейших разделов современной физики твердого тела. Применение магнитных материалов в различных отраслях техники.	4	1		1		2
Основные магнитные характеристики магнитных материалов. Кривая намагничивания. Намагниченность насыщения, индукция, магнитная проницаемость, восприимчивость. Виды магнитной проницаемости и их определение. Петля магнитного гистерезиса. Основные параметры петли магнитного гистерезиса. Предельная и частные петли	4	1		1		2

магнитного гистерезиса, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.							
Основные типы взаимодействий в магнитных материалах, ответственные за формирование их свойств: обменное, магнитокристаллическое, магнитоупругое, магнитостатическое. Основные факторы, влияющие на магнитные и электрические свойства магнитных материалов: химический состав, кристаллическая структура, атомное упорядочение, дефекты кристаллической решетки. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные магнитные свойства.	5	1		1			3
Энергия постоянного магнита. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения $(BH)_{\max}$ и его использование для оценки энергии магнитного материала. Рабочая точка постоянного магнита. Способы получения размагниченного состояния.	4	1		1			2
Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость. Физический смысл составляющих магнитной проницаемости.	6	2		2			2
Магнитомягкие и	6	1		1		2	2

магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.							
Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения (железо, железокобальтовые сплавы). Химический состав. Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания, индукцию, электросопротивление. Перспективы повышения качества.	8	2		2		2	2
Высокопроницаемые магнитные материалы с малыми потерями при перемагничивании с частотой 50 Гц (кремнистое железо). Химический состав, Влияние содержания кремния на основные магнитные свойства. Кристаллическая структура, кристаллическая текстура. Влияние субструктуры и пластической деформации на коэрцитивную силу. Технология изготовления кремнистого железа. Термическая обработка и влияние ее режимов на магнитные характеристики. Термомагнитная обработка. Особенности доменной структуры. Классификация сталей по ГОСТ и основные магнитные свойства. Перспективы повышения	4	1		1			2

качества.							
Магнитные материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании в полях звуковых частот (400-20000 Гц). Влияние химического состава на магнитные свойства, зависимость магнитных потерь и коэрцитивной силы от толщины листа. Потери на гистерезис, вихревые токи, дополнительные потери, способы разделения потерь. Перспективы повышения качества.	4	1		1			2
Магнитные материалы с наибольшей проницаемостью $\mu$ в слабых полях. Влияние химического состава на магнитные свойства, кристаллическая структура, физические основы термомагнитной обработки, закалки, отжига. Основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.	4	1		1			2
Магнитные материалы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры. Магнитные шунты.	8	2		2		2	2
Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Особенности технологического получения. Перспективы развития.	4	1		1			2
Полупроводниковые	4	1		1			2

<p>высокопроницаемые магнитные материалы. Магнитомягкие ферриты. Классификация ферритов по техническому назначению. Химический состав, кристаллическая структура, особенности магнитной структуры. Особенности поведения намагниченности и электросопротивления в зависимости от температуры. Перспективы повышения качества.</p>						
<p>Магнитные полупроводниковые материалы с повышенной стабильностью магнитной проницаемости при изменении поля, частоты и температуры. Магнитодиэлектрики. Особенности структуры и методов получения. Температурный коэффициент стабильности магнитной проницаемости.</p>	4	1		1		2
<p>Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса и большой скоростью перемагничивания (ППГ-ферриты, тонкие магнитные пленки). Основные магнитные и технические характеристики. Получение тонких магнитных пленок. Особенности их доменной структуры, магнитной анизотропии.</p>	4	1		1		2
<p>Магнитные материалы с цилиндрическими магнитными доменами. Ортоферриты, ферриты-гранаты, гексаферриты. Особенности доменной</p>	4	1		1		2



структуры и практических применений.							
Магнитные материалы с умеренными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии. Электротехнические стали. Физические условия получения высококоэрцитивного состояния. Особенности структуры, влияние основных примесей на магнитные свойства.	4	1		1			2
Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии (материалы типа ЮНДК). Химический состав, основные магнитные свойства, гетерогенная структура – причина достижения высококоэрцитивного состояния. Маркировка по ГОСТ.	4	1		1			2
Магнитотвердые ферриты. Кристаллическая структура и основные магнитные характеристики. Способы повышения температурной стабильности магнитной индукции.	4	1		1			2
Магнитные материалы с повышенной плотностью записи информации. Особенности получения материалов для магнитных лент и дисков. Физические принципы записи и считывания информации.	4	1		1			2
Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Со. Особенности кристаллической структуры и	10	2		2		2	4

магнитные свойства. Особенности гетерогенной структуры сплавов $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_z$ как неотъемлемого признака высококоэрцитивного состояния. Получение постоянных магнитов методами литья и порошковой металлургии. Основные механизмы магнитного гистерезиса.							
Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Fe-B. Особенности кристаллической структуры, основные магнитные характеристики. Получение постоянных магнитов методами порошковой металлургии и скоростной закалки. Особенности микроструктуры, основной механизм намагничивания и перемагничивания. Перспективы повышения магнитных характеристик.	10	2		2		2	4
Аморфные магнитные материалы. Их преимущества и недостатки по сравнению с кристаллическими аналогичных составов. Способы получения аморфных материалов. Физические основы термомагнитной записи информации и контактной печати с применением аморфных пленок.	4	1		1			2
Экзамен	27						27
итого	144	28		28		10	78

### III. Образовательные технологии

Учебная программа - наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Введение. Физика магнитных материалов - один из важнейших разделов современной физики твердого тела. Применение магнитных материалов в различных отраслях техники.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Основные магнитные характеристики магнитных материалов. Кривая намагничивания. Намагниченность насыщения, индукция, магнитная проницаемость, восприимчивость. Виды магнитной проницаемости и их определение. Петля магнитного гистерезиса. Основные параметры петли магнитного гистерезиса. Предельная и частные петли магнитного гистерезиса, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Основные типы взаимодействий в магнитных материалах, ответственные за формирование их свойств: обменное, магнитокристаллическое, магнитоупругое, магнитостатическое. Основные факторы, влияющие на магнитные и электрические свойства магнитных материалов: химический состав, кристаллическая структура, атомное упорядочение, дефекты кристаллической решетки. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные магнитные свойства.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Энергия постоянного магнита. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения $(BH)_{\max}$ и его использование для оценки энергии магнитного материала. Рабочая точка постоянного магнита. Способы получения размагниченного состояния.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость. Физический смысл составляющих магнитной проницаемости.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения (железо, железокобальтовые сплавы). Химический состав.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>

<p>Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания, индукцию, электросопротивление. Перспективы повышения качества.</p>		
<p>Высокопроницаемые магнитные материалы с малыми потерями при перемагничивании с частотой 50 Гц (кремнистое железо). Химический состав, Влияние содержания кремния на основные магнитные свойства. Кристаллическая структура, кристаллическая текстура. Влияние субструктуры и пластической деформации на коэрцитивную силу. Технология изготовления кремнистого железа. Термическая обработка и влияние ее режимов на магнитные характеристики. Термомагнитная обработка. Особенности доменной структуры. Классификация сталей по ГОСТ и основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i></p>
<p>Магнитные материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании в полях звуковых частот (400-20000 Гц). Влияние химического состава на магнитные свойства, зависимость магнитных потерь и коэрцитивной силы от толщины листа. Потери на гистерезис, вихревые токи, дополнительные потери, способы разделения потерь. Перспективы повышения качества.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i></p>
<p>Магнитные материалы с наибольшей проницаемостью <math>\mu</math> в слабых полях. Влияние химического состава на магнитные свойства, кристаллическая структура, физические основы термомагнитной обработки, закалки, отжига. Основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i></p>
<p>Магнитные материалы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры. Магнитные шунты.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i></p>
<p>Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Особенности технологического получения. Перспективы развития.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i></p>
<p>Полупроводниковые высокопроницаемые магнитные материалы. Магнитомягкие ферриты.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение</i></p>

Классификация ферритов по техническому назначению. Химический состав, кристаллическая структура, особенности магнитной структуры. Особенности поведения намагниченности и электросопротивления в зависимости от температуры. Перспективы повышения качества.	<i>занятия</i>	<i>задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные полупроводниковые материалы с повышенной стабильностью магнитной проницаемости при изменении поля, частоты и температуры. Магнитодиэлектрики. Особенности структуры и методов получения. Температурный коэффициент стабильности магнитной проницаемости.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса и большой скоростью перемагничивания (ППГ-ферриты, тонкие магнитные пленки). Основные магнитные и технические характеристики. Получение тонких магнитных пленок. Особенности их доменной структуры, магнитной анизотропии.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные материалы с цилиндрическими магнитными доменами. Ортоферриты, ферриты-гранаты, гексаферриты. Особенности доменной структуры и практических применений.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные материалы с умеренными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии. Электротехнические стали. Физические условия получения высококоэрцитивного состояния. Особенности структуры, влияние основных примесей на магнитные свойства.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии (материалы типа ЮНДК). Химический состав, основные магнитные свойства, гетерогенная структура – причина достижения высококоэрцитивного состояния. Маркировка по ГОСТ.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитотвердые ферриты. Кристаллическая структура и основные магнитные характеристики. Способы повышения температурной стабильности магнитной индукции.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>
Магнитные материалы с повышенной плотностью записи информации. Особенности получения материалов для магнитных лент и дисков. Физические принципы записи и считывания	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>

информации.		
Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Со. Особенности кристаллической структуры и магнитные свойства. Особенности гетерогенной структуры сплавов (R,Zr)(Co,Cu,Fe) <sub>z</sub> как неотъемлемого признака высококоэрцитивного состояния. Получение постоянных магнитов методами литья и порошковой металлургии. Основные механизмы магнитного гистерезиса.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция Самостоятельная работа</i>
Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Fe-V. Особенности кристаллической структуры, основные магнитные характеристики. Получение постоянных магнитов методами порошковой металлургии и скоростной закалки. Особенности микроструктуры, основной механизм намагничивания и перемагничивания. Перспективы повышения магнитных характеристик.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция Самостоятельная работа</i>
Аморфные магнитные материалы. Их преимущества и недостатки по сравнению с кристаллическими аналогичных составов. Способы получения аморфных материалов. Физические основы термомагнитной записи информации и контактной печати с применением аморфных пленок.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Традиционная лекция</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие.

УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи.

УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов.

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

**Задание: Решить задачу**

1. Сравнить потери на вихревые токи в листе электротехнической стали с 3% Si толщиной  $d=0,35$  мм при значении индукции 1,5 Тл и различных частотах перемагничивающего поля 50, 100, 400 Гц. Сделать вывод о зависимости потерь от частоты перемагничивания.

2. Вычислить глубину проникновения переменного магнитного поля в аморфную ленту сплава 24 КСР, магнитная проницаемость которой  $\mu_m = 1500$ ,  $\rho = 1,25$  мкОм м при частоте 1000 Гц.

3. Вычислить потери на вихревые токи при перемагничивании железной проволоки с радиусом  $r=1$  мм и удельным сопротивлением  $\rho = 107$  Ом м. Проволока перемагничивается в поле с частотой 50 Гц.

**Способ аттестации: письменный**

**Критерии оценки:**

1. Не использует базовые знания в области физики магнитных явлений и магнитных материалов при решении конкретных задач.
2. Использует лишь ограниченные знания физических закономерностей.
3. Удовлетворительно использует знания в области физики магнитных явлений и магнитных материалов, но не всегда может получить окончательный результат.
4. Умеет хорошо использовать знания в области физики магнитных явлений и магнитных материалов, допускает ошибки.
5. Свободно использует основные физические представления и законы, получает правильный результат.

**ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

ПК-4.2. Применяет методы анализа научно-технической информации.

### **Задание:**

1. Определить по марке материала его химический состав (принадлежность к одной из групп) и основные магнитные характеристики: 3411, 1211, 2412, 1212, 50 НХС, 79 НМ, Н88М9, 1000 НЦ, 600 НЦ, 4000 НН, 2000 НН, 150 ВЧ, 2,1 ВТ, 150 КГ, ВЧ 32, ЕХ5К5, ЕХ9К15М2, ЮНД4, ЮНДК18, КС37.
2. По кривым намагничивания железа построить зависимости магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля.

**Способ аттестации:** письменный

### **Критерии оценки:**

1. Не знает классификации основных магнитных материалов, основных понятий физики магнитных явлений.
2. Знает лишь отдельные понятия физики магнитных явлений, некоторые определения магнитных параметров материалов.
3. Удовлетворительно знает основные положения физики магнитных явлений и магнитных материалов, допускает отдельные ошибки.
4. Хорошо знает основные положения физики магнитных явлений и магнитных материалов.
5. Исчерпывающе знает основные положения физики магнитных явлений и магнитных материалов.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) основная литература:

1. Аникина В. И. Основы кристаллографии и дефекты кристаллического строения: учебное пособие. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. - 148 с.  
Электронный ресурс. Режим доступа:  
<http://www.znaniium.com/bookread.php?book=441367>

#### б) дополнительная литература:

1. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с. - Электронный ресурс.



Режим доступа: [http://www.znanium.com/bookread.php?book=3634212\)](http://www.znanium.com/bookread.php?book=3634212)

Программное обеспечение

- а) Лицензионное программное обеспечение
- б) Свободно распространяемое программное обеспечение
- 3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Научная библиотека ТвГУ – <http://library.tversu.ru>;

Сервер доступа к модульной объектно-ориентированной динамической учебной среде Moodle – <http://moodle.tversu.ru>;

Сервер обеспечения дистанционного обучения и проведения Web-конференций Mirapolis Virtual Room – <http://mvr.tversu.ru>;

Репозиторий научных публикаций ТвГУ – <http://eprints.tversu.ru>.

Внешние информационные ресурсы:

Научная электронная библиотека eLibrary.ru;

Электронная база данных диссертаций РГБ;

База данных Реферативных журналов ВИНТИ;

Полнотекстовый доступ к журналам и книгам издательства Springer Verlag;

Полнотекстовый доступ к отдельным журналам и книгам Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers);

Реферативная база Inspec (доступ к рефератам и полным текстам монографий и научных статей в области физики, электротехники, электроники, коммуникаций, компьютерных наук и информационных технологий).

**VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

## Вопросы для самоподготовки

1. Кривая намагничивания. Намагниченность насыщения. Индукция, магнитная проницаемость, восприимчивость. Виды магнитной проницаемости и их определение.

2. Полупроводниковые высокопроницаемые магнитные материалы. Магнитомягкие ферриты. Химический состав, кристаллическая структура, особенности магнитной структуры. Особенности поведения намагниченности и электросопротивления в зависимости от температуры. Перспективы повышения качества.

3. Петля магнитного гистерезиса. Основные параметры петли гистерезиса. Предельная петля гистерезиса и частные петли, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.

4. Магнитные материалы с наибольшей проницаемостью в слабых полях. Влияние химического состава на магнитные свойства, кристаллическую структуру, физические основы термомагнитной обработки, закалки, отжига. Основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.

5. Высокопроницаемые магнитные материалы с малыми потерями при перемагничивании с частотой 50 Гц (кремнистое железо). Химический состав, влияние содержания кремния на основные магнитные свойства. Кристаллическая структура, кристаллическая текстура. Влияние субструктуры и пластической деформации на коэрцитивную силу.

6. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения  $(BH)_{max}$ . Почему можно использовать величину  $(BH)_{max}$  для оценки энергии магнитного материала. Чему равна энергия постоянного магнита?

7. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса и большой скоростью перемагничивания (ППГ - ферриты, тонкие магнитные пленки). Получение тонких магнитных пленок. Особенности их доменной структуры, анизотропии.

8. Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость, физический смысл составляющих магнитной проницаемости.

9. Магнитомягкие материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании в полях звуковых частот (400-20000 Гц). Влияние химического состава на магнитные свойства, зависимость потерь на перемагничивание и коэрцитивной силы от толщины листа. Перспективы повышения качества.

10. Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы классификации.

11. Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Перспективы развития.

12. Основные факторы, влияющие на магнитные и электрические свойства магнитных материалов: химический состав, кристаллическая структура, атомное упорядочение, дефекты кристаллической решетки. Структурно чувствительные и структурно нечувствительные магнитные свойства.

13. Технология изготовления кремнистого железа. Термическая обработка и влияние ее режимов на магнитные характеристики. Термомагнитная обработка. Особенности доменной структуры. Классификация сталей по ГОСТу и основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.

14. Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения: железо, железокобальтовые сплавы. Химический состав. Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания. Перспективы повышения качества.

15. Магнитные материалы с постоянством проницаемости в слабых полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры.

16. Магнитотвердые материалы с умеренными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии.

17. Магнитные материалы с ЦМД (ортоферриты, ферриты-гранаты, гексаферриты).

18. Физические условия высококоэрцитивного состояния.
19. Магнитные материалы типа РЗМ-Со. Особенности кристаллической структуры и магнитные свойства.
20. Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии (материалы типа ЮНДК).
21. Магнитотвердые ферриты. Кристаллическая структура и основные магнитные характеристики.
22. Основные требования, предъявляемые к сплавам для постоянных магнитов. Классификация магнитотвердых материалов. Задачи физики высококоэрцитивного состояния.
23. Особенности технологии получения и магнитных характеристик сплавов на основе редкоземельных металлов и кобальта.
24. Магнитотвердые материалы с большим значением коэрцитивной силы и повышенной магнитной энергией (ферриты кобальта, стронция, бария, сплавы Pt-Co).
25. Особенности магнитных характеристик магнитотвердых материалов на основе сплавов Nd-Fe-B. Перспективы повышения качества.
26. Динамическая петля гистерезиса и кривая намагничивания. Способы их измерения.
27. Основные особенности свойств аморфных магнитных материалов по сравнению с кристаллическими материалами.
28. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные свойства магнитных материалов.
29. Основные виды магнитной проницаемости ферромагнетиков и их определение.
30. Тонкие магнитные пленки. Особенности их магнитных свойств и основные способы их получения. Характерные особенности доменной структуры тонких пленок.
31. Физические основы записи и воспроизведения звука на магнитной ленте

## VII. Материально-техническое обеспечение

<p>Учебно-научная лаборатория магнитных и электрических измерений № 40 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лабораторные электронные весы с гирей M-ER 122ACF JR-600.01 LCD</li> <li>2. Вольтметр АКИП-2101</li> <li>3. Вольтметр АКИП-2101</li> <li>4. Источник питания с опцией интерфейса USB АКИП-1141</li> <li>5. Источник питания с опцией интерфейса USB АКИП-1141</li> <li>6. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S</li> <li>7. Компьютер с монитором 940N Core 6550 Vox/Asus P5KSE/2*1024DDRII/160/7200/DVDR W/</li> <li>8. Экран настенный ScreenMedia 153*203</li> <li>9. Мультиметр цифровой высокой точности UT804</li> <li>10. Установка импульсного намагничивания "Мишень"</li> <li>11. Мультиметр цифровой высокой точности UT804 (2 шт.)</li> <li>12. Электромагнит (3 шт.)</li> <li>13. Электромагнит ЭМ-1</li> <li>14. Осциллограф С-1-68</li> <li>15. Ферротестер</li> <li>16. Блок питания Б5-9</li> <li>17. Вольтметр В7-27А (2 шт.)</li> <li>18. Генератор ГЗ-102 (3 шт.)</li> <li>19. Источник питания Б-5-8 (2 шт.)</li> <li>20. Осциллограф С-1-65</li> <li>21. Генератор ГЗ-34 (2 шт.)</li> <li>22. Блок питания Б-5-21</li> <li>23. Микровеберметр Ф-190</li> <li>24. Проектор BenQ MP777</li> <li>25. Блок питания</li> <li>26. Вольтметр В-7-23</li> <li>27. Генератор ГЗ-109</li> <li>28. Генератор Ф-578</li> <li>29. Источник питания Б-5-21</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Kaspersky Endpoint Security для Windows Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Почта Outlook – бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»; NI MAX Measurement &amp; Automation Explorer – бесплатно Microsoft Visual Studio 2019 - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Mozilla Firefox -бесплатно</p>
--	---	--

## VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			