

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 12.07.2024 11:20:03  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«21»

мая

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

## **Физика магнитных материалов**

Закреплена за кафедрой: **Физики конденсированного состояния**

Направление подготовки: **03.03.03 Радиофизика**

Направленность (профиль): **Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные)**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **6**

Программу составил(и):

*канд. физ.-мат. наук, доц., Семенова Е.М.*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

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.

### Задачи:

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 воздействию 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

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Дифференциальные уравнения

Электродинамика

Молекулярная физика

Электричество и магнетизм

Атомная физика

Методы математической физики

Физика конденсированного состояния вещества

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Резонансные методы исследования вещества

Основы электромагнитной и радиационной безопасности

Преддипломная практика

Научно-исследовательская работа

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	56
самостоятельная работа	51
часов на контроль	27

#### 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

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

#### 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	6
курсовые работы	6

#### 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

#### 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Введение					
1.1	Физика магнитных материалов - один из важнейших разделов современной физики твердого тела. Применение магнитных материалов в различных отраслях техники.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.6	
	Раздел 2. Характеристики магнитных материалов					

2.1	Основные характеристики материалов намагничивания. Намагниченность, индукция, проницаемость, восприимчивость. Петля гистерезиса. Основные параметры петли гистерезиса. Предельная и частные петли гистерезиса, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.	магнитные магнитных Кривая насыщения, магнитная	Лек	6	2		
2.2	Основные характеристики материалов намагничивания. Намагниченность, индукция, проницаемость, восприимчивость. Петля гистерезиса. Основные параметры петли гистерезиса. Предельная и частные петли гистерезиса, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.	магнитные магнитных Кривая насыщения, магнитная	Пр	6	4		
2.3	Выполнение самостоятельного задания по определению параметров петли гистерезиса		Ср	6	6		
	Раздел 3. Взаимодействия и факторы, определяющие магнитные свойства материала						

3.1	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.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.3 Л2.6	
3.2	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.	Пр	6	4		
3.3	Поиск информации, систематизация данных и подготовка краткого обзора о магнитных свойствах заданного магнитного материала	Ср	6	6		
	Раздел 4. Характеристики постоянных магнитов					

4.1	Энергия постоянного магнита. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения (ВН)тах и его использование для оценки энергии магнитного материала. Рабочая точка постоянного магнита. Способы получения размагниченного состояния.	Лек	6	2	Л1.4Л2.4 Л2.5 Л2.7	
4.2	Энергия постоянного магнита. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения (ВН)тах и его использование для оценки энергии магнитного материала. Рабочая точка постоянного магнита. Способы получения размагниченного состояния.	Пр	6	4		
4.3	Сравнительный анализ параметров постоянных магнитов разных типов	Ср	6	6		
	Раздел 5. Магнитные свойства в переменных магнитных полях					
5.1	Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость. Физический смысл составляющих магнитной проницаемости.	Лек	6	4	Л1.4 Л1.5Л2.4 Л2.5 Л2.6	
5.2	Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость. Физический смысл составляющих магнитной проницаемости.	Пр	6	4		
5.3	Описание конкретных магнитных материалов для высоко- и низкочастотных применений	Ср	6	6		
	Раздел 6. Классификация магнитных материалов					

6.1	Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.	Лек	6	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5	
6.2	Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.	Пр	6	4		
6.3	Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.	Ср	6	4		
	Раздел 7. Магнитные материалы и их применение					
7.1	Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения (железо, железокобальтовые сплавы). Химический состав. Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания, индукция, электросопротивление. Перспективы повышения качества.	Лек	6	2		

7.2	<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>	Лек	6	2		
7.3	<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>	Лек	6	2		
7.4	<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>	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.4 Л2.5	



7.5	Магнитные материалы с наибольшей проницаемостью в слабых полях. Влияние химического состава на магнитные свойства, кристаллическая структура, физические основы термомагнитной обработки, закалки, отжига. Основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.	Ср	6	5		
7.6	Магнитные материалы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры. Магнитные шунты.	Лек	6	2		
7.7	Магнитные материалы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры. Магнитные шунты.	Пр	6	2		
7.8	Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Особенности технологического получения. Перспективы развития.	Лек	6	2		
7.9	Полупроводниковые 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.	Ср	6	8		

7.10	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.	Ср	6	6		
7.11	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.	Пр	6	2		
7.12	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.	Ср	6	4		
7.13	Магнитные материалы с цилиндрическими магнитными доменами. Ортоферриты, ферриты-гранаты, гексаферриты. Особенности доменной структуры и практических применений.	Пр	6	2		

7.14	Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Co. 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. Магнитные материалы на основе сплавов РЗМ-Fe-B. Особенности кристаллической структуры, основные магнитные характеристики.	Лек	6	4		
	Раздел 8. Экзамен					
8.1	Подготовка к экзамену	Экзамен	6	27		

### Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Информационные (цифровые) технологии
3	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

см. Приложение

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См. приложение

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

Модуль 1

Контрольная работа - 10 баллов

Самостоятельная работа с последующим представлением результатов в форме доклада на практике - 20 баллов

Модуль 2

Контрольная работа - 10 баллов

Самостоятельная работа с последующим представлением результатов в форме доклада на практике - 20 баллов

Экзамен - 40 баллов

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Гречишкин, Иванова А. И., Зигерт, Малышкина, Сошин, Магнитные свойства и доменная структура сплавов Гейслера, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5467135">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5467135</a>
Л1.2	Карпенков, Карпенков, Дунаева, Ховайло, Каплунов, Зонные ферро- и ферримагнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5277274">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5277274</a>
Л1.3	Карпенков, Карпенков, Ракунов, Ховайло, Каплунов, Теория зонного магнетизма. Зонные парамагнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5277273">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5277273</a>
Л1.4	Кудреватых, Волегов, Физика металлов. Редкоземельные металлы и их соединения, Москва: Юрайт, 2021, ISBN: 978-5-9916-9977-8, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/472205">https://urait.ru/bcode/472205</a>
Л1.5	Савельев, Электричество и магнетизм, Москва: АСТ, 2008, ISBN: 978-5-17-003760-5 (кн. 2), URL: <a href="http://texts.lib.tversu.ru/texts/1000579ogl.pdf">http://texts.lib.tversu.ru/texts/1000579ogl.pdf</a>

#### 9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Мирошкин В. П., Гареев К. Г., Магнитные материалы и приборы. Практикум, Санкт-Петербург: Лань, 2024, ISBN: 978-5-507-48499-7, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/385799">https://e.lanbook.com/book/385799</a>
Л2.2	Бялик А. Д., Дикарева Р. П., Романова Т. С., Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы, Новосибирск: НГТУ, 2017, ISBN: 978-5-7782-3222-8, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118106">https://e.lanbook.com/book/118106</a>
Л2.3	Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П., Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники, Санкт-Петербург: Лань, 2021, ISBN: 978-5-8114-2002-5, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/168894">https://e.lanbook.com/book/168894</a>
Л2.4	Белов К. П., Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнитных металлах, Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951, ISBN: , URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=116168">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=116168</a>

Л2.5	Акулов Н. С., Ферромагнетизм, Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1939, ISBN: , URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=132729">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=132729</a>
Л2.6	Преображенский А. А., Магнитные материалы, Москва: Высшая школа, 1955, ISBN: 978-5-4458-4846-2, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=220953">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=220953</a>
Л2.7	Сандомирский С. Г., Расчет и анализ размагничивающего фактора ферромагнитных тел, Минск: Белорусская наука, 2015, ISBN: 978-985-08-1862-1, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=436596">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=436596</a>

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice
5	Mozilla Firefox
6	Origin 8.1 Sr2

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС IPRbooks
2	ЭБС «Лань»
3	ЭБС BOOK.ru
4	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
5	Репозиторий ТвГУ
6	Журналы American Institute of Physics (AIP)
7	Журналы издательства Taylor&Francis
8	БД Scopus
9	БД Web of Science
10	Архивы журналов издательства Nature
11	Архивы журналов издательства The Institute of Physics

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-40	комплект учебной мебели, вольтмет, экран настенный, контроллер, сканеры для вольтметра, двухфазные Lock-in усилители, компьютеры, установка "Мишень"
3-38	комплект учебной мебели, печь трубчатая, мониторы, проектор, фотомикроскоп, вакуумные посты, весы лабораторные, коммутатор,

## 11. 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

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

##### **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.

##### **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.

Вопросы для подготовки

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-Со).
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