

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 21.07.2025 15:50:26
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика магнитных явлений

Закреплена за
кафедрой:

Физики конденсированного состояния

Направление
подготовки:

03.03.02 Физика

Направленность
(профиль):

**Физика, технологии и компьютерное моделирование
функциональных материалов**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

6

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, зав.кафедрой, Карпенков Алексей Юрьевич

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся базовых представлений о фундаментальных основах магнетизма, природы магнетизма различных материалов, физических характеристик и законов, описывающих магнитные состояния и свойства магнетиков.

Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение классических теорий ферро-, антиферро-, ферримагнетизма и парамагнетизма Ланжевена; изучение основных типов взаимодействий в магнетиках (обменного, магнитокристаллического, магнитостатического, магнитоупругого, с внешним магнитным полем) и влияния каждого из них на основные магнитные свойства магнетиков; магнетокалорического эффекта, ферромагнитной аномалии теплоемкости; изучение физических принципов, лежащих в основе термодинамически равновесного распределения векторов спонтанной намагниченности в магнетиках, особенностей формирования равновесной доменной структуры и основных типах доменных границ.
- освоение методов анализа и решения базовых и оригинальных задач физики магнитных явлений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

Электричество и магнетизм

Электродинамика

Квантовая механика

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

Научно-исследовательская работа

Микромагнетизм

Доменная структура магнетиков

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
аудиторные занятия	56
самостоятельная работа	19
часов на контроль	27

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

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

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

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	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. Физика магнетиков					
1.1	Краткий исторический очерк развития учения о магнетизме.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.2	Роль русских ученых в развитии магнетизма.	Ср	6	5	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.3	Основные понятия и системы единиц в физике магнитных явлений	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.4	Системы единиц в физике магнитных явлений	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.5	Виды магнетиков. Понятие магнитной восприимчивости и проницаемости	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.6	Петля гистерезиса. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2	
1.7	Расчет 13 параметров магнитного материала из петли гистерезиса в системе СГС	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.8	Расчет 13 параметров магнитного материала из петли гистерезиса в Международной системе единиц СИ	Ср	6	6	Л1.1 Л1.2	
1.9	Источники магнитно поля	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.10	Расчет магнитного поля соленоида	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.11	Элементарные носители магнетизма	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.12	Определение спинового, орбитального и полного магнитного моментов 3d-металлов	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.13	Определение спинового, орбитального и полного магнитного моментов 4f-металлов	Пр	6	4	Л1.1 Л1.2	
1.14	Магнетизм атомных ядер	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	

1.15	Диамагнетизм	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2	
1.16	Парамагнетизм	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2Л2.2	
1.17	Магнетизм электронного газа	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.18	Термодинамика магнитных явлений	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2	
1.19	Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля Вейсса.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2Л2.1	
1.20	Полуклассическое описание обменного взаимодействия. Обменная энергия. Обменный параметр.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.21	Оценка обменной энергии, ее объемной плотности и обменный параметр по температуре Кюри для 3d и 4f металлов	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.22	Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.23	Теория ферримагнетизма Нееля. Магнитные подрешетки. Основные типы температурных зависимостей намагниченности ферримагнетиков. Точка компенсации.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.24	Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристаллической анизотропии.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.25	Природа магнитоупругого взаимодействия. Магнитоупругая энергия. Магнитострикция.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.2	
1.26	Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков.	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.27	Определение поверхностной плотности магнитостатической энергии магнитных образцов разной формы	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.28	Измерение кривых намагничивания высокоанизотропных магнетиков вдоль легкой и трудной осей намагничивания на вибрационном магнитометре.	Пр	6	4	Л1.1 Л1.2	
1.29	Магнитная доменная структура	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2	

1.30	Экспериментальные методы исследования доменной структуры ферро- и ферримагнетиков.	Пр	6	2	Л1.1 Л1.2	
1.31	Наблюдение и регистрация доменной структуры магнетиков с помощью металлографического микроскопа.	Пр	6	4	Л1.1 Л1.2	
1.32	Обработка изображений доменной структуры с целью получения количественных параметров.	Ср	6	8	Л1.1 Л1.2	
1.33	Экзамен	Экзамен	6	27	Л1.1 Л1.2	

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Методы группового решения творческих задач (метод Дельфи, метод 6–6, метод развивающей кооперации, мозговой штурм (метод генерации идей), нетворкинг и т.д.)

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение 1

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См. Приложение 1

8.3. Требования к рейтинг-контролю

См. Приложение 1

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

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Гуфан, Гуфан, Физика магнитных явлений, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2020, ISBN: 978-5-9275-3552-1, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=415229
Л1.2	Боровик Е. С., Еременко В. В., Мильнер А. С., Лекции по магнетизму, Москва: Физматлит, 2005, ISBN: 978-5-9221-0577-9, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Карпенков, Карпенков, Дунаева, Ховайло, Каплунов, Зонные ферро- и ферримангнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=5277274
Л2.2	Карпенков, Карпенков, Ракунов, Ховайло, Каплунов, Теория зонного магнетизма. Зонные парамагнетики, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=5277273

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Google Chrome
3	Adobe Acrobat Reader

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС IPRbooks
4	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
5	ЭБС «ЮРАИТ»
6	ЭБС «ZNANIUM.COM»
7	ЭБС «Лань»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-40	комплект учебной мебели, вольтметр, экран настенный, контроллер, сканеры для вольтметра, двухфазные Lock-in усилители, компьютеры, установка "Мишень"

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Контрольные вопросы для экзамена

1. Краткий исторический очерк развития учения о магнетизме. Роль русских ученых в развитии магнетизма. Гипотеза Ампера о существовании микроскопических круговых токов в атоме. Магнитный момент кругового тока. Гипотеза Вейсса о существовании доменов в ферромагнетиках.
2. Спиновый и орбитальный магнитные и механические моменты электронов в атоме. Спиновый и орбитальный g-факторы, гиромангнитная аномалия спина. Магнетон Бора.
3. Полный магнитный момент электронной оболочки. Принцип Паули. Правила Хунда. Фактор Ланде.
4. Векторная модель атома для случаев L-S и j-j связи. Принцип заполнения электронных оболочек атомов в периодической системе. Строение электронных оболочек атомов 3d-переходных и редкоземельных металлов.
5. Термодинамика магнитных явлений. Основные термодинамические соотношения. Уравнение магнитного состояния.
6. Теория молекулярного поля Вейсса. Достоинства и недостатки классического

подхода для объяснения природы ферромагнетизма.

7. Термодинамика магнитных явлений. Теплоемкость при постоянной намагниченности и постоянном магнитном поле. Ферромагнитная аномалия теплоемкости.

8. Магнитные моменты протона и нейтрона. Аномалии ядерного магнетизма и их качественное объяснение. Магнитный момент атомного ядра. Гиромагнитное отношение для ядра. Полуэмпирические правила для определения спина различных ядер. Ядерный магнетон.

9. Энергия намагниченного тела. Работа намагничивания. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

10. Явление магнитокристаллической анизотропии. Физическая природа магнитокристаллической анизотропии. Представление плотности энергии МКА для кристаллов с различными типами кристаллических решеток. Константы анизотропии.

11. Ферромагнетики, диамагнетики, парамагнетики. Основные критерии различия веществ по степени магнитного порядка.

12. Полуклассическое описание обменного взаимодействия. Обменная энергия. Обменный параметр.

13. Понятие магнитного домена и доменной структуры. Скачки Баркгаузена, как экспериментальное доказательство существования доменов. Теория доменной структуры в магнитоупорядоченных кристаллах по Ландау и Лившицу.

14. Магнитостатическая энергия. Собственное размагничивающее поле магнетиков. Размагничивающий фактор.

15. Теория ферромагнетизма Нееля. Магнитные подрешетки. Основные типы температурных зависимостей намагниченности ферромагнетиков. Точка компенсации.

16. Энергия магнетика во внешнем магнитном поле. Физическая природа изменения магнитного состояния при изменении внешнего магнитного поля. Размагниченное состояние и состояние магнитного насыщения.

17. Парамагнетизм систем слабовзаимодействующих ионов (классическая теория парамагнетизма Ланжевена). Закон Кюри.

18. Природа магнитоупругого взаимодействия. Магнитоупругая энергия. Магнитострикция и константы магнитострикции.

19. Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Понятие асимптотической точки Кюри. Закон Кюри-Вейсса для антиферромагнетиков.

20. Температурные зависимости магнитной восприимчивости в ферро-, ферри-, антиферромагнетиках и парамагнетиках и их объяснение в рамках классических теорий.

21. Поле анизотропии и способы его определения. Экспериментальные методы определения констант магнитокристаллической анизотропии.

22. Основные типы магнитной анизотропии. Физические причины, обуславливающие их существование.

23. Виды магнитных структур: коллинеарные ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Примеры веществ с указанными структурами. Метод магнитной нейтронографии.

24. Природа сверхтонкого взаимодействия в атоме. Энергия сверхтонкого взаимодействия. Экспериментальное подтверждение существования сверхтонкого взаимодействия.

25. Учет собственных размагничивающих полей образцов конечной формы при магнитных измерениях. «Сдвиговая коррекция» кривых намагничивания и петель гистерезиса.

26. Термодинамика магнитных явлений. Магнетокалорический эффект, выраженный через изменение намагниченности и через изменение внешнего магнитного поля. Практическое использование магнетокалорического эффекта.

27. Понятие магнитного домена и доменной структуры. Теория доменной структуры в магнитоупорядоченных кристаллах по Ландау и Лившицу.

28. Доменные границы Блоха. Эффективная ширина и энергия блоховских доменных границ для одноосного магнетика.