

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук

СОГЛАСОВАНО:
зам. директора института
по научной работе
доктор физ.-мат. наук

 М.А. Короткин

« 01 » сентября 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института,
академик РАН

 Н.В. Мушников

« 02 » сентября 2025 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
1.3.12 Физика магнитных явлений
по физико-математическим наукам

Специализация: **Экспериментальные методы в физике
магнитных явлений, магнитные материалы
их применение и методы получения**

Екатеринбург
2025

1. Экспериментальные методы в магнетизме

Методы получения магнитных полей: соленоиды (сверхпроводящие и импульсные), электромагниты, постоянные магниты, гибридные магниты).

Методы измерения напряженности магнитного поля.

Методы измерения намагниченности. Индукционная магнитометрия. Сквид-магнитометрия. Методы определения температур Кюри и Нееля.

Методы исследования магнитных структур. Магнитная нейтронография. Синхротронное излучение в физике магнитных явлений.

Методы определения констант магнитокристаллической анизотропии и магнитострикции. Методы определения магнитных потерь.

Резонансные методы: ферромагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс, спиновое эхо, эффект Мёссбауэра.

Магнитооптическая магнитометрия. Методы исследования доменной структуры (порошковые фигуры, эффекты Керра и Фарадея, электронная микроскопия).

2. Основы магнитостатики и доменная структура ферромагнетиков

Магнитные вещества и намагниченность. Размагничивающее поле и размагничивающий фактор. Элементы расчета магнитных цепей.

Основные типы взаимодействий в ферромагнетиках.

Физические причины образования доменной структуры. Распределение спонтанной намагниченности в образце. Основные типы доменных структур и доменных стенок в одноосных и многоосных кристаллах и тонких пленках. Граничная энергия и ширина доменных границ. Замыкающие домены и разветвленные поверхностные доменные структуры.

Магнитная структура малых ферромагнитных частиц. Однодоменность. Особенности доменной структуры тонких магнитных пленок. Цилиндрические магнитные домены и основы их использования.

3. Процессы намагничивания и перемагничивания

Однородное и неоднородное вращение векторов спонтанной намагниченности в доменах. Процессы смещения междоменных границ. Кривая намагничивания. Парапроцесс.

Размагничивание и перемагничивание. Зародышеобразование и рост зародышей перемагничивания. Гистерезис и его причины. Магнитные свойства мелких частиц.

Основные характеристики магнитных материалов: начальная восприимчивость, максимальная восприимчивость, проницаемость, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила, магнитострикция.

Поведение ферромагнетика в переменном электромагнитном поле. Основные механизмы электромагнитных потерь.

4. Структура вещества и магнитные свойства

Магнитные свойства 3d-металлов и их сплавов. Магнитные свойства редкоземельных металлов. Магнетизм соединений 3d-металлов с редкоземельными элементами. Природа магнитокристаллической анизотропии в 3d-металлах и редкоземельных металлах.

Магнитные свойства ферритов со структурами шпинели и граната. Ортоферриты. Гексагональные ферриты.

Магнитные свойства аморфных веществ: сплавов на основе 3d-металлов и сплавов переходных металлов с редкоземельными элементами.

5. Магнитные материалы

Основные требования к магнитным материалам и их классификация.

Магнитомягкие материалы: железо-кремнистые сплавы, высокопроницаемые сплавы, сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса, сплавы с высокой индукцией насыщения, аморфные сплавы типа металл-металлоид. Роль кристаллической и магнитной текстуры в мягких магнитных

материалах. Наведенная магнитная анизотропия. Механизмы термомагнитной термомеханической обработок. Магнитострикционные сплавы.

Магнито жесткие материалы. Физика высококоэрцитивного состояния. Литые сплавы на основе системы железо-никель-алюминий-кобальт. Деформируемые сплавы. Роль кристаллической и магнитной текстуры в жестких магнитных материалах. Механизмы термомеханической и термомагнитной обработок.

Магнито жесткие ферриты. Высококоэрцитивные материалы на основе соединений редкоземельных металлов с 3d-металлами.

6. Магнитные материалы с особыми свойствами

Материалы с эффектом магнитной памяти формы и их применение.

Магнитные пленки и многослойные пленочные структуры и их применение.

Магнитные наночастицы, технологии получения и применение.

Магнитные материалы для постоянных магнитов и основные технологии получения постоянных магнитов.

Магнитомягкие материалы для электротехнических приложений и технологии их получения.

Магнитные материалы для высокочастотных приложений и технологии их получения.

Магнитные материалы для магнитокалорических приложений, включая получение сверхнизких температур.

Аморфные и нанокристаллические магнитные материалы. Способы получения и области применения.

Магнитострикционные материалы и их применение.

Применение машинного обучения, искусственного интеллекта, *ab-initio* расчетов для поиска новых магнитных материалов с заданными магнитными свойствами.

Литература

1. **Барьяхтар В.Г., Горобец Ю.И.**
Цилиндрические магнитные домены и их решетки/ АН УССР.Ин-т металлофизики.М-во высш.и сред.спец.обр.УССР. Донецк.гос.ун-т.
- Киев: Наукова думка, 1988. - 168с. ISBN 5-12-000832-1
2. **Бозорт Р.**
Ферромагнетизм / Пер.с англ.; Под ред.Е.И.Кондорского и Б.Г.Лившица.
- М.: Изд-во иностр.лит., 1956. - 784 с.: ил. - Пер.изд.: Ferromagnetism/
R.Vozorth(Toronto ets.,1951). - Библиогр.: с.700-758.
3. **Вонсовский Сергей Васильевич**
Магнетизм. Магнитные свойства диа-,пара-,ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. - М.: Наука, 1971. - 1032 с. : черт. - Библиогр.: с.1020-1026.
4. **Вонсовский Сергей Васильевич, Шур Яков Савельевич**
Ферромагнетизм. - М.-Л.: Гостехиздат, 1948. - 816 с.: ил., черт.
5. **Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали.**
Изд. 2-е, перераб. - М., «Энергия», 1974. – 237 с.
6. **Лисовский, Ф. В.**
Физика цилиндрических магнитных доменов – М.: Советское радио,
1979. – 192 с.
7. **Магнитные свойства металлов и сплавов:Семинар по магнитным свойствам металлов и сплавов(25-26 окт.1958г. Кливленд)/Под ред. С.В.Вонсовского; Пер. с англ. Л.А.Шубиной.** - М.: Изд-во иностр. лит., 1961. - 446 с.
8. **Мишин Д.Д.**
Магнитные материалы: Учеб. пособие для физ.спец.вузов. - М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.: ил.
9. **Постоянные магниты: Справочник/Под ред.Ю.М.Пятина.- Изд.2-е. доп. и перераб.-** М.: Энергия, 1980. - 486 с.: ил.
10. **Преображенский А.А.**
Магнитные материалы и элементы: Учеб. для вузов по спец."Полупроводники и диэлектрики". - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 335 с.:ил.
11. **Стенли Г.**
Фазовые переходы и критические явления/ Пер.с англ.А.И.Мицека и Т.С.Шубиной; Под ред. С.В.Вонсовского. - М.: Мир, 1973. - 473 с. : ил.
- Библиогр.: с.390-401.

Пер.изд.: Introduction to phase transitions and critical phenomena / Н. Eugene Stanley (Oxford, 1971)

12. **Тейлор К.**

Интерметаллические соединения редкоземельных металлов/ Пер. с англ. Л.А.Шубиной и Т.С.Шубиной; Под ред. С.В.Вонсовского. - М.: Мир, 1974. - 221с.:черт. - ("Новости физики твердого тела". Вып.3).

13. **Тикадзуми С.**

Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения/ Пер. с яп.А.И.Леонова; Под ред. Р.В.Писарева. - М.: Мир, 1987. - 420с.:ил.

14. **Физика ферромагнитных областей: Сборник статей/ Пер. с англ. и фр. Л.А.Шубиной; Под ред. С.В.Вонсовского. - М.: Изд-во иностр.лит., 1951. - 324 с.**

15. **Филиппов Б.Н.,Танкеев А.П.**

Динамические эффекты в ферромагнетиках с доменной структурой / Отв.ред. Г.Г.Талуц; АН СССР. УНЦ. Ин-т физики металлов. - М.: Наука, 1987. - 216 с.: ил.

16. **Хандрих К.,Кобе С.**

Аморфные ферро- и ферримагнетики/ Пер. с нем. Н.Н.Потапова. - М.: Мир, 1982. - 296с.:ил.

17. **Чечерников В.И.**

Магнитные измерения: Учеб.пособие для ун-тов. - Изд. 2-е,доп.и перераб. - М.: Изд-во Моск.ун-та, 1969. - 387 с.: ил.