

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра физики фазовых переходов

**Авторы-составители: Захлевных Александр Николаевич
Макаров Дмитрий Владимирович
Поперечный Игорь Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА

Код УМК 87933

Утверждено
Протокол №10
от «24» мая 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Феноменологическая теория магнетизма

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.04.01** Прикладные математика и физика
направленность Прикладные математика и физика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Феноменологическая теория магнетизма** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.04.01 Прикладные математика и физика (направленность : Прикладные математика и физика)

ОПК.3 Способен в рамках своей профессиональной деятельности анализировать, выявлять, формализовать и находить решения фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач

Индикаторы

ОПК.3.1 Анализирует, выявляет и формулирует задачи в рамках своей профессиональной деятельности

ПК.1 Способен ставить и решать научные задачи, проводить самостоятельные исследования и получать новые научные результаты

Индикаторы

ПК.1.3 Применяет теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретирует полученные результаты

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.04.01 Прикладные математика и физика (направленность: Прикладные математика и физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	5
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	12
Проведение практических занятий, семинаров	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (5 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Феноменологическая теория магнетизма. 1 уч. период

Рассматриваются методы и подходы феноменологической теории магнитных явлений.

Электро- и термодинамика магнитных явлений

Макроскопическое описание электромагнитного поля в среде. Уравнения Максвелла. Индукция, напряженность, поляризация, намагниченность. Основные характеристики магнитного состояния вещества. Намагниченность. Восприимчивость. Магнитная проницаемость. Размагничивающий фактор. Основные термодинамические соотношения.

Диамагнетики и парамагнетики. Парамагнитный газ во внешнем магнитном поле. Теория Ланжевена. Диамагнитная восприимчивость атомов и ионов.

Ферромагнетики

Молекулярное поле Вейсса. Полуфеноменологическая теория ферромагнетиков. Спонтанная намагниченность. Температура Кюри-Вейсса. Появление спонтанной намагниченности как фазовый переход. Теория Ландау фазового перехода второго рода ферромагнетик – парамагнетик. Магнитная восприимчивость. Закон Кюри-Вейсса.

Доменная структура ферромагнетиков

Явление магнитокристаллической анизотропии и ее энергия. Кривая намагничивания одноосного ферромагнетика. Энергия неоднородности. Образование доменов. Доменная структура ферромагнетиков. Стенки Блоха и Нееля. Энергия и толщина доменной стенки. Поверхностное натяжение доменной стенки. Размеры доменов. Техническая кривая намагничивания. Явление гистерезиса. Коэрцитивная сила. Постоянные магниты. Магнитомягкие и магнитожесткие ферромагнетики.

Магнито-упорядоченные вещества в переменных магнитных полях

Динамика намагниченности. Уравнение Ландау-Лифшица. Ферромагнитный резонанс. Тензор магнитной восприимчивости. Влияние доменной структуры, формы образца и магнитной анизотропии на спектр ферромагнитного резонанса.

Спиновые волны. Термодинамические величины ферромагнетика при низких температурах.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Байков Ю. А., Кузнецов В. М. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям/Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов.-Москва: Бинум. Лаборатория знаний, 2011, ISBN 978-5-9963-0290-1.-293.-Библиогр.: с. 288-293
2. Боков В. А. Физика магнетиков: учебное пособие для вузов/В. А. Боков.-Санкт-Петербург: Невский Диалект, 2002, ISBN 5-7940-0118-6.-272.-Библиогр.: с. 269-271
3. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.-Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005, ISBN 5-9221-0123-4.-656
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: учебное пособие : перевод с английского/Ч. Киттель ; пер.: А. А. Гусев, А. В. Пахнев ; ред. А. А. Гусев.-Москва: Наука, 1978.-792.
5. Дмитриев, А. В. Основы статистической физики материалов : учебник / А. В. Дмитриев. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. — 672 с. — ISBN 5-211-04830-X. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13062>

Дополнительная:

1. Мейлихов Е. З. Магнетизм. Основы теории: [учебное пособие]/Е. З. Мейлихов.- Долгопрудный: Интеллект, 2014, ISBN 978-5-91559-155-3.-184.
2. Кудреватых Н. В. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений: Учебное пособие/Кудреватых Н. В..-Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015, ISBN 978-5-7996-1604-5.-200. <http://www.iprbookshop.ru/69622.html>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-magnetism-and-magnetic-materials/open-access-articles>

Статьи открытого доступа из журнала "Journal of Magnetism and Magnetic Materials".

<https://elibrary.ru> Журнал "Физика металлов и металловедение"

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Феноменологическая теория магнетизма** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательной среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- 1) офисный пакет приложений (текстовый процессор, программа для подготовки электронных презентаций);
- 2) программа демонстрации видеоматериалов (проигрыватель);
- 3) приложение, позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов.

Дисциплина не предусматривает использование специального программного обеспечения.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Для проведения лекционных занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
2. Для проведения занятий семинарского типа (семинары, практические занятия) - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
3. Для проведения групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
4. Для проведения мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
5. Для самостоятельной работы - аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной

техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Феноменологическая теория магнетизма**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.3

Способен в рамках своей профессиональной деятельности анализировать, выявлять, формализовать и находить решения фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.3.1 Анализирует, выявляет и формулирует задачи в рамках своей профессиональной деятельности</p>	<p>ЗНАТЬ: основные положения метода среднего поля в теории магнетизма. УМЕТЬ: формулировать задачи расчёта высокочастотного магнитного отклика ферромагнитных материалов. ВЛАДЕТЬ: навыками анализа пространственного распределения вектора намагниченности в веществах с сильными магнитными свойствами.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные положения метода среднего поля в теории магнетизма. Не умеет формулировать задачи расчёта высокочастотного магнитного отклика ферромагнитных материалов. Не владеет навыками анализа пространственного распределения вектора намагниченности в веществах с сильными магнитными свойствами.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание основных положений метода среднего поля в теории магнетизма. Демонстрирует частично сформированное умение формулировать задачи расчёта высокочастотного магнитного отклика ферромагнитных материалов. Демонстрирует частично сформированное владение навыками анализа пространственного распределения вектора намагниченности в веществах с сильными магнитными свойствами.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание основных положений метода среднего поля в теории магнетизма. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать задачи расчёта высокочастотного магнитного отклика ферромагнитных материалов. Демонстрирует сформированное, но</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>содержащее отдельные пробелы владение навыками анализа пространственного распределения вектора намагниченности в веществах с сильными магнитными свойствами.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Знает основные положения метода среднего поля в теории магнетизма. Умеет формулировать задачи расчёта высокочастотного магнитного отклика ферромагнитных материалов. Владеет навыками анализа пространственного распределения вектора намагниченности в веществах с сильными магнитными свойствами.</p>

ПК.1

Способен ставить и решать научные задачи, проводить самостоятельные исследования и получать новые научные результаты

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.3 Применяет теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретирует полученные результаты</p>	<p>ЗНАТЬ: основные методы расчёта доменной структуры ферромагнитных материалов. УМЕТЬ: интерпретировать результаты экспериментальных измерений магнитного отклика диа-, пара- и ферромагнетиков. ВЛАДЕТЬ: навыками теоретического исследования резонансных свойств магнитоупорядоченных кристаллов.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные методы расчёта доменной структуры ферромагнитных материалов; Не умеет интерпретировать результаты экспериментальных измерений магнитного отклика диа-, пара- и ферромагнетиков; Не владеет навыками теоретического исследования резонансных свойств магнитоупорядоченных кристаллов.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание основных методов расчёта доменной структуры ферромагнитных материалов. Демонстрирует частично сформированное умение интерпретировать результаты экспериментальных измерений магнитного отклика диа-, пара- и ферромагнетиков. Демонстрирует частично сформированное владение навыками теоретического исследования резонансных свойств магнитоупорядоченных кристаллов.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Демонстрирует сформированное, но</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>содержащее отдельные пробелы знание основных методов расчёта доменной структуры ферромагнитных материалов. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение интерпретировать результаты экспериментальных измерений магнитного отклика диа-, пара- и ферромагнетиков. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками теоретического исследования резонансных свойств магнитоупорядоченных кристаллов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Знает основные методы расчёта доменной структуры ферромагнитных материалов. Умеет интерпретировать результаты экспериментальных измерений магнитного отклика диа-, пара- и ферромагнетиков. Владеет навыками теоретического исследования резонансных свойств магнитоупорядоченных кристаллов.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : 9538

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Электро- и термодинамика магнитных явлений Входное тестирование	Основы физики магнитных явлений.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.3 Применяет теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретирует полученные результаты</p> <p>ОПК.3.1 Анализирует, выявляет и формулирует задачи в рамках своей профессиональной деятельности</p>	<p>Ферромагнетики</p> <p>Письменное контрольное мероприятие</p>	<p>Макроскопическое описание электромагнитного поля в среде. Уравнения Максвелла. Индукция, напряженность, поляризация, намагниченность. Основные характеристики магнитного состояния вещества. Намагниченность. Восприимчивость. Магнитная проницаемость. Размагничивающий фактор. Основные термодинамические соотношения. Диамагнетики и парамагнетики. Парамагнитный газ во внешнем магнитном поле. Теория Ланжевена. Диамагнитная восприимчивость атомов и ионов. Молекулярное поле Вейсса. Полуфеноменологическая теория ферромагнетиков. Спонтанная намагниченность. Температура Кюри-Вейсса. Появление спонтанной намагниченности как фазовый переход. Теория Ландау фазового перехода второго рода ферромагнетик – парамагнетик. Магнитная восприимчивость. Закон Кюри-Вейсса. Магнитокристаллическая анизотропия и ее энергия.</p>
<p>ПК.1.3 Применяет теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретирует полученные результаты</p> <p>ОПК.3.1 Анализирует, выявляет и формулирует задачи в рамках своей профессиональной деятельности</p>	<p>Доменная структура ферромагнетиков</p> <p>Письменное контрольное мероприятие</p>	<p>Кривая намагничивания одноосного ферромагнетика. Энергия неоднородности. Образование доменов. Доменная структура ферромагнетиков. Стенки Блоха и Нееля. Энергия и толщина доменной стенки. Поверхностное натяжение доменной стенки. Размеры доменов. Техническая кривая намагничивания. Явление гистерезиса. Коэрцитивная сила. Постоянные магниты. Магнитомягкие и магнитомягкие ферромагнетики.</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.3 Применяет теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретирует полученные результаты</p> <p>ОПК.3.1 Анализирует, выявляет и формулирует задачи в рамках своей профессиональной деятельности</p>	<p>Магнито-упорядоченные вещества в переменных магнитных полях</p> <p>Итоговое контрольное мероприятие</p>	<p>Динамика намагниченности. Уравнение Ландау-Лифшица. Ферромагнитный резонанс. Тензор магнитной восприимчивости. Влияние доменной структуры, формы образца и магнитной анизотропии на спектр ферромагнитного резонанса. Спиновые волны.</p> <p>Термодинамические величины ферромагнетика при низких температурах.</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

Электро- и термодинамика магнитных явлений

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Решение каждого задания оценивается по следующей схеме: верный ответ - 1 балл, неверный ответ - 0 баллов. Всего 6 заданий.	6

Ферромагнетики

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов.</p> <p>Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.</p> <p>Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.</p>	8

Доменная структура ферромагнетиков

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы

Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	8
--	---

Магнито-упорядоченные вещества в переменных магнитных полях

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (40%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	8