

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Хеннер Виктор Карлович**
Кадыров Дальво Ибрагимович
Демин Виталий Анатольевич

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА НАНОМАГНИТНЫХ СТРУКТУР И СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ

Код УМК 86393

Утверждено
Протокол №6
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Физика наномагнитных структур и спиновые волны

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в Блок « Блок1.А.00 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.06.01** Физика и астрономия
направленность Физика конденсированного состояния

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Физика наномагнитных структур и спиновые волны** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.06.01 Физика и астрономия (направленность : Физика конденсированного состояния)

ПК.1.1 Владеет фундаментальными знаниями в области теоретической физики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.06.01 Физика и астрономия (направленность: Физика конденсированного состояния)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	7
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	48
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	96
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (7 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Физика наномагнитных структур и спиновые волны (первый триместр)

Диамagnetизм и парамагнетизм

Диамagnetизм

Диамagnetизм. Теория Ланжевена. Диамagnetный газ

Парамагнетизм

Формула Ланжевена и закон Кюри. Квантовая теория парамагнетизма. Магнетизм Ван Флека. Замораживание орбитальных моментов. Получение низких температур методом адиабатического размагничивания. Парамагнитная восприимчивость электронов проводимости. Магнетизм Паули. Осцилляционный эффект. Уровни Ландау.

Магнитные резонансы

Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный парамагнетизм. Ядерный магнитный резонанс. Спиновое эхо. Магнитная релаксация. Уравнения Блоха. Уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. Дипольные взаимодействия.

Ферромагнетизм

Обменное взаимодействие

Ферромагнитный порядок. Точка Кюри и обменный интеграл. Происхождение обменного взаимодействия.

Теория Ландау

Теория эффективного поля Вейсса. Ферромагнетик вблизи точки Кюри (теория Ландау). Магнитная восприимчивость ферромагнетика. Энергия магнитной анизотропии.

Намагниченность

Кристаллические классы. Перемагничивание одноосного ферромагнетика. Астроида. Магнитострикция ферромагнетиков. Стенка Блоха.

Домены

Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Гистерезис. Магнитные материалы.

Ферромагнитный резонанс

Уравнение Ландау и Лифшица. Ферромагнитный резонанс. Спиновые волны в ферромагнетике. Классическое и квантовое рассмотрение.

Другие виды магнетизма

Магнитная структура

Современные представления о магнетизме. Косвенный обмен. 14 видов магнетиков. Магнитная структура ферри- и антиферромагнетиков.

Точка Нееля

Точка Нееля. Температурная зависимость восприимчивости. Антиферромагнетик вблизи точки Нееля.

Антиферромагнитный резонанс

Геликоидальная магнитная структура. Спиновые волны в антиферромагнетике. Антиферромагнитный резонанс.

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. 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
2. Вонсовский С. В. Магнетизм/С. В. Вонсовский.-Москва: Наука, 1984.-208.
3. Овсиюк Е. М. Квантовая механика частиц со спином в магнитном поле/Овсиюк Е. М..- Минск: Белорусская наука, 2017, ISBN 978-985-08-2132-4.-510. <http://www.iprbookshop.ru/74074.html>

Дополнительная:

1. Абрагам А. Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок. В 2-х т. Т. 1/А. Абрагам, М. Гольдман ; ред., пер. Г. В. Скоццкий.-Москва: Мир, 1984.-300
2. Барьяхтар В. Г., Иванов Б. А. В мире магнитных доменов/В. Г. Барьяхтар, Б. А. Иванов ; ред. В. И. Воронцов.-Киев: Наукова думка, 1986.-158.-Библиогр.: с. 157
3. Фарзтдинов М. М. Спиновые волны в ферро- и антиферромагнетиках с доменной структурой/М. М. Фарзтдинов ; отв. ред. Ю. М. Сеидов.-Москва: Наука, 1988, ISBN 5-02-005966-8.-239.-Библиогр.: с. 231-237
4. Мейлихов Е. З. Магнетизм. Основы теории:[учебное пособие]/Е. З. Мейлихов.- Долгопрудный: Интеллект, 2014, ISBN 978-5-91559-155-3.-184.
5. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 9. Статистическая физика, Ч. 2: Теория конденсированного состояния/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.-Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004, ISBN 5-9221-0296-6.-496
6. Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений: учебное пособие для физических специальностей вузов/Г. С. Кринчик.-Москва: Издательство Московского университета, 1985.-336.

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

library.psu.ru/node/738 Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физика наномагнитных структур и спиновые волны** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную 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

При освоении материала и выполнении 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

Для лекционных и практических занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций, проведения текущего контроля требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для самостоятельной работы студентов требуется аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами 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
Физика наномагнитных структур и спиновые волны**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.1 Владеет фундаментальными знаниями в области теоретической физики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>Знать закономерности поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификацию и основные свойства магнитных материалов. Уметь вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Владеть основными методами теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает закономерности поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификацию и основные свойства магнитных материалов. Не умеет вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Не владеет основными методами теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. Демонстрирует частично сформированное умение вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Имеет представление о методах теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>явления магнитного резонанса. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. Сформированное умение вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Успешное и систематическое применение методов теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>

Оценочные средства

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Устное собеседование по вопросам

**Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации :
время отводимое на подготовку 2**

Показатели оценивания

<p>Не знает закономерности поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификацию и основные свойства магнитных материалов. Не умеет вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Не владеет основными методами теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>	Неудовлетворител
<p>Общие, но не структурированные знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. Демонстрирует частично сформированное умение вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Имеет представление о методах теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>	Удовлетворительн

<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>	Хорошо
<p>Сформированные систематические знания закономерностей поведения изолированных атомов и молекул, ансамблей электронов, атомов и молекул в магнитном поле, классификации и основных свойств магнитных материалов. Сформированное умение вычислять статистические свойства магнитных материалов, строить термодинамические потенциалы, описывать явления магнитного резонанса. Успешное и систематическое применение методов теории момента, теории магнитных фазовых переходов.</p>	Отлично

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

Типовые контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации:

1. Диамагнетизм. Формула Ланжевена.
2. Парамагнетизм. Формула Ланжевена и закон Кюри.
3. Квантовая теория парамагнетизма. Магнетизм Ван Флека. Замораживание орбитальных моментов.
4. Получение низких температур методом адиабатического размагничивания.
5. Парамагнитная восприимчивость электронов проводимости. Магнетизм Паули.
6. Электронный парамагнитный резонанс
7. Ядерный парамагнетизм. Ядерный магнитный резонанс. Уравнения Блоха.
8. Ферромагнитный порядок. Точка Кюри и обменный интеграл.
9. Происхождение обменного взаимодействия.
10. Теория эффективного поля Вейсса.
11. Ферромагнетик вблизи точки Кюри (теория Ландау).
12. Магнитная восприимчивость ферромагнетика.
13. Энергия магнитной анизотропии. Кристаллические классы.
14. Перемагничивание одноосного ферромагнетика. Астроида.
15. Магнитострикция ферромагнетиков.
16. Стенка Блоха.
17. Доменная структура ферромагнетиков.
18. Кривая намагничивания. Гистерезис. Магнитные материалы.
19. Уравнение Ландау и Лифшица. Ферромагнитный резонанс.
20. Спиновые волны в ферромагнетике. Классическое и квантовое рассмотрение.
21. Современные представления о магнетизме. Косвенный обмен. 14 видов магнетиков.
22. Магнитная структура ферри- и антиферромагнетиков.
23. Точка Нееля. Температурная зависимость восприимчивости в рамках обобщенной теории Вейсса.
24. Антиферромагнетик вблизи точки Нееля (теория Ландау).
25. Геликоидальная магнитная структура.
26. Спиновые волны в антиферромагнетике.
27. Антиферромагнитный резонанс.