МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.

_____ _____20___ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Квантовая теория магнетизма Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика
Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния
Квалификация выпускника: магистр
Форма обучения: очное
Язык обучения: русский

Автор(ы):

Недопекин О.В. , Таюрский Д.А.

Рецензент(ы):

Тагиров Л.Р.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Таюрский Д. А.
Протокол заседания кафедры No ___ от "____" _____ 201__г
Учебно-методическая комиссия Института физики:
Протокол заседания УМК No ____ от "____" _____ 201__г

Регистрационный No 616917

Казань
2017

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Программу дисциплины разработал(а)(и) заместитель директора по образовательной деятельности Недопекин О.В. Директорат Института физики Институт физики , Oleg.Nedopekin@kpfu.ru ; проректор по образовательной деятельности Таюрский Д.А. Ректорат КФУ , Dmitry.Tayurskii@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины М2.В3 "Квантовая теория магнетизма" являются изучение современных представлений о природе магнетизма твердых тел с точки зрения квантовой теории, получение навыков работы с современными теоретическими методами описания свойств систем магнитных моментов, знакомство с физическими основами экспериментальных методик измерения магнитной восприимчивости и намагниченности, получение знаний о классических и современных экспериментальных результатах по магнитным свойствам твердых тел.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина М2.В3 "Квантовая теория магнетизма" входит в блок "Вариативная часть" профессионального цикла подготовки магистров по направлению 011200.68 - "Физика" и является необходимой для изучения в рамках магистерской программы "Физика магнитных явлений" (блок М2).

Изучение данной дисциплины базируется на бакалаврской подготовке по направлению 011200.62 - "Физика" по курсам высшей математике из цикла "Математический и естественнонаучный цикл", по курсам общей физики (разделы: "Молекулярная физика", "Электричество и магнетизм", "Атомная физика", "Физика атомного ядра и элементарных частиц"), по курсам теоретической физики (разделы: "Электродинамика", "Квантовая механика", "Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика"), по курсу "Физика конденсированного состояния".

Основные положения дисциплины должны быть использованы студентами в дальнейшем при прохождении научно-исследовательской практики (М.3) и в научно-исследовательской работе в рамках магистерской программы "Физика магнитных явлений".

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способностью использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач;

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью организовать работу коллектива для решения профессиональных задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки;
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки);
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью проводить свою профессиональную деятельность с учетом социальных, этических и природоохранных аспектов
ПК-9 (профессиональные компетенции)	способностью организовать и планировать физические исследования
ОК-5 (общекультурные компетенции)	способность порождать новые идеи (креативность);
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности;
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки);

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

современный теоретический уровень описания магнитных свойств конденсированных сред;

- теоретические основы современных экспериментальных методов исследования в области магнетизма конденсированных сред;

- основные классические и современные экспериментальные результаты по магнитным свойствам твердых тел.

2. должен уметь:

применять современные методы теоретического исследования магнетизма конденсированных сред для расчетов магнитной восприимчивости и намагниченности систем магнитных моментов.

3. должен владеть:

навыками системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности;

- навыками работы с основными теоретическими методами в области магнетизма конденсированных сред и современной научной литературой.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к применению полученных знаний для описания реальных физических систем

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Магнитные моменты.	3	1,2	2	2	0	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Магнитные свойства систем невзаимодействующих локализованных моментов.	3	3,4	2	2	0	Устный опрос
4.	Тема 4. Магнитные свойства систем слабо взаимодействующих локализованных моментов.	3	5,6	2	2	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Магнетизм систем сильновзаимодействующих моментов.	3	7,8,9,10	4	3	0	Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Магнитные свойства систем с магнитными примесями.	3	11,12	2	2	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Спиновые стекла.	3	13,14	2	1	0	Устный опрос
.	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	Экзамен
	Итого			14	12	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Магнитные моменты.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Понятие о магнитном моменте. Орбитальный и спиновый магнитный моменты. Диэлектрики: модель локализованных магнитных моментов. Металлы: модель делокализованных магнитных моментов, коллективизированные электроны. Взаимодействие магнитных моментов с внешними полями. Намагниченность. Восприимчивость. Взаимодействие магнитных моментов между собой. Диполь-дипольное взаимодействие. Обменное взаимодействие Гейзенберга. Суперобмен.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Обобщенная восприимчивость. Соотношения Крамерса-Кронинга. Флуктуационно-диссипационная теорема. Соотношение Онсагера. 3d-электрон в кубическом кристаллическом поле. Ион Ce3+ в кристаллическом поле симметрии D2.

Тема 3. Магнитные свойства систем невзаимодействующих локализованных моментов.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Диамагнитная восприимчивость. Парамагнитная восприимчивость Ланжевена и Ван Флека. Температурная зависимость магнитной восприимчивости. Закон Кюри.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Восприимчивость Ланжевена и Ван Флека. Закон Кюри.

Тема 4. Магнитные свойства систем слабо взаимодействующих локализованных моментов.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Локализованные магнитные моменты. Теория молекулярного поля. Ферромагнетизм. Температура Кюри. Антиферромагнетизм. Температура Нееля. Гелимагнетики. Ферримагнетики. Магнитные свойства вблизи температуры перехода в упорядоченное состояние. Модель Изинга и модель Гейзенберга в приближении молекулярного поля. Представление о критических явлениях. Критические индексы. Модель спиновых волн. Приближение Холстейна-Примакова для модели Гейзенберга. Намагниченность гейзенберговского ферромагнетика при низких температурах. Влияние спин-волновых взаимодействий. Параметрическое возбуждение магнонов. Антиферромагнитные магноны. Нелинейные эффекты в антиферромагнетизме и ферримагнетизме. Понятие о магнитостатических модах. Делокализованные магнитные моменты. Теория ферми-жидкости. Ферромагнетики с коллективизированными электронами в рамках теории ферми-жидкости. Метод молекулярного поля для систем коллективизированных электронов. Модель Стонера. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм коллективизированных электронов. Волны спиновой плотности. Модель Хаббарда.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Диамагнетизм Ландау. Критические параметры. Расчет уровней Ландау. Расчет спиновой корреляционной функции для системы локализованных магнитных моментов вблизи критической температуры. Метод вторичного квантования для газа свободных электронов. Расчеты в рамках модели Стонера.

Тема 5. Магнетизм систем сильновзаимодействующих моментов.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Локализованные магнитные моменты. Теория молекулярного поля. Ферромагнетизм. Температура Кюри. Антиферромагнетизм. Температура Нееля. Гелимагнетики. Ферримагнетики. Магнитные свойства вблизи температуры перехода в упорядоченное состояние. Модель Изинга и модель Гейзенберга в приближении молекулярного поля. Представление о критических явлениях. Критические индексы. Модель спиновых волн. Приближение Холстейна-Примакова для модели Гейзенберга. Намагниченность гейзенберговского ферромагнетика при низких температурах. Влияние спин-волновых взаимодействий. Делокализованные магнитные моменты. Теория ферми-жидкости. Ферромагнетики с коллективизированными электронами в рамках теории ферми-жидкости. Метод молекулярного поля для систем коллективизированных электронов. Модель Стонера. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм коллективизированных электронов. Волны спиновой плотности. Модель Хаббарда. Параметрическое возбуждение магнонов. Антиферромагнитные магноны. Нелинейные эффекты в антиферромагнетизме и ферримагнетизме. Понятие о магнитостатических модах.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

практическое занятие (3 часа(ов)):

Преобразование Холстейна-Примакова. Теплоемкость магнонов. Спин-волновая теория - учет диполь-дипольного взаимодействия. Метод вторичного квантования для газа свободных электронов. Расчеты в рамках модели Стонера.

Тема 6. Магнитные свойства систем с магнитными примесями.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Магнитные примеси в магнитных диэлектриках. Локализованные магноны. Резонансные состояния. Магнитные примеси в немагнитных металлах. Модель Андерсона. Эффект Кондо. Взаимодействие РККИ. Локальные магнитные моменты в металлах. Диэлектрики Мотта. Переход металл-диэлектрик. s-d или s-f обменная модель.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Расчеты в рамках модели Андерсона.

Тема 7. Спиновые стекла.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Случайный обмен. Модель Эдвардса-Андерсона. Замораживание спинов. Долговременная релаксация восприимчивости. Эффекты старения. Модель реплик.

практическое занятие (1 часа(ов)):

Модель реплик.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Магнитные моменты.	3	1,2	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
3.	Тема 3. Магнитные свойства систем невзаимодействующих локализованных моментов.	3	3,4	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
4.	Тема 4. Магнитные свойства систем слабо взаимодействующих локализованных моментов.	3	5,6	подготовка домашнего задания	14	домашнее задание
5.	Тема 5. Магнетизм систем сильновзаимодействующих моментов.	3	7,8,9,10	подготовка домашнего задания	20	домашнее задание
6.	Тема 6. Магнитные свойства систем с магнитными примесями.	3	11,12	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
7.	Тема 7. Спиновые стекла.	3	13,14	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
	Итого				82	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Качество обучения достигается за счет использования следующих форм учебной работы: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

Консультации проводятся в обозначенное в расписании время и в режиме "online".

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Магнитные моменты.

домашнее задание , примерные вопросы:

Соотношения Крамерса-Кронинга. Флуктуационно-диссипационная теорема. Соотношение Онсагера.

Тема 3. Магнитные свойства систем невзаимодействующих локализованных моментов.

устный опрос , примерные вопросы:

Парамагнитная восприимчивость Ланжевена и Ван Флека. Температурная зависимость магнитной восприимчивости. Закон Кюри.

Тема 4. Магнитные свойства систем слабо взаимодействующих локализованных моментов.

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет спиновой корреляционной функции для системы локализованных магнитных моментов вблизи критической температуры.

Тема 5. Магнетизм систем сильновзаимодействующих моментов.

домашнее задание , примерные вопросы:

Метод вторичного квантования для газа свободных электронов. Расчеты в рамках модели Стонера.

Тема 6. Магнитные свойства систем с магнитными примесями.

устный опрос , примерные вопросы:

Модель Андерсона. Эффект Кондо.

Тема 7. Спиновые стекла.

устный опрос , примерные вопросы:

Модель Эдвардса-Андерсона. Модель реплик.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Характерные энергии магнитных взаимодействий. Определения магнитного момента и намагниченности.

Обобщенная восприимчивость. Соотношения Крамерса-Кронига,флуктуационно-диссипационная теорема, соотношение Онсагера.

Взаимодействия магнитных моментов: спин и спин-орбитальное взаимодействие, взаимодействие с внешним однородным полем, квадрупольное взаимодействие, сверхтонкое взаимодействие.

Влияние электрического кристаллического поля - ионы переходных металлов и редкоземельные ионы.

Диполь-дипольное взаимодействие. Обменное взаимодействие. Обменное взаимодействие в молекуле водорода.

Спиновый гамильтониан - ионы переходных металлов и редкоземельные ионы.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Статическая восприимчивость невзаимодействующих систем - локализованные моменты. Диамагнетизм, парамагнетизм ионов и редкоземельные ионов.

Статическая восприимчивость невзаимодействующих систем - делокализованные моменты (металлы). Диамагнетизм Ландау, эффект де Гааза-ван Альфена, квантовый эффект Холла.

Статическая восприимчивость невзаимодействующих систем - делокализованные моменты (металлы). Парамагнетизм Паули.

Статическая восприимчивость взаимодействующих систем - локализованные моменты. Высокие температуры, приближение случайных фаз, расходимость магнитной восприимчивости. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм.

Статическая восприимчивость взаимодействующих систем - локализованные моменты. Низкие температуры, приближение молекулярного поля.

Статическая восприимчивость взаимодействующих систем - локализованные моменты. Температуры вблизи Tc. Корреляционная длина, поле Онсагера, критические индексы.

Теория Ландау фазовых переходов второго рода, метод ренорм-группы.

Спиновые волны. Преобразование Холстейна-Примакова. Теплоемкость магнонов. Магнонные взаимодействия.

Теория Ферми-жидкости для металлов.

Модель Стонера.

Переход Мотта и модель Хаббарда.

7.1. Основная литература:

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов М. Физматлит. - 2010. - 600 с. http://e.lanbook.com/view/book/2093/

2. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. М.: Физматлит, 2011. - 136 с. http://e.lanbook.com/view/book/2672/

3. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц Лань. - 2011. - 384 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=708

4. Матухин В.Л., Ермаков В.Л., Физика твердого тела. Издательство: "Лань", 2010, 224 стр. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=262

7.2. Дополнительная литература:

Лекции по магнетизму, Боровик, Евгений Станиславович;Еременко, Виктор Валентинович;Мильнер, Абрам Соломонович, 2005г.

Электричество и магнетизм, Матвеев, Алексей Николаевич, 2010г.

1. Аминов, Л.К. Динамика и кинетика электронных и спиновых возбуждений в парамагнитных кристаллах / Л. К. Аминов, Б. З. Малкин.? Казань: Изд-во Казанского госуд. ун-та, 2008?217 с. http://kpfu.ru/docs/F1917339624/DynamicsSpinParamagnets_Aminov_Malkin.pdf

7.3. Интернет-ресурсы:

Joint Quantum Institute - http://jqi.umd.edu/

Институт теоретической физики им Л.Д. Ландау. Сектор квантовой мезоскопики - http://qmeso.itp.ac.ru/

Магнитопласты и магнитные системы - http://www.valtar.ru/index.htm

Наука и жизнь - http://www.nkj.ru/

Физическая энциклопедия - http://www.femto.com.ua/index1.html

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовая теория магнетизма" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Лекционные и практические занятия проводятся с использованием мультимедийного комплекса, позволяющего наглядно получать студентам всю необходимую информацию. Материалы курса лекций, задания для практических занятий и самостоятельной работы размещены в интернете на сайте Института Физики.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика конденсированного состояния .

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Автор(ы):
Таюрский Д.А. _____
Недопекин О.В. _____
"__" _____ 201 __ г.

Рецензент(ы):
Тагиров Л.Р. _____
"__" _____ 201 __ г.