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 парамагнетизма Б3.ДВ.6

Направление подготовки: 011200.62 - Физика
Профиль подготовки: не предусмотрено
Квалификация выпускника: бакалавр
Форма обучения: очное
Язык обучения: русский

Автор(ы):

Малкин Б.З.

Рецензент(ы):

Еремин М.В.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.
Протокол заседания кафедры No ___ от "____" _____ 201__г

Учебно-методическая комиссия Института физики:
Протокол заседания УМК No ____ от "____" _____ 201__г

Регистрационный No 6116517

Казань
2017

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

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Малкин Б.З. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Boris.Malkin@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Квантовая теория парамагнетизма" являются изучение основ физики парамагнитных веществ и овладение методами расчетов спектров электронного и ядерного магнитного резонанса и скоростей магнитной релаксации

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.6 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Дисциплина (Б3.ДВ.6) входит в вариативную (профильную) часть профессионального цикла (Б.3). Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин модуля теоретической физики: квантовой теории, электродинамики, основных глав статистической физики и термодинамики, а также методов математической физики, начальных глав квантовой теории твердого тела. Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплины "Теоретические основы спектроскопии" и последующего профильного обучения в магистратуре по теоретической физике, физике конденсированных сред, физике магнитных явлений

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способность к самоорганизации и самообразованию
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК-4 (профессиональные компетенции)	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

квантово-статистическое описание магнитных свойств диэлектриков; полупроводников и металлов; особенности магнитных свойств низкоразмерных систем

2. должен уметь:

решать уравнения движения для намагниченности, моделировать спектры магнитного резонанса, вычислять скорости релаксации

3. должен владеть:

навыками вычислений термодинамических свойств магнитных систем (статической восприимчивости и теплоемкости)

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 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. Магнитный момент.	7	1	3	3	0	Письменное домашнее задание Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Статическая магнитная восприимчивость.	7	2	3	3	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Динамическая магнитная восприимчивость.	7	3	3	3	0	Дискуссия Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Магнитный резонанс.	7	4	3	3	0	Дискуссия Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Статическое кристаллическое поле.	7	5	3	3	0	Контрольная работа Дискуссия Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Ядерный магнетизм.	7	6	3	3	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР	7	7	3	3	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Орбитально-решеточное взаимодействие. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации.	7	8	3	3	0	Устный опрос
9.	Тема 9. Термодинамика парамагнетиков.	7	9	3	3	0	Письменное домашнее задание Дискуссия
10.	Тема 10. Спин-решеточная релаксация.	7	10	3	3	0	Письменное домашнее задание Дискуссия

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
11.	Тема 11. Уширение спектральных линий	7	11	3	3	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Форма линии магнитного резонанса.	7	12	3	3	0	Письменное домашнее задание Устный опрос
13.	Тема 13. Эффект Яна-Теллера.	7	13	3	3	0	Дискуссия Устный опрос
14.	Тема 14. Кооперативный эффект Яна-Теллера.	7	14	3	3	0	Устный опрос
15.	Тема 15. Квантовое туннелирование намагниченности.	7	15	3	3	0	Письменное домашнее задание
16.	Тема 16. Магнетизм низкоразмерных систем.	7	16	3	3	0	Устный опрос
17.	Тема 17. Переходные явления. Спиновое эхо. Поляризация ядер.	7	17	3	3	0	Устный опрос
18.	Тема 18. Ядерная релаксация и спиновая диффузия.	7	18	3	3	0	Контрольная работа Устный опрос
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	54	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Магнитный момент.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Магнитный момент электронов, ядер, атомов и ионов. Типы магнетиков. Теорема Ван-Левен. Спиновый магнитный момент.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Вывод уравнений движения для магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Осцилляции Раби.

Тема 2. Статическая магнитная восприимчивость.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Основы теории кристаллического поля. Статическая магнитная восприимчивость. Формула Ван-Флека.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Термодинамические функции Грина. Расчеты статической магнитной восприимчивости.

Тема 3. Динамическая магнитная восприимчивость.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Теория динамической магнитной восприимчивости.Флуктуационно-диссипативная теорема.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Восприимчивость изолированной частицы.

Тема 4. Магнитный резонанс.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Магнитный резонанс. Уравнения Блоха и их решения. Электронные парамагнетики. Парамагнитные ионы.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Уравнения Блоха и их решения. Теорема Крамерса.

Тема 5. Статическое кристаллическое поле.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Гамильтониан парамагнитного иона в кристаллическом поле. Ковалентность, молекулярные орбитали. Метод Гайтлера-Лондона. Метод LCAO. Электронные спектры ионов переходных и редкоземельных металлов.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Параметры кристаллического поля в октаэдре.

Тема 6. Ядерный магнетизм.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Ядерный магнетизм. Квадрупольные моменты ядер. Магнитное и квадрупольное сверхтонкие взаимодействия. Суперсверхтонкое взаимодействие. Межионные магнитные взаимодействия.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Расчеты сверхтонкой структуры спектров

Тема 7. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Эффективный спиновый гамильтониан. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР. Ванфлековские парамагнетики.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Восприимчивость ванфлековских парамагнетиков.

Тема 8. Орбитально-решеточное взаимодействие. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Адиабатическое приближение. Гамильтониан орбитально-решеточного взаимодействия. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации. Кинетическое уравнение для спиновой матрицы плотности. Вывод уравнений движения для диагональных элементов матрицы плотности с учетом электрон-фононного взаимодействия

практическое занятие (3 часа(ов)):

Расчет ширины квантового перехода в спиновой системе

Тема 9. Термодинамика парамагнетиков.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Термодинамика парамагнетиков. Спиновая температура. Релаксация спиновой температуры. Вывод формулы Гортера.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Спиновая релаксация в трехуровневой системе.

Тема 10. Спин-решеточная релаксация.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Квантовая теория релаксации. Вероятности однофононных переходов. Двухфононная спин-решеточная релаксация. Резонансная флуоресценция фононов. Эффект узкого фононного горла в магнитной релаксации.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Восприимчивость в параллельных полях

Тема 11. Уширение спектральных линий

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Релаксационное уширение. Адиабатическое уширение. Расчет сдвига частоты перехода в зависимости от температур

практическое занятие (3 часа(ов)):

Восприимчивость двухуровневой системы в параллельных полях

Тема 12. Форма линии магнитного резонанса.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Метод моментов. Дипольное уширение. Обменное сужение. Статистическая теория формы линии. Сужение резонансных линий за счет движения.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Деформационное уширение спектральных линий

Тема 13. Эффект Яна-Теллера.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Статический эффект Яна-Теллера в электронном дублете. Динамический эффект Яна-Теллера в электронном дублете. ЭПР спектры при учете эффекта Яна-Теллера .

практическое занятие (3 часа(ов)):

Эффект Яна-Теллера в орбитальном триплете

Тема 14. Кооперативный эффект Яна-Теллера.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Кооперативный эффект Яна-Теллера в системах с дублетным основным состоянием

практическое занятие (3 часа(ов)):

Спектры связанных спин-фононных возбуждений

Тема 15. Квантовое туннелирование намагниченности.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Теория туннелирования Ландау-Зенера

практическое занятие (3 часа(ов)):

Ступенчатые петли гистерезиса в системе с антипересекающимися уровнями энергии

Тема 16. Магнетизм низкоразмерных систем.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Магнетизм низкоразмерных систем. Магнитные свойства спиновых цепочек.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Приближение кластеров в расчете магнитной восприимчивости.

Тема 17. Переходные явления. Спиновое эхо. Поляризация ядер.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Переходные явления. Поляризация ядер.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Расчет огибающей эхо-сигнала. Двойные резонансы.

Тема 18. Ядерная релаксация и спиновая диффузия.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Ядерная релаксация через парамагнитные примеси, спиновая диффузия.

практическое занятие (3 часа(ов)):

Основные методы расчета термодинамических и спектральных свойств спиновых систем

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. Магнитный момент.	7	1	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Статическая магнитная восприимчивость.	7	2	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Динамическая магнитная восприимчивость.	7	3		1	дискуссия
				подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
4.	Тема 4. Магнитный резонанс.	7	4		1	дискуссия
				подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
5.	Тема 5. Статическое кристаллическое поле.	7	5		1	дискуссия
				подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
6.	Тема 6. Ядерный магнетизм.	7	6	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
7.	Тема 7. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР	7	7	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Орбитально-решеточное взаимодействие. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации.	7	8	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
9.	Тема 9. Термодинамика парамагнетиков.	7	9		1	дискуссия
				подготовка домашнего задания	3	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
10.	Тема 10. Спин-решеточная релаксация.	7	10		1	дискуссия
				подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
11.	Тема 11. Уширение спектральных линий	7	11	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
12.	Тема 12. Форма линии магнитного резонанса.	7	12	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
13.	Тема 13. Эффект Яна-Теллера.	7	13		2	дискуссия
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
14.	Тема 14. Кооперативный эффект Яна-Теллера.	7	14	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
15.	Тема 15. Квантовое туннелирование намагниченности.	7	15	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
16.	Тема 16. Магнетизм низкоразмерных систем.	7	16	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
17.	Тема 17. Переходные явления. Спиновое эхо. Поляризация ядер.	7	17	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
18.	Тема 18. Ядерная релаксация и спиновая диффузия.	7	18	подготовка к контрольной работе	3	контрольная работа
				подготовка к устному опросу	1	устный опрос
	Итого				72	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Виды учебной работы: лекции, семинары, контрольные работы

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

Тема 1. Магнитный момент.

домашнее задание , примерные вопросы:

Рассмотреть движение спина ядра в скрещенных постоянном и переменном магнитных полях по теории возмущений.

устный опрос , примерные вопросы:

Магнитный момент. Теорема Ван-Левен. Спиновый магнитный момент. Движение магнитного момента во внешнем магнитном поле. Осцилляции Раби.

Тема 2. Статическая магнитная восприимчивость.

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет магнитной восприимчивости частиц со спином 1/2

устный опрос , примерные вопросы:

Формула Ван-Флека. Термодинамические функции Грина

Тема 3. Динамическая магнитная восприимчивость.

дискуссия , примерные вопросы:

по теме"Динамическая магнитная восприимчивость. Флуктуационно-диссипативная теорема"

домашнее задание , примерные вопросы:

Вычислить динамическую магнитную восприимчивость Xxx(w)частицы со спином 1/2 с изотропным магнитным моментом в постоянном магнитном поле B(0, 0, B) (Указание: решить уравнение движения для функции Грина G(Sx,Sx|t)).

Тема 4. Магнитный резонанс.

дискуссия , примерные вопросы:

Магнитный резонанс. Уравнения Блоха и их решения. Электронные парамагнетики. Парамагнитные ионы. Теорема Крамерса.

домашнее задание , примерные вопросы:

Используя уравнения движения для матрицы плотности с продольным и поперечным временами релаксации, получить уравнения Блоха для системы частиц со спином 1/2 и изотропным g-фактором во внешнем постоянном магнитном поле

Тема 5. Статическое кристаллическое поле.

дискуссия , примерные вопросы:

Статическое кристаллическое поле. Ковалентность, молекулярные орбитали. Метод Гайтлера-Лондона. Метод LCAO. Электронные спектры ионов переходных и редкоземельных металлов.

домашнее задание , примерные вопросы:

Найти волновые функции d-электрона в октаэдре, построить матрицы компонент орбитального момента и спин-орбитального взаимодействия на молекулярных орбиталях.

контрольная работа , примерные вопросы:

Расчет параметров кристаллического поля и штарковской структуры спектра иона группы железа в центре тригональной призмы, состоящей из ионов фтора. Расчет g-факторов основного состояния.

Тема 6. Ядерный магнетизм.

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет постоянной сверхтонкой магнитной структуры

устный опрос , примерные вопросы:

Ядерный магнетизм. Квадрупольные моменты ядер. Электронно-ядерное взаимодействие. Суперсверхтонкое взаимодействие. Межионные магнитные взаимодействия.

Тема 7. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР

домашнее задание , примерные вопросы:

Эффективный спиновый гамильтониан. Ванфлековские парамагнетики.

устный опрос , примерные вопросы:

Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР.

Тема 8. Орбитально-решеточное взаимодействие. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации.

устный опрос , примерные вопросы:

Гамильтониан орбитально-решеточного взаимодействия. Формализм матрицы плотности в квантовой теории релаксации. Кинетическое уравнение для спиновой матрицы плотности.

Тема 9. Термодинамика парамагнетиков.

дискуссия , примерные вопросы:

Термодинамика парамагнетиков. Спиновая температура Релаксация спиновой температуры, формула Гортера

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет теплоемкости изинговской линейной цепочки

Тема 10. Спин-решеточная релаксация.

дискуссия , примерные вопросы:

Спин-решеточная релаксация. Вероятности однофононных переходов. Двухфононная спин-решеточная релаксация. Эффект узкого фононного горла.

домашнее задание , примерные вопросы:

Резонансная флуоресценция фононов.

Тема 11. Уширение спектральных линий

домашнее задание , примерные вопросы:

Релаксационное уширение. Адиабатическое уширение.

устный опрос , примерные вопросы:

Температурные сдвиги спектральных линий.

Тема 12. Форма линии магнитного резонанса.

домашнее задание , примерные вопросы:

Форма линии магнитного резонанса. Метод моментов.

устный опрос , примерные вопросы:

Релаксационное уширение. Адиабатическое уширение. Дипольное уширение. Обменное сужение.

Тема 13. Эффект Яна-Теллера.

дискуссия , примерные вопросы:

Динамический эффект Яна-Теллера в электронном дублете.

устный опрос , примерные вопросы:

ЭПР спектры при учете эффекта Яна-Теллера.

Тема 14. Кооперативный эффект Яна-Теллера.

устный опрос , примерные вопросы:

Рассмотреть кооперативный эффект Яна-Теллера для системы с дублетным основным состоянием в постоянном магнитном поле (Зеемановская энергия не коммутирует с электрон-деформационным взаимодействием). Найти фактор редукции магнитного момента.

Тема 15. Квантовое туннелирование намагниченности.

домашнее задание , примерные вопросы:

Теория туннелирования Ландау-Зенера

Тема 16. Магнетизм низкоразмерных систем.

устный опрос , примерные вопросы:

Магнитные свойства спиновых цепочек.

Тема 17. Переходные явления. Спиновое эхо. Поляризация ядер.

устный опрос , примерные вопросы:

Спиновое эхо. Поляризация ядер. Двойные резонансы.

Тема 18. Ядерная релаксация и спиновая диффузия.

контрольная работа , примерные вопросы:

Используя уравнения движения для матрицы плотности с продольным и поперечным временами релаксации, получить уравнения Блоха для системы частиц со спином 1/2 и изотропным g-фактором во внешнем постоянном магнитном поле.

устный опрос , примерные вопросы:
Основные методы расчета термодинамических и спектральных свойств спиновых систем
Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:
Регламент БРС:
1 Выполнение домашних заданий 15
2 Устные опросы, дискуссии 15
3 Контрольные работы (2) 20
3 Экзамен 50
БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ
1. Стационарные решения уравнений Блоха
2. Эффект Яна-Теллера
3. Расчет времени спин-решеточной релаксации
4. Сверхтонкая структура спектров ЭПР
5. Динамическая восприимчивость
6. Уравнение движения и его решение для магнитного момента во внешнем постоянном и переменном магнитном полях
7. Квантовое туннелирование намагниченности
8. Магнетизм низкоразмерных систем
9. Сужение резонансных линий за счет движения
10. Метод моментов в теории формы линии.

7.1. Основная литература:

1. Зарипов, М.М. Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах : курс лекций / М. М. Зарипов .? Казань : Казанский государственный университет, 2009 .? 212 с.

2. 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

3. Б.З. Малкин, Квантовая теория парамагнетизма, Учебное пособие, Изд. Казанского университета, 2007. http://kpfu.ru/docs/F800871619/quant_theory_param.pdf

7.2. Дополнительная литература:

1. Актуальные проблемы физики конденсированных сред = Modern problems in condensed matter physics / Науч. ред. Б. З. Малкин, Ю. Н. Прошин .- Казань : Новое Знание, 2004 .- 404 с.

2. Боровик, Е.С. Лекции по магнетизму / Е. С. Боровик, В. В. Еременко, А. С. Мильнер .- Издание 3-е, переработанное и дополненное .- Москва : Физматлит, 2005 .- 512 с.

7.3. Интернет-ресурсы:

библиотека учебно-научной литературы - http://lib.sibnet.ru/books/Fizika?

методические материалы кафедры ТФ - http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=8205

Новая электронная библиотека - http://www.newlibrary.ru

Образовательный проект А.Н. Варгина - http://www.ph4s.ru/index.html

ЭБС КнигаФонд - http://www.knigafund.ru

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

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

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB,audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе " БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС " БиблиоРоссика " представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

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.

Учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):
Малкин Б.З. _____
"__" _____ 201 __ г.

Рецензент(ы):
Еремин М.В. _____
"__" _____ 201 __ г.