

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего 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

Физические методы исследования твердых тел Б1.В.ДВ.9

Направление подготовки: 03.03.02 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Садыков Э.К.

Рецензент(ы):

Скворцов А.И.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Воронина Е. В.

Протокол заседания кафедры No _____ от "_____" _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No _____ от "_____" _____ 201__ г

Регистрационный No 689218

Казань

2018

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) Садыков Э.К. Кафедра физики твердого тела Отделение физики, Edgar.Sadykov@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Изучение законов и экспериментальной техники ядерной физики совместно с другими дисциплинами цикла, формирование у студентов современного естественнонаучного мировоззрения на тонкие и сверхтонкие взаимодействия в твердых телах.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.9 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

Дисциплина Б.3.ДВ2 "Физические методы исследования твердых тел" профессионального цикла (блок Б.3) дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 011200 "Физика".

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач
ОПК-8 (профессиональные компетенции)	способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности
ПК-9 (профессиональные компетенции)	способность проектировать, организовывать и анализировать педагогическую деятельность, обеспечивая последовательность изложения материала и междисциплинарные связи физики с другими дисциплинами

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- физическую основу всех существующих резонансных методов,
- взаимодействие радиочастотного поля с электронными и ядерными моментами,
- методы и приемы решения конкретных задач в исследовании твердых тел.

2. должен уметь:

- применять различные методы для решения конкретных задач;
- выделить конкретное физическое содержание в прикладных задачах и формулировать задачи;
- использовать возможности радиочастотных методов при решении профессиональных задач связанных со свойствами твердого тела.

3. должен владеть:

знаниями о современных резонансных методах исследования, магнитных характеристиках материалов и методах измерения этих характеристик.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- системного научного анализа проблем различного уровня сложности;
- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой;
- проведения физического эксперимента.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных(ые) единиц(ы) 288 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 7 семестре; экзамен в 8 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. Ядерные моменты и гироманнитные отношения.	7	1-2	4	0	4	Устный опрос
2.	Тема 2. Ядра во внешнем магнитном поле. Ядерный магнитный резонанс.	7	3-4	4	0	4	Устный опрос
3.	Тема 3. Макроскопическая теория ядерного магнитного резонанса.	7	5-6	4	0	4	Устный опрос
4.	Тема 4. Методы наблюдения ядерного магнитного резонанса.	7	7-8	4	0	4	Устный опрос
5.	Тема 5. Ширина и контур линии ядерного магнитного резонанса.	7	9-10	4	0	4	Письменная работа
6.	Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация.	7	11-12	4	0	4	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	
7.	Тема 7. Тонкая структура линий ядерного магнитного резонанса.	7	13-14	4	0	4	Устный опрос
8.	Тема 8. Ядерный квадрупольный резонанс.	7	15-16	4	0	4	Устный опрос
9.	Тема 9. Электронный парамагнитный резонанс, основные положения.	7	17-18	4	0	4	Письменная работа
10.	Тема 10. Ширина линии и электронная спин-решеточная релаксация.	8	1-2	4	0	4	Устный опрос
11.	Тема 11. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура электронного парамагнитного резонанса.	8	3-4	4	0	4	Устный опрос
12.	Тема 12. Эффект Оверхаузера.	8	5-6	4	0	4	Устный опрос
13.	Тема 13. Ферромагнитный резонанс.	8	7-8	4	0	4	Устный опрос
14.	Тема 14. Основные характеристики магнитных материалов.	8	9-10	4	0	4	Письменная работа
15.	Тема 15. Силовые методы измерения магнитной восприимчивости.	8	11-12	4	0	4	Устный опрос
16.	Тема 16. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.	8	13-14	4	0	4	Устный опрос
17.	Тема 17. Автодинный метод измерения магнитной восприимчивости.	8	15-16	4	0	4	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	
18.	Тема 18. Сравнительные характеристики методов измерения магнитной восприимчивости тонкопленочных образцов.	8	17-18	4	0	4	Письменная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен
	Итого			72	0	72	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Ядерные моменты и гиромагнитные отношения.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Электромагнитные моменты ядер. Магнетон бора и ядерный магнетон. Магнитный момент нуклонов в кварковой модели. Модель Шмидта для магнитного момента ядра. Гиромагнитные отношения для электрона, протона и нейтрона.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Измерение величины постоянного магнитного поля в зазоре магнита. Измерение величины гиромагнитного отношения для фтора.

Тема 2. Ядра во внешнем магнитном поле. Ядерный магнитный резонанс.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Эксперимент Раби по наблюдению ядерного магнитного резонанса в молекулярных пучках. Классическое и квантовое описание ядерного магнитного резонанса. Ларморова прецессия, ларморова частота. Эффект Зеемана. Квантование уровней энергии ядра в магнитном поле.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Ядерный магнитный резонанс в жидкостях: ЯМР на протонах воды с добавлением медного купороса.

Тема 3. Макроскопическая теория ядерного магнитного резонанса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Макроскопическая спиновая намагниченность. Уравнения Блоха, уравнения движения ядерной намагниченности. Случай наличия и отсутствия релаксации. Уравнения Блоха в комплексной форме. Уравнения движения во вращающейся системе координат. Некоторые простые решения.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Стационарный способ регистрации сигнала ЯМР.

Тема 4. Методы наблюдения ядерного магнитного резонанса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Стационарный и импульсный методы наблюдения ядерного магнитного резонанса. Схема Пёрселла. Схема Блоха. Регистрация сигнала поглощения. Преимущества и недостатки различных методов. Характеристики некоторых важных магнитных ядер.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Регистрация сигнала ЯМР в режиме спинового эха. Измерение времени спин-решёточной релаксации.

Тема 5. Ширина и контур линии ядерного магнитного резонанса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Спин-спиновое и спин-решёточное взаимодействие. Лоренцевый контур спектральной линии. Влияние квадрупольного взаимодействия на форму линии. Расщепление линий. Отклонение формы линий от лоренцевой. Аппаратурные вклады.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Оценка неоднородности постоянного магнитного поля по сигналу ЯМР.

Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Восстановление продольной намагниченности, энергетические соотношения. Релаксация через излучение. Механизм Валлера. Порядок величин для времен спин-спиновой и спин-решёточной релаксации. Зависимость от концентрации спинов. Двухфононный механизм. Рамановский процесс. Высокие и низкие температуры. Модуляция электрического кристаллического поля. Теорема Крамерса. Процесс Орбаха-Аминова.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Оценка времен спин-решеточной релаксации для глицерина и воды.

Тема 7. Тонкая структура линий ядерного магнитного резонанса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Тонкая структура спектров ЯМР и спиновое расщепление. Множитель Ланде. Расщепление спиновых уровней энергии в нулевом поле, т. е. без наложения внешнего магнитного поля. Спектры высокого разрешения. Связь тонкой структуры спектров ЯМР с числом и магнитными свойствами ионов локального окружения исследуемого ядра.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

ЯМР смеси циклогексана и бензола.

Тема 8. Ядерный квадрупольный резонанс.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Квадрупольное сверхтонкое взаимодействие. Тензор квадрупольного момента ядра. Теорема Вигнера-Эккарта. Структура энергетических уровней ядра при наличии квадрупольного взаимодействия. Применение ЯКР. Изучение динамической структуры кристаллов. Определение критической температуры фазовых переходов второго рода.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Наблюдение спектров ядерного квадрупольного резонанса ядер азота.

Тема 9. Электронный парамагнитный резонанс, основные положения.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Резонансное поглощение электромагнитного излучения неспаренными электронами. Связь с методом ядерного магнитного резонанса, сходства и отличия. Область применения ЭПР, характер получаемой информации. Импульсный и непрерывный методы получения спектров. Масштабы частот резонансов и магнитных полей ЯМР и ЭПР.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Наблюдение электронного парамагнитного резонанса в кристалле $MgO:Mn^{2+}$.

Тема 10. Ширина линии и электронная спин-решеточная релаксация.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Характеристики спектров ЭПР. g-фактор. Амплитуда сигнала. Лоренцева форма линий в разбавленных растворах. Взаимодействие между парамагнитными центрами. Гауссова форма линии. Зависимость ширины линий спектра ЭПР от взаимодействия магнитного момента электрона с магнитными моментами окружающих ядер (решетки) и электронов.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Определение чувствительности ЭПР-спектрометра по спектру а-дифенил-б-пикрилгидразила (ДФПГ).

Тема 11. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура электронного парамагнитного резонанса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Уровни энергии парамагнитного атома во внешнем поле. Спектры ЭПР парамагнитных ионов, содержащих более одного неспаренного электрона ($S > 1/2$). Тонкая структура. Электронно-ядерные сверхтонкие взаимодействия и сверхтонкая структура линий магнитного резонанса. Взаимодействие электронов с ядрами соседних ионов, суперсверхтонкая структура спектров.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Тонкая структура спектров электронного парамагнитного резонанса в $\text{CaCO}_3:\text{Mn}^{2+}$.

Тема 12. Эффект Оверхаузера.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Увеличение поляризации ядерной магнитной системы при насыщении электронного парамагнитного резонанса. Сигнал ЯМР при насыщении ЭПР. Количественное описание эффекта Оверхаузера. Ядерный эффект Оверхаузера. Практические применения к определению межатомных расстояний. Определение трёхмерной структуры молекул.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Спектроскопия ЯМР С-13. Ядерный эффект Оверхаузера.

Тема 13. Ферромагнитный резонанс.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Ферромагнитный резонанс как один из видов магнитного резонанса. Динамическая магнитная восприимчивость. Уравнения Ландау-Лифшица. Тензор динамической магнитной восприимчивости. Ферромагнитный резонанс в малом эллипсоиде. Масштабы частот ФМР, характер получаемой информации. Практическое применение ФМР.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Наблюдение ферромагнитного резонанса в иттриевом феррогранате.

Тема 14. Основные характеристики магнитных материалов.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Классификация и основные характеристики магнитных материалов. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики, суперпарамагнетики, ферроэлектрики. Магнитные домены. Точка Кюри. Точка Нееля. Кривая намагничивания. Петли магнитного гистерезиса, предельная и частная. Индукция насыщения. Магнитная проницаемость. Магнитомягкие и магнитожёсткие материалы. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Определение точки Кюри α -Fe.

Тема 15. Силовые методы измерения магнитной восприимчивости.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод Гуи. Схема установки по измерению магнитной восприимчивости методом Гуи. Метод Фарадея. сила, действующая на образец в неоднородном магнитном поле. Силовые методы для жидкостей и растворов. Метод Квинке. Метод вискозиметра. Сравнительные преимущества и недостатки различных силовых методов измерения магнитной восприимчивости. Ограничения силовых методов.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Измерение магнитной восприимчивости железа методом Гуи.

Тема 16. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Мостовые методы измерения емкости, индуктивности, сопротивления. Связь импеданса катушки индуктивности с магнитными свойствами сердечника. Мостовой метод измерения магнитной восприимчивости в области слабых низкочастотных полей. Балансный метод.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Балансный метод измерения магнитной восприимчивости.

Тема 17. Автодинный метод измерения магнитной восприимчивости.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод слабых колебаний. Линейное приближение частоты колебательного контура. Дифференциальная восприимчивость. Тензор магнитной проницаемости. Случай низких частот. Автодинный метод наблюдения электронного парамагнитного резонанса.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Наблюдение кривых намагничивания тонкоплёночных образцов кремния, имплантированного железом, с помощью автодинного метода.

Тема 18. Сравнительные характеристики методов измерения магнитной восприимчивости тонкоплёночных образцов.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Тонкие магнитные плёнки. Свойства, описание, применение. Поверхностный эффект Керра, силовой и автодинный методы для измерения магнитной восприимчивости тонкоплёночных образцов. Пределы чувствительности, характер получаемой информации.

лабораторная работа (4 часа(ов)):

Наблюдение кривых намагничивания тонкоплёночных образцов кремния, имплантированного железом, с помощью экваториального эффекта Керра с регистрацией интенсивности отражённого излучения.

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. Ядерные моменты и гиромагнитные отношения.	7	1-2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Ядра во внешнем магнитном поле. Ядерный магнитный резонанс.	7	3-4	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
3.	Тема 3. Макроскопическая теория ядерного магнитного резонанса.	7	5-6	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
4.	Тема 4. Методы наблюдения ядерного магнитного резонанса.	7	7-8	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
5.	Тема 5. Ширина и контур линии ядерного магнитного резонанса.	7	9-10	подготовка к письменной работе	8	письменная работа
6.	Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация.	7	11-12	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
7.	Тема 7. Тонкая структура линий ядерного магнитного резонанса.	7	13-14	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
8.	Тема 8. Ядерный квадрупольный резонанс.	7	15-16	подготовка к устному опросу	3	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Электронный парамагнитный резонанс, основные положения.	7	17-18	подготовка к письменной работе	8	письменная работа
10.	Тема 10. Ширина линии и электронная спин-решеточная релаксация.	8	1-2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
11.	Тема 11. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура электронного парамагнитного резонанса.	8	3-4	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
12.	Тема 12. Эффект Оверхаузера.	8	5-6	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
13.	Тема 13. Ферромагнитный резонанс.	8	7-8	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
14.	Тема 14. Основные характеристики магнитных материалов.	8	9-10	подготовка к письменной работе	8	письменная работа
15.	Тема 15. Силовые методы измерения магнитной восприимчивости.	8	11-12	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
16.	Тема 16. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.	8	13-14	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
17.	Тема 17. Автодинный метод измерения магнитной восприимчивости.	8	15-16	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
18.	Тема 18. Сравнительные характеристики методов измерения магнитной восприимчивости тонкопленочных образцов.	8	17-18	подготовка к письменной работе	8	письменная работа
	Итого				72	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекции (использование проблемных ситуаций, демонстрационного эксперимента), лабораторные работы, самостоятельная работа студента (подготовка научных докладов), консультации; экспериментальная база лаборатории ядерной физики при кафедре ФТТ КФУ.

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

Тема 1. Ядерные моменты и гиромангнитные отношения.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Во сколько раз отличаются гиромангнитные отношения протона и электрона? 2. Как соотносятся ядерный магнетон и магнетон Бора? 3. Как соотносятся моменты количества движения протона и электрона? (Направлено на развитие компетенции ОПК-3)

Тема 2. Ядра во внешнем магнитном поле. Ядерный магнитный резонанс.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Чему равняется гиромангнитное отношение протона в МГц/Гс? 2. На каком явлении основан метод ЯМР-спектроскопии? 3. Какие ядра атомов могут вызывать сигнал в спектрах ЯМР? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 3. Макроскопическая теория ядерного магнитного резонанса.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Каковы закономерности Зеемановского расщепления уровней ядра? 2. Почему гиромангнитные отношения для нуклонов характеризуются g-фактором, существенно отличным от 2? 3. Что такое Ларморова прецессия? (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ОПК-8)

Тема 4. Методы наблюдения ядерного магнитного резонанса.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. В чём причина неудач первых попыток наблюдения ЯМР? 2. Какие ядра всегда имеют нулевой магнитный момент? 3. Как соотносятся ядерный магнетон и магнетон Бора? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 5. Ширина и контур линии ядерного магнитного резонанса.

письменная работа , примерные вопросы:

Примеры тем работ: 1. ЯМР в конденсированных средах 2. ЯМР в жидкости 3. Наблюдение ЯМР методом Q-метра (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ОПК-8, ПК-9)

Тема 6. Ядерная спин-решеточная релаксация.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Что отражает константа спин-спинового взаимодействия? От каких факторов она зависит, в каких единицах измеряется? 2. Что называется спиновой системой? 3. Какие возможны значения для времени спин-решеточной релаксации? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 7. Тонкая структура линий ядерного магнитного резонанса.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Какие значения может принимать частота ларморовской прецессии? 2. Какие методы наблюдения ЯМР Вам известны? 3. Ядра каких атомов не позволяют наблюдать ЯМР и почему? (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ПК-9)

Тема 8. Ядерный квадрупольный резонанс.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Как проявляется наличие у системы ядер времен продольной и поперечной релаксации? 2. Чем определяется разрешающая способность ЯМР спектрометра? 3. Какие факторы влияют на форму сигналов ЯМР: поглощения ν и дисперсии u ? (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ПК-9)

Тема 9. Электронный парамагнитный резонанс, основные положения.

письменная работа , примерные вопросы:

Примеры тем работ: 1. Экваториальный поверхностный эффект Керра 2. Применение метода ферромагнитного резонанса 3. Квантовая теория магнетизма в сравнении с классической (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ОПК-8, ПК-9)

Тема 10. Ширина линии и электронная спин-решеточная релаксация.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Каким физическим процессом или процессами определяется ширина линии ЭПР? 2. Какие значения по порядку величины может принимать время спин-решеточной релаксации в ЭПР? 3. Что такое ЭПР прямого усиления? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 11. Тонкая, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура электронного парамагнитного резонанса.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Что такое тонкая структура ЭПР-спектра? 2. Что такое тонкая сверхтонкая структура ЭПР-спектра и как она связана со сверхтонким расщеплением линий ЯМР? 3. Как может выглядеть спектр ЭПР иона Mn^{2+} с учётом сверхтонкой структуры? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 12. Эффект Оверхаузера.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Какую форму имеет линия поглощения ЯМР ларморовской прецессии? 2. Как квадрупольное взаимодействие искажает форму линии? 3. Какие существуют причины нелоренцевой формы линии поглощения ЯМР? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 13. Ферромагнитный резонанс.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Что описывают уравнения Блоха? 2. Каким закономерностям подчиняются магнитные моменты ядер в модели Шмидта? 3. Что такое сверхтонкие взаимодействия? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 14. Основные характеристики магнитных материалов.

письменная работа , примерные вопросы:

Примеры тем работ: 1. Модель Шмидта и оболочечная модель ядра: пределы применимости 2. Теорема Вигнера-Эккарта 3. Эффект Оверхаузера (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ОПК-8, ПК-9)

Тема 15. Силовые методы измерения магнитной восприимчивости.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Какую форму имеет линия поглощения ЯМР ларморовской прецессии? 2. Как квадрупольное взаимодействие искажает форму линии? 3. Какие существуют причины нелоренцевой формы линии поглощения ЯМР? (Направлено на развитие компетенций ОПК-8, ПК-9)

Тема 16. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Каким образом макроскопическая намагниченность возвращается в равновесное состояние? 2. Каков порядок величины для времени спин-спиновой и спин-решеточной релаксации? 3. Какие существуют виды релаксации? (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ПК-9)

Тема 17. Автодинный метод измерения магнитной восприимчивости.

устный опрос , примерные вопросы:

Примеры вопросов: 1. Что описывает множитель Ланде? 2. Что представляют собой спектры высокого разрешения? 3. Как связана тонкая структура спектров ЯМР с числом и магнитными свойствами ионов локального окружения исследуемого ядра? (Направлено на развитие компетенции ПК-9)

Тема 18. Сравнительные характеристики методов измерения магнитной восприимчивости тонкоплёночных образцов.

письменная работа , примерные вопросы:

Примеры тем работ: 1. ЯМР для определения структуры органических молекул 2. Практическое применение ЯКР на ядрах азота-14 3. Функция Фойгта в различных разделах спектроскопии (Направлено на развитие компетенций ОПК-3, ОПК-8, ПК-9)

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Билеты к экзамену:

Билет ♦1

1. Ядерные моменты и гиромангнитные отношения.
2. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.

Билет ♦2

1. Ядра во внешнем магнитном поле. ЯМР.
2. Эффект Оверхаузера.

Билет ♦3

1. Макроскопическая теория ЯМР.
2. Мостовые методы измерения магнитной восприимчивости.

Билет ♦4

1. Стационарные методы наблюдения ЯМР.
2. Ферромагнитный резонанс.

Билет ♦5

1. Нестационарные методы наблюдения ЯМР.
2. Силовые методы измерения магнитной восприимчивости.

Билет ♦6

1. Ширина линии ЯМР.
2. Автодинный метод измерения магнитной восприимчивости.

Билет ♦7

1. Контур линии ЯМР.
2. Особенности крутильного метода для измерения магнитной восприимчивости тонкопленочных образцов.

Билет ♦8

1. Ядерная спин-решеточная релаксация.
2. Особенности автодинного метода измерения магнитной восприимчивости тонкопленочных образцов.

Билет ♦9

1. Тонкая структура линий ядерного магнитного резонанса.
2. Ширина линий и электронная спин-решеточная релаксация.

Билет ♦10

1. Ядерный квадрупольный резонанс.
2. Сверхтонкая структура электронного парамагнитного резонанса

7.1. Основная литература:

1. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=469025>
2. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3, 500 экз.
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=363421>
3. Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: Учебное пособие / Под ред. И.Б. Крынецкого, Б.А. Струкова. - М.: ИНФРА-М, 2008. - 599 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-003288-7, 2000 экз.
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=142214>

7.2. Дополнительная литература:

1. Элементарная физика твердого тела : перевод с английского / Ч. Киттель ; Пер. А. А. Гусева .- Москва : Наука, 1965. - 366 с. : ил.
2. Введение в физику твердого тела : перевод с английского / Ч. Киттель ; Под ред. и пер. А. А. Гусева; Пер. А. В. Пахнева .- Москва : Наука, 1978 .- 792 с. : ил.
3. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=142214>

7.3. Интернет-ресурсы:

кафедра общей физики МГУ: ларморова прецессия -
http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/elmag/Lab326_20.pdf
физфак МГУ: электромагнитные моменты нуклонов и ядер -
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/ndb/ndb108.htm>
физфак МГУ: ядерный магнитный резонанс - <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e202.htm>
химфак МГУ: практический курс спектроскопии ЯМР -
http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/nifantev/2006_NMR.pdf
химфак МГУ: спектроскопия ЯМР высокого разрешения -
<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/ustyniuk-nmr-lectures/Lecture-1.pdf>
химфак УрГУ: учебное пособие -
http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1540/5/1334939_schoolbook.pdf

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Физические методы исследования твердых тел" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

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.

лабораторное оборудование лаборатории ядерной физики при кафедре ФТТ КФУ,
лабораторное оборудование кафедры физики молекулярных систем

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.02 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено.

Автор(ы):

Садыков Э.К. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Скворцов А.И. _____

"__" _____ 201__ г.