

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



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образовательной деятельности КФУ
Проф. Д.А. Таюрский

» _____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Техника радиоспектроскопии Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Дуглав А.В.

Рецензент(ы):

Егоров А.В.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

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

Учебно-методическая комиссия Института физики:

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

Регистрационный No 6146518

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) доцент, к.н. (доцент) Дуглав А.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Alexander.Dooglav@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Техника радиоспектроскопии" являются

- ознакомление с качественной картиной явления ЯМР и ЭПР;
- изучение блок-схем и принципов действия мостовых и автодинных датчиков ЯМР, а также датчиков, построенных по принципу Q-метра;
- изучение принципов импульсного ЯМР и ЭПР;
- изучение устройства и принципов работы основных функциональных узлов стационарных и импульсных спектрометров ЯМР и ЭПР.

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 03.03.03 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Профессиональный цикл БЗ. Необходимые "входные" знания: курс по радиоэлектронике, знание базовых схем радиоэлектронных устройств. Освоение данной дисциплины необходимо для всех последующих курсов, в которых рассматриваются вопросы, связанные с измерением спектров ЭПР и ЯМР, а также интерпретации результатов их измерений.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (ОПК-1)
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (ПК-1)
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-2)

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать качественную картину явления ЯМР и ЭПР;
- знать блок-схемы и принципы действия мостовых и автодинных датчиков ЯМР, а также датчиков, построенных по принципу Q-метра;
- знать принципы импульсного ЯМР и ЭПР;
- знать устройство и принципы работы основных функциональных узлов стационарных и импульсных спектрометров ЯМР и ЭПР.

2. должен уметь:

самостоятельно разбираться в блок-схемах спектрометров ЯМР и ЭПР

3. должен владеть:

терминологией, принятой в технике радиоспектроскопии

4. должен демонстрировать способность и готовность:

углубленного самостоятельного изучения появляющихся новых технических подходов в создании спектрометров ЯМР и ЭПР

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет 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. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.	7	1	2	2	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.	7	2	2	2	0	Устный опрос
3.	Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	3	2	2	0	Устный опрос
4.	Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	4	2	2	0	Устный опрос
5.	Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.	7	5	2	2	0	Письменная работа

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
6.	Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.	7	6	2	2	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.	7	7	2	2	0	Устный опрос
8.	Тема 8. Явление спиновое эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.	7	8	2	2	0	Устный опрос
9.	Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.	7	9	2	2	0	Письменная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Зачет
	Итого			18	18	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Классическое и квантовомеханическое рассмотрение явлений ЯМР и ЭПР. Сходство и различия. Величина резонансного поглощения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Свойства и характеристики колебательного контура. Влияние магнитного резонансного эффекта на его свойства.

Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Простейший видеоспектроскоп ЭПР. Блок-схема, принцип действия. Основные узлы СВЧ-тракта. Волноводы, соединение волноводов, дроссельный фланец. Аттенюаторы, ответвители. Ферритовые элементы: вентили, циркуляторы. Трансформаторы полных сопротивлений.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Исследование свойств поляризационного аттенюатора и ферритового вентиля на основе смещения поля.

Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Типы резонаторов, применяемых в спектрометрах ЭПР. Собственная, внешняя, нагруженная добротность резонатора. Факторы, влияющие на добротность. Размещение образца в резонаторе. Коэффициент заполнения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Практические конструкции резонаторов.

Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Отражательный клистрон. Современные источники СВЧ. Генераторы на лавинно-пролетном диоде, на диоде Ганна.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Практические конструкции генераторов на лавинно-пролетном диоде, на диоде Ганна. Режимы работы генераторов.

Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Чувствительность спектрометра. Типы шумов. Шум детектора, СВЧ-генератора. Микрофонный шум. Минимизация шумов. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр ЭПР с двойной модуляцией магнитного поля. Синхронное детектирование. Способы создания ВЧ модуляции. Спектрометр ЭПР супергетеродинного типа.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Практическое сравнение чувствительности спектрометров ЭПР X- и W-диапазонов.

Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Простая и мостовая схема спектрометра. Настройка спектрометра на измерение ЯМР-поглощения и дисперсии.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Сравнение свойств обычного и мостового спинового детектора, работающего по принципу Q-метра.

Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Понятие автодинного спинового детектора. Требования, предъявляемые к автодину. Схема Паунда-Найта. Автодин на туннельном диоде.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Знакомство с измерителем магнитной индукции Ш1-1, работающим по принципу автодина.

Тема 8. Явление спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Классическое рассмотрение явления спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР. Требования к резонатору, к колебательному контуру. Создание мощных коротких ВЧ-импульсов. Защита приемника от перегрузок.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Расчет характеристик искусственной четвертьволновой линии.

Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Явление ДЭЯР. Условия наблюдения ДЭЯР. Конструкции резонаторов ДЭЯР. Создание мощного радиочастотного поля.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Знакомство со спектрометром ДЭЯР на базе спектрометра ЭПР ELEXSUS E580.

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. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.	7	1	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.	7	2	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
3.	Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	3	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
4.	Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	4	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
5.	Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.	7	5	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
6.	Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.	7	6	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
7.	Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.	7	7	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
8.	Тема 8. Явление спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.	7	8	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
9.	Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.	7	9	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
	Итого				36	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курсы лекций и практических занятий, организованные по стандартной технологии

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

Тема 1. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекции и главы 2 книги А.Леше "Ядерная индукция"

Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 3 книги Ч.Пул "Техника ЭПР", главы 8 книги И.В.Лебедев "Техника и приборы СВЧ".

Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 4 книги Ч.Пул "Техника ЭПР", главы 3, 4 книги И.В.Лебедев "Техника и приборы СВЧ".

Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций и главы 2 книги Ч.Пул "Техника ЭПР". Проработка разделов книги Л.Г.Гассанов, А.А.Липатов, В.В.Марков, Н.А.Могильченко, "Твердотельные устройства СВЧ в технике связи", касающиеся генераторов на лавинно-пролетном диоде, на диоде Ганна

Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.

устный опрос , примерные вопросы:

Проработка материала лекций и главы 13 книги Ч.Пул "Техника ЭПР"

Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекции и главы 11 книги Ч.Пул "Техника ЭПР"

Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций.

Тема 8. Явление спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций.

Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 2, §3 книги А.Леше "Ядерная индукция".

Итоговая форма контроля

зачет

Примерные вопросы к зачету:

Проверка полученных студентами компетенций: ОПК-1 - при устном опросе (проверка усвоения материала лекций и рекомендованной литературы); ПК-1 и ПК-2 - при проведении практических занятий, при объяснении студентами результатов измерений и принципов работы аппаратуры

Зачет в соответствии с приведенной выше программой; контрольные тесты, формируемые на основе следующей литературы:

1. Ч.Пул. Техника ЭПР-спектроскопии. М., "Мир", 1970.
3. И.В.Лебедев. Техника и приборы СВЧ. М., 1970.
7. E.Fukushima, S.B.W.Roeder. Experimental Pulse NMR: A Nuts and Bolts Approach. Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1981.

Примерные вопросы к текущим формам тестирования:

1. На какие параметры колебательного контура влияет действительная часть восприимчивости спиновой системы?
2. На какие параметры колебательного контура влияет мнимая часть восприимчивости спиновой системы?
3. Каково главное достоинство спинового детектора, построенного по принципу Q-метра?
4. Каков главный недостаток автодинного спинового детектора?

5. Величина каких элементов контура, L , C или r_0 , изменяются при выполнении условий ЯМР?
6. Какой параметр колебательного контура (при заданной частоте) влияет на величину сигнала ЯМР?
7. Для чего в стационарных спектрометрах ЯМР применяется мелкая модуляция магнитного поля на частоте в несколько сот герц?
8. Назначение отрезка линии $\lambda/4$ между ЯМР-датчиком и входом предусилителя. Какой величины следует выбрать L и C в П-образной искусственной линии $\lambda/4$ на частоте 20 МГц, если выходное сопротивление передатчика и входное сопротивление приемника равны 100 Ом, а колебательный контур также согласован на 100 Ом?
9. Что означает "согласовать колебательный контур с входом приемника"? Методы согласования параллельного колебательного контура с входом приемника (перечислить). Каково должно быть соотношение числа витков согласующего трансформатора в соответствующей схеме согласования, если входное сопротивление приемника 50 Ом, а резонансное сопротивление контура 20 кОм?
10. Чем отличаются спектрометры ЭПР проходного и отражательного типа?
11. В чем состоит эффект Фарадея, используемый в СВЧ-устройствах на ферритах?
12. Для чего в спектрометре ЭПР используется высокочастотная модуляция постоянного магнитного поля?
13. Для чего в спектрометре ЭПР нужна система АПЧ?
14. В чем недостатки круглого цилиндрического резонатора с колебаниями H_{011} ?
15. Какой физический эффект используется в резонансном ферритовом вентиле?
16. Как решается проблема проникновения поля модуляции в резонатор?
17. Для чего к отверстиям в резонаторе, предназначенным для помещения образца, припаивают достаточно длинные цилиндрические металлические патрубки? Влияние патрубков объяснить.

Вопросы к зачету

1. Явление ЭПР и ЯМР. Классическое и квантовомеханическое рассмотрение. Величина резонансного поглощения.
2. Типы спектрометров ЭПР. Простейший видеоспектроскоп: блок-схема, принцип действия.
3. Основные узлы СВЧ-тракта. Волноводы, соединение волноводов, дроссельный фланец.
4. Атенюаторы, ответвители.
5. Ферритовые элементы: вентили, циркуляторы.
6. Трансформаторы полных сопротивлений.
7. Собственная, внешняя, нагруженная добротность резонатора. Факторы, влияющие на добротность. Размещение образца в резонаторе. Коэффициент заполнения.
8. Отражательный клистрон.
9. Современные источники СВЧ. Генераторы на лавинно-пролетном диоде, на диоде Ганна.
10. Типы шумов. Шум детектора, СВЧ-генератора. Микрофонный шум. Минимизация шумов.
11. Спектрометр ЭПР с двойной модуляцией магнитного поля. Синхронное детектирование. Способы создания ВЧ модуляции.
12. Спектрометр ЭПР супергетеродинного типа.
13. Импульсный спектрометр ЭПР. Измерение T_1 по восстановлению сигнала ЭПР после насыщения.
14. Спектрометр ЯМР автодинного типа. Схема Паунда-Найта.
15. Автодин на туннельном диоде.
16. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.
17. Явление спинового эха. ЭПР спектрометр спинового эха.
18. Импульсный спектрометр ЯМР, блок-схема.

19. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.

7.1. Основная литература:

1. М.М.Зарипов Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах: курс лекций. / М.М.Зарипов //- Казань: Казан.гос.ун-т, 2009. 212 с. : ил. ; 21 см. Библиогр.: с. 205-206 (24 назв.) . ISBN 978-5-98180-707-7, 225.
2. Электронные приборы и устройства: Учебник / Ф.А. Ткаченко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 682 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004658-7. <http://znanium.com/bookread.php?book=209952>
3. Физико-химические основы технологии строительных материалов: Учебно-методическое пособие / Я.Н. Ковалев. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 285 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-005580-0. <http://znanium.com/bookread.php?book=278683>

7.2. Дополнительная литература:

1. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: учеб. пособие для вузов/ И.Е. Иродов.- 3-е изд. Стереотип.-М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 256 с.:ил. <http://e.lanbook.com/view/book/4370/page178/>
2. Гиперзвук в физике твердого тела : перевод с английского / Дж. Такер, В. Рэмpton ; Пер. с англ. под ред. И. Г. Михайлова, В. А. Шутилова .? Москва : Мир, 1975 .? 453 с. : ил.

7.3. Интернет-ресурсы:

- Википедия - <http://ru.wikipedia.org>
Все для студента - <http://www.twirpx.com/>
Научная библиотека им. Н.И.Лобачевского - http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056
Техника ЭПР-спектроскопии - <http://knigi.tr200.net/v.php?id=1125210>
Электронно-библиотечная система - <http://ibooks.ru>
Электронные книги - <http://eknigi.org/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Техника радиоспектроскопии" 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.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, методички, Интернет

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Дуглав А.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.В. _____

"__" _____ 201__ г.