

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



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**

Техника радиоспектроскопии БЗ.ДВ.1

Направление подготовки: 011800.62 - 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 659314

Казань

2014

## 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 " БЗ.ДВ.1 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 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
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-14 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области информатики и современных информационных технологий, программными средствами и навыками работы в компьютерных сетях, использованию баз данных и ресурсов Интернет
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

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 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 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	0	0	устный опрос
2.	Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.	7	2-3	4	0	0	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	
3.	Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	4	2	0	0	устный опрос
4.	Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	5-6	4	2	0	устный опрос
5.	Тема 5. Чувствительность спектрометра. Типы шумов. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР.	7	7-9	6	2	0	устный опрос
6.	Тема 6. Измерение времени спин-решеточной релаксации. Импульсный спектрометр ЭПР.	7	10	2	0	0	устный опрос
7.	Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.	7	11	2	0	0	тестирование
8.	Тема 8. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.	7	12	2	0	0	устный опрос
9.	Тема 9. Явление спинового эха. ЭПР спектрометр спинового эха.	7	13	2	0	0	устный опрос
10.	Тема 10. Импульсный спектрометр ЯМР.	7	14	2	3	0	устный опрос
11.	Тема 11. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.	7	15	2	3	0	устный опрос
12.	Тема 12. Спектрометры акустического парамагнитного резонанса.	7	16	2	0	0	устный опрос
13.	Тема 13. Особенности конструкции спектрометров для исследования ЭПР и ЯМР при низких и сверхнизких температурах.	7	17	2	4	0	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	
14.	Тема 14. Вспомогательные приборы.	7	18	2	4	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	зачет
	Итого			36	18	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

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

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

#### *лекционное занятие (4 часа(ов)):*

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

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

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

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

### Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.

#### *лекционное занятие (4 часа(ов)):*

Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР. 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. Чувствительность спектрометра. Типы шумов. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР.

#### *лекционное занятие (6 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. Измерение времени спин-решеточной релаксации. Импульсный спектрометр ЭПР.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Измерение времени спин-решеточной релаксации. Измерение времени спин-решеточной релаксации по кривой насыщения сигнала ЭПР. Импульсный спектрометр ЭПР. Измерение T1 по восстановлению сигнала ЭПР после насыщения.

### Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.





Явление ЭПР и ЯМР.



рекомендованной литературы

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	2-3	Чтение рекомендованной литературы	5	устный опрос
3.	Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	4	Чтение рекомендованной литературы	5	устный опрос
4.	Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	5-6	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
5.	Тема 5. Чувствительность спектрометра. Типы шумов. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР.	7	7-9	Чтение рекомендованной литературы	5	устный опрос
6.	Тема 6. Измерение времени спин-решеточной релаксации. Импульсный спектрометр ЭПР.	7	10	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос
7.	Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.	7	11	Чтение рекомендованной литературы	6	тестирование
8.	Тема 8. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.	7	12	Чтение рекомендованной литературы	4	устный опрос
9.	Тема 9. Явление спинового эха. ЭПР спектрометр спинового эха.	7	13	подготовка к тестированию	8	устный опрос
10.	Тема 10. Импульсный спектрометр ЯМР.	7	14	Чтение рекомендованной литературы	5	устный опрос
11.	Тема 11. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.	7	15	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос
12.	Тема 12. Спектрометры акустического парамагнитного резонанса.	7	16	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
13.	Тема 13. Особенности конструкции спектрометров для исследования ЭПР и ЯМР при низких и сверхнизких температурах.	7	17	Чтение рекомендованной литературы	2	устный опрос
14.	Тема 14. Вспомогательные приборы.	7	18	Чтение рекомендованной литературы. Подготовка к зачету.	2	устный опрос
	Итого				54	

### 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. Чувствительность спектрометра. Типы шумов. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР.

устный опрос , примерные вопросы:

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

#### Тема 6. Измерение времени спин-решеточной релаксации. Импульсный спектрометр ЭПР.

устный опрос , примерные вопросы:

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

#### Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.

тестирование , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 3 книги А.Леше "Ядерная индукция". Проверка результатов самостоятельного поиска и изучения свойств основных каскадов усилителей (каскад с общим эмиттером, коллектором и базой). Проверка знания основных свойств колебательного контура.

#### **Тема 8. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций.

#### **Тема 9. Явление спинового эха. ЭПР спектрометр спинового эха.**

устный опрос , примерные вопросы:

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

#### **Тема 10. Импульсный спектрометр ЯМР.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы V, §C6, C8 книги E.Fukushima, S.B.W.Roeder. Experimental Pulse NMR: A Nuts and Bolts Approach

#### **Тема 11. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 10 книги Ч.Пул "Техника ЭПР"

#### **Тема 12. Спектрометры акустического парамагнитного резонанса.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 10, §6 книги Ч.Пул "Техника ЭПР", главы 3, §1-5 книги Дж.Такер, В.Рэмpton. "Гиперзвук в физике твердого тела".

#### **Тема 13. Особенности конструкции спектрометров для исследования ЭПР и ЯМР при низких и сверхнизких температурах.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, главы 8 книги Ч.Пул "Техника ЭПР"

#### **Тема 14. Вспомогательные приборы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проверка усвоения материала лекций, изучения технических описаний измерителей магнитного поля Ш1-1, Ш1-9, гетеродинных частотомеров ЧЗ-68, ЧЗ-69.

#### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Зачет в соответствии с приведенной выше программой; контрольные тесты формируются 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.

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 T1 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.
20. Акустический резонатор. Требования к обработке, преобразователю, акустической связке. Автодинные спектрометры акустического ЯМР.
21. Особенности конструкции спектрометров для исследования ЭПР при низких и сверхнизких температурах.
22. Измерения магнитного поля, сверхвысокой частоты, температуры.

### 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](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 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Дуглав А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.