

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. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Лаборатория по радиоспектроскопии БЗ.ДВ.9

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Егоров А.В.

**Рецензент(ы):**

Скирда В.Д.

**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

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) Егоров А.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Alexander.Egorov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Лаборатория по радиоспектроскопии" являются практические навыки регистрации спектров ЯМР и ЭПР, их обработки и интерпретации.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.9 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина "Лаборатория по радиоспектроскопии" выполняется в рамках вариативной части профессионального цикла (Б.3 ДВ9) подготовки бакалавров по направлению 011800.62 - "Радиофизика", не прослушавших курсы дисциплин "Основы теории спектров ЯМР" и "Основы теории спектров ЭПР". Обучаемые должны обладать знанием курсов общей физики, квантовой механики и линейной алгебры. Освоение данной дисциплины может потребоваться в процессе подготовки выпускных квалификационных работ, а также научно-исследовательской практики.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
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
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

теоретические основы спектроскопии ЯМР и ЭПР.

2. должен уметь:

интерпретировать спектры ЯМР и ЭПР.

3. должен владеть:

Владеть практическими навыками регистрации и обработки спектров ЯМР и ЭПР.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

самостоятельно проводить радиоспектроскопические измерения

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

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

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет 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. Движение свободных спинов в лабораторной и вращающейся системах координат (классический и квантовомеханический анализ).	8	1-5	9	0	0	домашнее задание
2.	Тема 2. Общая теория магнитного поглощения. Импульсный и стационарные сигналы ЯМР.	8	5-9	9	0	0	домашнее задание
3.	Тема 3. Теория спектров ЭПР ионов группы железа	8	10-14	9	0	0	устный опрос
4.	Тема 4. Теория спектров ЭПР редкоземельных ионов	8	14-18	9	0	0	устный опрос
5.	Тема 5. Стационарный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$	8	11,12	0	0	9	устный опрос
6.	Тема 6. Импульсный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$	8	13,14	0	0	9	устный опрос
7.	Тема 7. ЭПР $\text{Mn}^{2+}$ в $\text{CaF}_2$	8	15,16	0	0	9	устный опрос
8.	Тема 8. ЭПР $\text{Yb}^{3+}$ в $\text{PbF}_2$	8	17,18	0	0	9	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	зачет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
Итого				36	0	36	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Движение свободных спинов в лабораторной и вращающейся системах координат (классический и квантовомеханический анализ).

###### *лекционное занятие (9 часа(ов)):*

Введение. Ядерные магнитные моменты. Движение свободных спинов в лабораторной и вращающейся системах координат (классический и квантовомеханический анализ). ЯМР в системах связанных спинов. Адиабатически быстрое прохождение через резонанс. Релаксационные эффекты. Однородная и неоднородная ширина линии ЯМР. Уравнения Блоха. Медленное прохождение через резонанс. Комплексная парамагнитная восприимчивость.

##### Тема 2. Общая теория магнитного поглощения. Импульсный и стационарные сигналы ЯМР.

###### *лекционное занятие (9 часа(ов)):*

Теория отклика. Преобразование Фурье. Соотношения Крамерса-Кронига. Матрица плотности. Общая квантовомеханическая теория магнитного поглощения. Функция корреляции поперечной намагниченности. Магнитное диполь-дипольное взаимодействие в жесткой решетке. Моменты кривой резонансного поглощения. Гауссова и лоренцева функции формы линии ЯМР. Связь моментов линии ЯМР с функцией корреляции поперечной намагниченности.

##### Тема 3. Теория спектров ЭПР ионов группы железа

###### *лекционное занятие (9 часа(ов)):*

Магнитные свойства атома. Природа парамагнитного резонанса. Ширина, интенсивность и форма линии ЭПР. Спиновый гамильтониан. Тонкая структура спектра ЭПР. Сверхтонкая структура. Суперсверхтонкая структура. Возможности метода ЭПР.

##### Тема 4. Теория спектров ЭПР редкоземельных ионов

###### *лекционное занятие (9 часа(ов)):*

Свободные ионы. Соединения лантанидов. Кристаллическое электрическое поле. Эквивалентные операторы. Эффект Зеемана. Магнитное сверхтонкое взаимодействие.

##### Тема 5. Стационарный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$

###### *лабораторная работа (9 часа(ов)):*

Классическое и квантовомеханическое описание ЯМР. Методы наблюдения стационарного ЯМР. Устройство и принцип работы автодинного спектрометра. Регистрация спектров  $^{19}\text{F}$  в  $\text{CaF}_2$  в трех ориентациях. Вычисление вторых и четвертых моментов. Сравнение с расчетными.

##### Тема 6. Импульсный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$

###### *лабораторная работа (9 часа(ов)):*

Классическое описание импульсного ЯМР. Спиновое эхо. Устройство и принцип действия импульсного спектрометра. Методы измерения времен релаксации. Регистрация сигналов ЯМР. Измерение  $T_1$ . Фурье-преобразование и сравнение со стационарными спектрами.

##### Тема 7. ЭПР $\text{Mn}^{2+}$ в $\text{CaF}_2$

###### *лабораторная работа (9 часа(ов)):*

Устройство и принцип работы спектрометра ЯМР с двойной модуляцией. Теория спектров ЭПР ионов группы железа. Регистрация спектров ЭПР  $\text{Mn}^{2+}$ . Измерение параметров спинового гамильтониана.

##### Тема 8. ЭПР $\text{Yb}^{3+}$ в $\text{PbF}_2$

**лабораторная работа (9 часа(ов)):**

Основы теории спектров ЭПР редкоземельных ионов. Расчет параметров спинового гамильтониана  $Yb^{3+}$  - констант тонкого и сверхтонкого взаимодействия. Регистрация спектров при температуре жидкого гелия. Определение констант взаимодействия. Сравнение с экспериментом.

**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. Движение свободных спинов в лабораторной и вращающейся системах координат (классический и квантовомеханический анализ).	8	1-5	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
2.	Тема 2. Общая теория магнитного поглощения. Импульсный и стационарные сигналы ЯМР.	8	5-9	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
3.	Тема 3. Теория спектров ЭПР ионов группы железа	8	10-14	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
4.	Тема 4. Теория спектров ЭПР редкоземельных ионов	8	14-18	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
5.	Тема 5. Стационарный ЯМР $^{19}F$ в $CaF_2$	8	11,12	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
6.	Тема 6. Импульсный ЯМР $^{19}F$ в $CaF_2$	8	13,14	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
7.	Тема 7. ЭПР $Mn^{2+}$ в $CaF_2$	8	15,16	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
8.	Тема 8. ЭПР $Yb^{3+}$ в $PbF_2$	8	17,18	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
	Итого				72	

**5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Лекции, лабораторные работы.

**6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов****Тема 1. Движение свободных спинов в лабораторной и вращающейся системах координат (классический и квантовомеханический анализ).**

домашнее задание , примерные вопросы:

Рассчитать величину сигнала ССИ 19F в CaF<sub>2</sub>. Частота 10МГц, температура 300К, объем катушки и образца равен 1 см<sup>3</sup>, катушка содержит 10 витков диаметром 6мм, добротность контура -50. Оценить величину отношения сигнал/шум.

## **Тема 2. Общая теория магнитного поглощения. Импульсный и стационарные сигналы ЯМР.**

домашнее задание , примерные вопросы:

В кристаллическом веществе на ядерный спин действует локальное статическое поле  $h$ , направленное вдоль кристаллографической оси  $c$ . Рассчитать форму линии ЯМР в порошке.

## **Тема 3. Теория спектров ЭПР ионов группы железа**

устный опрос , примерные вопросы:

Спиновый гамильтониан. Разрешенные и запрещенные переходы. Спин-орбитальное взаимодействие.

## **Тема 4. Теория спектров ЭПР редкоземельных ионов**

устный опрос , примерные вопросы:

Эквивалентные операторы

## **Тема 5. Стационарный ЯМР 19F в CaF<sub>2</sub>**

устный опрос , примерные вопросы:

Классическое и квантовомеханическое описание ЯМР. Методы наблюдения стационарного ЯМР. Устройство и принцип работы автодинного спектрометра. Вычисление вторых и четвертых моментов.

## **Тема 6. Импульсный ЯМР 19F в CaF<sub>2</sub>**

устный опрос , примерные вопросы:

Классическое описание импульсного ЯМР. Спиновое эхо. Устройство и принцип действия импульсного спектрометра. Методы измерения времен релаксации.

## **Тема 7. ЭПР Mn<sup>2+</sup> в CaF<sub>2</sub>**

устный опрос , примерные вопросы:

Устройство и принцип работы спектрометра ЯМР с двойной модуляцией. Теория спектров ЭПР ионов группы железа. Спиновый гамильтониан.

## **Тема 8. ЭПР Yb<sup>3+</sup> в RbF<sub>2</sub>**

устный опрос , примерные вопросы:

Основы теории спектров ЭПР редкоземельных ионов. Расчет параметров спинового гамильтониана Yb<sup>3+</sup> - констант тонкого и сверхтонкого взаимодействия.

## **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Контрольные вопросы и задания указаны в учебно-методических пособиях - описаниях лабораторных работ.

### **7.1. Основная литература:**

1. М.М.Зарипов Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах: курс лекций. - Казань: Казан.гос.ун-т, 2009
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. Аганов, А. В. Спектроскопия ЯМР высокого разрешения в Казанском университете / А. В. Аганов, Р. М. Аминова, А. А. Нафикова .? Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2006 (Казань : Изд-во Казан. ун-та) .? 65, [2] с., [8] л. ил., портр., цв. ил., портр. ; 20 см .? На обл.: К 200-летию Казанского университета .? Библиогр.: с. 59-65 .? ISBN 5-7464-1402-6.

### **7.2. Дополнительная литература:**



1. Учебно-методическое пособие для специалистов в области ЭПР "ЭПР спектрометр Elexsys500. Часть 3: Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР)" [электронный ресурс] /А.В. Дуглав, Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, М.Р. Гафуров, Н.И. Силкин // Казань 2012 -- <http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/elexsys580-DEER.pdf>
2. Методическое пособие "Настройка спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии Elexsys и измерение спектров ЭПР в стационарном режиме" / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин // 2014. [http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X\\_band\\_CW.pdf](http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X_band_CW.pdf)
3. Егоров А.В., Тагиров М.С., Исследование формы линии ЯМР 19F В CaF2 (метод моментов., Учебно-методическое пособие, ИФ КФУ, 2013, 55с.  
[http://kpfu.ru/publication?p\\_id=72489](http://kpfu.ru/publication?p_id=72489)
4. Егоров А.В., Тагиров М.С., Исследование формы линии ЯМР 19F В CaF2 (метод моментов., Учебно-методическое пособие, ИФ КФУ, 2013, 55с.  
[http://kpfu.ru/publication?p\\_id=72516](http://kpfu.ru/publication?p_id=72516)
5. А.Абрагам, Б.Блини. Электронный парамагнитный резонанс М., Мир, Т.1,2, 1973
6. С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.Наука, 1972
7. Ядерный магнетизм / А. Абрагам; пер. с англ. под ред. Г. В. Скроцкого. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1963. 551 с
8. Основы теории магнитного резонанса: перевод с английского / Ч. Сликтер; Пер. Н. Н. Корста и др.; Под ред. Г. В. Скроцкого. Издание 2-е, пересмотренное, дополненное и исправленное. Москва: Мир, 1981. 448 с

### 7.3. Интернет-ресурсы:

американское физическое общество - [www.aps.org](http://www.aps.org)

казанский университет - [www.kpfu.ru](http://www.kpfu.ru)

научная поисковая система - [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

свободная энциклопедия - [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)

электронная библиотека - [www.ekniga.ru](http://www.ekniga.ru)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Лаборатория по 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.



## Лабораторные спектрометры ЯМР и ЭПР.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиопизика" и профилю подготовки Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Егоров А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Скирда В.Д. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.