

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. Тагиров Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Специальный практикум по импульсному электронно-парамагнитному резонансу Б1.В.ОД.6

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Мамин Г.В.

**Рецензент(ы):**

Орлинский С.Б.

**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 6143617

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) доцент, к.н. Мамин Г.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, George.Mamin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Лабораторный практикум предназначен для закрепления у студентов теоретических знаний, полученных при изучении курсов по спектроскопии ЭПР, а также получения ими практических навыков работы со спектрометрами и обработки полученных данных.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ОД.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.03 Радиофизика и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Для прохождения данного практикума студента должны прослушать курсы "Техника радиоспектроскопии" и "Основы теории спектров ЭПР". Полученные навыки могут быть использованы студентами в дальнейшем при прохождении научно-исследовательской практики и в научно-исследовательской работе в рамках магистерской программы "Физика магнитных явлений".

### 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)	способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта Преподаваемый материал предусматривает обзор разделов физики соответствующих следующим разделам ?Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации Индустрия наносистем, Науки о жизни, Рациональное природопользование, таким образом готовя слушателей курса к решению научно-инновационных задач.
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью описывать новые методики инженерно-технологической деятельности Результаты самостоятельной работы оформляются слушателями курса в соответствии с правилами оформления научных отчетов ГОСТ 7.32-2001, что формирует у слушателей курса навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Основные методы измерений спектров ЭПР, ДЭЯР, ЭПР-релаксации

2. должен уметь:

Записывать и расшифровывать спектры импульсного ЭПР, расшифровывать тонкую, сверхтонкую и суперсверхтонкую структуру спектров ЭПР. Записывать и расшифровывать спектры ДЭЯР. Записывать и расшифровывать спектры HYSCORE. Измерять времена продольной и поперечной релаксаций.

3. должен владеть:

Навыками работы на спектрометре ЭПР и методами измерения спектров ЭПР и релаксационных кривых. Навыками вычисления и измерения основных спектроскопических и релаксационных параметров.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Выполнять измерения на современных спектрометрах ЭПР, применяя полученные знания для получения достоверных спектроскопических и релаксационных характеристик.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет во 2 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. Исследование импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, спектров ДЭЯР, спектров HYSCORE карбонизированных образцов	2	4-9	0	0	21	Отчет Тестирование

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. Исследование фотовозбужденных импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, оптических временных характеристик перспективных материалов для квантовых компьютеров.	2	9-16	0	0	21	Отчет
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	Зачет
	Итого			0	0	42	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Исследование импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, спектров ДЭЯР, спектров HYSCORE карбонизированных образцов**

**лабораторная работа (21 часа(ов)):**

В настоящей лабораторной работе предлагается провести детальное изучение методов стационарной и импульсной ЭПР-спектроскопии на основе стандартного карбонизированного образца. Этапы лаб. работы: 1. Наблюдение сигналов ССИ и спинового эха. Настройка спектрометра для получения максимального сигнала. 2. Запись спектров ЭПР полученных с помощью методики детектирования электронного спинового эха. 3. Измерение продольной и поперечной времен релаксаций. 4. Измерение спектров ДЭЯР по методикам Mims и Davies. 5. Измерение двумерного спектра HYSCORE.

**Тема 2. Исследование фотовозбужденных импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, оптических временных характеристик перспективных материалов для квантовых компьютеров.**

**лабораторная работа (21 часа(ов)):**

В настоящей лабораторной работе предлагается провести детальное изучение методов стационарной и импульсной высокочастотной ЭПР-спектроскопии на основе NV-дефектов в алмазе, являющимся перспективным материалом для квантовых компьютеров. Этапы лаб. работы: 1. Вывод ориентации образца в по отношении к направлению магнитного поля. 2. Запись спектров ЭПР полученных с помощью методики детектирования электронного спинового эха. Изучение влияния лазерного облучения образца на спектры. 4. Измерение продольной и поперечной времен релаксаций. 5. Измерение временных характеристик NV-дефектов в алмазе, определение времени регенерации памяти на основе NV-дефекта.

#### 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. Исследование импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, спектров ДЭЯР, спектров HUSCORE карбонизированных образцов	2	4-9	подготовка к тестированию	10	тестирование
				Студенты составляют отчет содержащий основные виды импульсных последовательностей	23	отчет
2.	Тема 2. Исследование фотовозбужденных импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, оптических временных характеристик перспективных материалов для квантовых компьютеров.	2	9-16	Студенты ищут научные материалы о NV-дефектах в алмазах и составляют их в отчет	20	отчет
				Студенты ищут научные материалы о квантовых компьютерах и составляют их в отчет	13	отчет
	Итого				66	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лабораторные работы, самостоятельная работа студентов, консультации. Работа студентов с современными научными программными пакетами. Вывод результатов работы в интерактивном виде.

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

### Тема 1. Исследование импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, спектров ДЭЯР, спектров HUSCORE карбонизированных образцов

отчет , примерные вопросы:

Студенты составляют отчет содержащий основные виды импульсных последовательностей тестирование , примерные вопросы:

Студенты проходят тестирование, направленное на контроль усвоения ими основных методик стационарной и импульсной ЭПР-спектроскопии.

### Тема 2. Исследование фотовозбужденных импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, оптических временных характеристик перспективных материалов для квантовых компьютеров.

отчет, примеры вопросы:

Студенты ищут научные материалы о квантовых компьютерах и составляют их в отчет отчет , примерные вопросы:

Студенты ищут научные материалы о NV-дефектах в алмазах и составляют их в отчет

### Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Текущий контроль работы студентов и итоговый зачет

Первый блок

- 1 Можно ли работать с СВЧ трактом спектрометра ЭПР не включив водяное охлаждение?
- 2 Чему соответствует оптимальное согласование ЭПР резонатора с СВЧ трактом в окне режима "tune"?
- 3 За что отвечает элемент "Bias"?
- 4 Ширина линии ЭПР 0.1 гаусс, требуется померить форму линии, какое значение модуляции магнитного поля нужно выбрать?
- 5 Ширина линии ЭПР 0.1 гаусс, требуется померить только интенсивность линии, какое значение модуляции магнитного поля нужно выбрать?
- 6 Ширина линии ЭПР 1000 гаусс, какое значение модуляции магнитного поля нужно выбрать?
- 7 Известно, что время продольной релаксации исследуемого парамагнитного центра имеет значение более 1 мс (медленная релаксация). При каком значении СВЧ мощности можно наблюдать сигнал ЭПР?
- 8 Значение развертки магнитного поля равно 100 гаусс, спектр ЭПР состоит из линий шириной 1 гаусс, время записи спектра равно 3 минутам. Какое значение постоянной времени необходимо выбрать?
- 9 Значение развертки магнитного поля равно 800 гаусс, спектр ЭПР состоит из линий шириной 1 гаусс, время записи спектра равно 5 минутам. Какое количество точек необходимо установить для корректной записи спектра?

Второй блок

- 1 Можно ли работать в импульсном режиме спектрометра, когда добротность резонатора выше 500?
- 2 Согласование ЭПР резонатора с СВЧ трактом далеко от оптимального, какие эффекты можно ожидать?
- 3 Какого цвета линия канала соответствующего фазе 0, а какого 90°?
- 4 Что регулирует High Power Attenuation?
- 5 На каком значении Video Gain происходит настройка импульсного режима?
- 6 Можно ли выключать в импульсном режиме предусилитель "MW Amplifier"?
- 7 Нужно ли включать для импульсного режима опорное плечо спектрометра "Reference arm"?
- 8 Ширина линии ЭПР 1 гаусс,  $g=2$ , требуется померить форму линии с помощью детектирования амплитуды спинового эха, какое значение длительности импульсов нужно выбрать?
- 9 Ширина линии ЭПР 1 гаусс,  $g=2$ , требуется померить форму линии с помощью методики FFT, какое значение длительности импульсов нужно выбрать?
- 10 Ширина линии ЭПР 1000 гаусс,  $g=2$ , требуется померить форму линии с помощью детектирования амплитуды спинового эха, какое значение длительности импульсов нужно выбрать?
- 11 При заданной температуре время продольной релаксации 1 мс. Какое время SRT выбрать? Какое будет время измерения 1 спектра или релаксационной кривой состоящей из 1024 точек при 1024 накоплений на точку?
- 12 В кристалле CaF<sub>2</sub> (плотность  $\rho=3,2$  г/см<sup>3</sup>, молярная масса  $M=40+19*2=78$  г/моль) внедрена примесь ионов Mn<sup>2+</sup> ( $S=5/2$ ) в количестве 5 атомарных в пересчете на Ca процентов. В стационарном режиме виден мощный сигнал ЭПР? Можно ли увидеть ЭСЭ в импульсном режиме?
- 13 При заданной температуре время продольной релаксации составляет 0.01 мкс. Можно ли увидеть ЭСЭ в импульсном режиме?

### 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
2. Ткаченко Ф. А. 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. Першин В. Т. Формирование и генерирование сигналов в цифровой радиосвязи: Учебное пособие / В.Т. Першин. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 614 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-006703-2, 600 экз. <http://www.znanium.com/bookread.php?book=405030>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Методическое пособие "ЭПР спектрометр Elexsys580. Часть 2: Импульсный режим, настройка и работа" / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин // 2014. электронный образовательный ресурс [http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X\\_band\\_pulse.pdf](http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X_band_pulse.pdf)
2. Методическое пособие "ЭПР спектрометр Elexsys E580. Часть 3: Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР)" / А.В. Дуглав, Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, М.Р. Гафуров, Н.И. Силкин // 2014. электронный образовательный ресурс <http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/elexsys580-DEER.pdf>
3. Электронный парамагнитный резонанс ионов переходных групп, Том. II / А. Абрагам, Б. Блини, Том. II, Мир, Москва, 1973, 349с
4. Альтшулер С. А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс, М.: Наука, 1972.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Методические пособия - <http://www.gmamin.kpfu.ru>  
Поисковая система Scopus - <http://www.scopus.com/home.url>  
Программа Balls & Sticks - <http://www.toycrate.org/bs/index.html>  
Программа Easyspin - <http://www.easyspin.org/>  
Программа Матлаб - [www.mathworks.com/](http://www.mathworks.com/)  
Сайт издателя Elsevier - <http://elsevierscience.ru/>  
Сайт фирмы Брукер - [www.bruker-biospin.de](http://www.bruker-biospin.de)  
Центр коллективного пользования КПФУ - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=11446](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=11446)

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

Освоение дисциплины "Специальный практикум по импульсному электронно-парамагнитному резонансу" 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 оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

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.

Спектрометр ЭПР ESP -300 фирмы Брукер, спектрометр ЭПР E-680 фирмы Брукер.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Мамин Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Орлинский С.Б. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.