

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

Экспериментальные методы электронного парамагнитного резонанса

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Мамин Г.В. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), George.Mamin@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-4	Способность к свободному владению профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, использованию современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
ПК-2	Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки) и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-6	Способность составлять обзоры перспективных направлений научно-инновационных исследований, готовность к написанию и оформлению патентов в соответствии с правилами

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Основные методы измерений спектров ЭПР, ДЭЯР, ЭПР-релаксации

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 HSCORE. Измерять времена продольной и поперечной релаксаций.

Должен владеть:

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

Должен демонстрировать способность и готовность:

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

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.03 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Физика магнитных явлений)" и относится к вариативной части.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

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

Контактная работа - 26 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 26 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 46 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 1 семестре.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Исследование импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, спектров ДЭЯР, спектров HYSORE карбонизированных образцов	1	0	0	10	20
2.	Тема 2. Исследование фотовозбужденных импульсных спектров ЭПР, времен релаксаций, оптических временных характеристик перспективных материалов для квантовых компьютеров.	1	0	0	10	20
3.	Тема 3. Матрица плотности и импульсные последовательности.	1	0	0	6	6
	Итого		0	0	26	46

##### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

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

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 двухмерного спектра HYSORE.

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

В настоящей лабораторной работе предлагается провести детальное изучение методов стационарной и импульсной высокочастотной ЭПР-спектроскопии на основе NV-дефектов в алмазе, являющимися 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.

#### Тема 3. Матрица плотности и импульсные последовательности.

Лабораторная работа посвящена получения навыков применения аппарата функционала матрицы плотности. Рассматривается уравнение Шредингера и его переход к системе связанных частиц в уравнении Лиувилля. Студенты проводят вычисления на компьютере для заданных преподавателем импульсных последовательностей и сравнивают полученные результаты с экспериментальными данными.

#### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Сайт пакета EasySpin - <http://www.easyspin.org/>

Сайт с пакетом Matlab - <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Сайт фирмы Брукер - <https://www.bruker.com/epr.html>

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС З++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

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)

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	Выполнение лабораторной работы состоит из следующих этапов: 1. Самостоятельное ознакомление с учебно-методическими указаниями к лабораторной работе. 2. Сдача теоретических основ, необходимых для выполнения работы и понимания полученных результатов. 3. Выполнение практических упражнений на компьютере для формирования предварительных навыков работы на научном оборудовании. 4. Изучение блок-схемы установки и порядка включения-измерения-выключения установки. 5. Само выполнение лабораторной работы. 6. Написание отчета о проделанной работе
самостоятельная работа	Студенты должны самостоятельно изучить учебно-методические указания к лабораторной работе. В процессе изучения рекомендуется также сопоставлять полученные знания с информацией спецкурсов "Основы спектров ЭПР" и т.п. Для выполнения практических упражнений на компьютере рекомендуется самостоятельно установить на личном компьютере пакеты Matlab и Easyspin и провести несколько дополнительных расчетов с параметрами отличными от заданных преподавателем
зачет	Зачет проводится после сдачи студентами двух лабораторных работ. При подготовке к сдаче зачета рекомендуется еще раз прочитать теоретические части учебно-методических пособий. На зачете разрешается пользоваться схемами и рисунками учебно-методических пособий. Основная цель зачета проверить способность связать теоретические знания студентов и полученные ими в результате лабораторной работы практические результаты. Студентам рекомендуется подготовить ответы по связи теории и практики.

### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

### 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

Специализированная лаборатория.

Специализированная лаборатория.

### 12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

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

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.03 Экспериментальные методы электронного  
парамагнитного резонанса

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

**Основная литература:**

1. 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). - Режим доступа: <http://www.znaniium.com/bookread.php?book=405030>
2. Осадько, И.С. Квантовая динамика молекул, взаимодействующих с фотонами, фононами и туннельными системами [Электронный ресурс] / И.С. Осадько. ? Электрон. дан. - Москва: Физматлит, 2018. - 368 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105025>. ? Загл. с экрана.
3. Бельская Н.П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика. В 3 ч. Ч. 2: Учебное пособие / Бельская Н.П., Ельцов О.С., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, 2018. - 124 с. - Режим доступа:<http://znaniium.com/bookread2.php?book=966424>
- 4.Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. - Режим доступа: <http://znaniium.com/bookread2.php?book=469025>
5. Стационарный режим спектрометра ЭПР. Настройка спектрометра и измерение спектров ЭПР на примере спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии Elexsys: Методическое пособие / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, А.В. Дуглав. Казань: Казанский федеральный университет, 2017. - 64 с. - Режим доступа: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/116463>

**Дополнительная литература:**

1. ЭПР спектрометр Elexsys580. Часть 2: Импульсный режим, настройка и работа : методическое пособие / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин // Казань: Казанский федеральный университет, 2017. - 65 с. - [Электронныйресурс] - Режим доступа: [http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X\\_band\\_pulse.pdf](http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/X_band_pulse.pdf)
2. ЭПР спектрометр Elexsys E580. Часть 3: Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР): методическое пособие / А.В. Дуглав , Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, М.Р. Гафуров ,Н.И. Силкин. - Казань: Казанский федеральный университет, 2012. - 48 с. - [Электронныйресурс] - Режим доступа: <http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/elexsys580-DEER.pdf>
3. Костюков В.В. Основы ядерного магнитного резонанса: Учебное пособие/Евстигнеев М.П., Лантушенко А.О., Костюков В.В. и др. - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 247 с. - Режим доступа: <http://znaniium.com/bookread2.php?book=496299>
4. Сизиков, В.С. Прямые и обратные задачи восстановления изображений, спектроскопии и томографии с MatLab [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Сизиков. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 412 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99358>. ? Загл. с экрана.

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.03 Экспериментальные методы электронного  
парамагнитного резонанса

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. 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, учебно-методические комплексы, 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 образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. 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.