

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



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Лаборатория по изучению магнитных свойств квантовых систем

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## 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:

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
ПК-2	способностью использовать основные методы радиофизических измерений
ПК-3	способностью исследовать свойства веществ радиофизическими методами
ПК-6	способностью внедрять готовые научные разработки

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Способы записи спектров ЭПР и ЯМР.

Должен уметь:

Интерпретировать спектры ЯМР и ЭПР. Получать основные спектроскопические параметры.

Должен владеть:

Владеть практическими навыками регистрации и обработки спектров ЯМР и ЭПР.

Должен демонстрировать способность и готовность:

самостоятельно проводить радиоспектроскопические измерения

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.11.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (Квантовая и СВЧ электроника)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 8 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 - 60 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 60 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 12 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 8 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	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тель-ная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Стационарный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$	8	0	0	0	0	13	0	5
2.	Тема 2. Импульсный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$	8	0	0	0	0	13	0	5
3.	Тема 3. ЭПР $\text{Mn}^{2+}$ в $\text{CaF}_2$	8	0	0	0	0	13	0	5
4.	Тема 4. ЭПР $\text{Yb}^{3+}$ в $\text{PbF}_2$	8	0	0	0	0	13	0	5
	Итого		0	0	0	0	52	0	20

##### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

###### Тема 1. Стационарный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$

Устройство стационарного спектрометра. Ядерного магнитного резонанса. Двойная модуляция. Синхронное детектирование. Измерение спектров поглощения  $^{19}\text{F}$  в  $\text{CaF}_2$  в случаях, когда магнитное поле параллельно кристаллографическим осям  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$ . Обработка экспериментальных данных, сравнение с расчетными.

###### Тема 2. Импульсный ЯМР $^{19}\text{F}$ в $\text{CaF}_2$

Устройство и принцип действия импульсного спектрометра ЯМР прямого преобразования с квадратурным детектированием. Датчик однокатушечного импульсного спектрометра. Коммутация датчика с использованием четвертьволновой цепи. Регистрация ССИ  $^{19}\text{F}$  в  $\text{CaF}_2$  в случаях, когда магнитное поле параллельно кристаллографическим осям  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$ . Обработка сигналов, сравнение с теоретическими данными. Измерение времени спин-решеточной релаксации.

###### Тема 3. ЭПР $\text{Mn}^{2+}$ в $\text{CaF}_2$

Спектрометр Электронного парамагнитного резонанса с двойной модуляцией. СВЧ-тракт. Принцип действия системы АПЧ клистрона. Измерение магнитного поля. Регистрация спектров ЭПР  $\text{Mn}^{2+}$  (магнитное поле параллельно оси  $C_4$ ). Расшифровка спектра. Определение g-фактора. Определение констант тонкой и суперсверхтонкой структуры.

###### Тема 4. ЭПР $\text{Yb}^{3+}$ в $\text{PbF}_2$

Настройка спектрометра Электронного парамагнитного резонанса. Вывод ориентации кристалла. Регистрация спектров  $\text{Yb}^{3+}$  при температуре жидкого гелия. Идентификация вкладов разных изотопов в спектр. Определение параметров спинового гамильтониана для всех изотопов иттербия.

Сравнение с расчетными 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 науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/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

## **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 3++ - 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)**

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)

**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 4 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.

Специализированная лаборатория.

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 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки "Квантовая и СВЧ электроника".

*Приложение 2*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.В.ДВ.11.01 Лаборатория по изучению магнитных свойств*  
*квантовых систем*

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

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

**Основная литература:**

1. Бельская, Н. П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика : учебное пособие : в 3 частях. Часть 2 / Н. П. Бельская, О. С. Ельцов , - 2-е изд., стер. - Москва : Флинта, 2018. - 124 с. - ISBN 978-5-9765-3557-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966424> (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - Москва : Логос, 2020. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1213078> (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Настройка спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии Elexsys и измерение спектров ЭПР в стационарном режиме: учебно-методическое пособие // Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин. - Казань: Казанский федеральный университет, 2017. - 56 с. - Текст электронный. - URL : [https://kpfu.ru/staff\\_files/F935850137/X\\_band\\_CW\\_2017\\_09\\_22.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F935850137/X_band_CW_2017_09_22.pdf) (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: открытый

**Дополнительная литература:**

1. Зарипов, Максуд Мухаметзянович. Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах : курс лекций / М. М. Зарипов . - Казань : Казанский государственный университет, 2009. - 212 с. (17 экз. - НБ КФУ).
2. ЭПР спектрометр Elexsys 580. Часть 3: Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР) : учебно-методическое пособие / А.В. Дуглав, Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин и др. - Казань: Институт физики, 2012. - 48 с. - Текст электронный. - URL : [https://repository.kpfu.ru/?p\\_id=35473](https://repository.kpfu.ru/?p_id=35473) (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Егоров А.В. Исследование формы линии ЯМР  $^{19}\text{F}$  в  $\text{CaF}_2$  (метод моментов): учебно-методическое пособие / А.В. Егоров, М.С. Тагиров. - Казань: Институт физики, 2013. - 55 с. - Текст электронный. - URL: [https://kpfu.ru/publication?p\\_id=72516](https://kpfu.ru/publication?p_id=72516) (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.11.01 Лаборатория по изучению магнитных свойств  
квантовых систем*

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

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

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.