

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**

Техника СВЧ для приборов магнитного резонанса

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: 2024

## 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): старший преподаватель, к.н. (доцент) Дуглав А.В. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), Alexander.Dooglav@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
ПК-1	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования
ПК-4	способностью использовать базовые знания в области математики для решения радиофизических задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

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.

Должен уметь:

самостоятельно разбираться в блок-схемах спектрометров ЯМР и ЭПР

Должен владеть:

терминологией, принятой в технике радиоспектроскопии

Должен демонстрировать способность и готовность:

углубленного самостоятельного изучения появляющихся новых технических подходов в создании спектрометров ЯМР и ЭПР

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.07.01 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 7 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 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 32 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 22 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 54 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 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	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение. Явление ЭПР и ЯМР.	7	2	0	0	0	0	0	0
2.	Тема 2. Типы спектрометров ЭПР. Основные узлы СВЧ-тракта спектрометра.	7	2	0	2	0	0	0	4
3.	Тема 3. СВЧ-резонаторы, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	2	0	2	0	0	0	4
4.	Тема 4. Генераторы СВЧ, применяемые в спектрометрах ЭПР.	7	2	0	2	0	0	0	4
5.	Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.	7	2	0	2	0	0	0	2
6.	Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.	7	2	0	0	0	0	0	2
7.	Тема 7. Спектрометр ЯМР автодинного типа.	7	2	0	2	0	0	0	2
8.	Тема 8. Явление спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.	7	2	0	2	0	0	0	2
9.	Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.	7	2	0	2	0	0	0	2
	Итого		18	0	14	0	0	0	22

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

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

Классическое и квантовомеханическое рассмотрение явлений ЯМР и ЭПР. Сходство и различия. Получение круговополяризованного поля. Характерные частоты ЭПР. Величина резонансного поглощения. Явление насыщения. Восстановление разности населенностей уровней энергии квантовой системы после воздействия на нее. Явление спин-решеточной релаксации.

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

Простейший видеоспектроскоп ЭПР. Блок-схема, принцип действия. Основные узлы СВЧ-тракта. Волноводы, соединение волноводов, дроссельный фланец. Атенюаторы, ответвители. Поляризационный аттенюатор. Ферритовые элементы: вентили, циркуляторы. Резонансный вентиль. Вентиль на смещении поля. Трансформаторы полных сопротивлений.

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

Типы резонаторов, применяемых в спектрометрах ЭПР. Собственная, внешняя, нагруженная добротность резонатора. Факторы, влияющие на добротность. Размещение образца в резонаторе. Коэффициент заполнения. Отверстия в стенках резонатора. Размещение дополнительных элементов (проводников, катушек) в резонаторе. Связь резонатора с волноводом.

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

Отражательный клистрон. Устройство, принцип работы. Зависимость частоты генерации от напряжения на отражателе. Достоинства и недостатки клистронов. Современные источники СВЧ. Генераторы на лавинно-пролетном диоде, на диоде Ганна. Устройство, принцип действия. Режимы работы генератора на диоде Ганна. Перестройка по частоте.

##### Тема 5. Способы увеличения чувствительности спектрометров ЭПР. Спектрометр с двойной модуляцией магнитного поля.

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.

### **Тема 6. Спектрометр ЯМР, работающий по принципу Q-метра.**

Простая и мостовая схема спектрометра. Достоинства и недостатки простой схемы спинового детектора, построенного по принципу Q-метра. Достоинства и недостатки мостовой схемы спинового детектора, построенного по принципу Q-метра. Настройка спектрометра на измерение ЯМР-поглощения и дисперсии. Требования к генератору спектрометра.

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

Понятие автодинного спинового детектора. Требования, предъявляемые к автодину. Достоинства и недостатки спинового детектора, построенного по принципу автодина. Схема Паунда-Найта. Автодин на туннельном диоде. Схема Робинсона. Автодинный измеритель напряженности магнитного поля Ш1-1, Ш1-9, точность измерения поля.

### **Тема 8. Явление спинового эха. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР.**

Классическое рассмотрение явления спинового эха. Измерение спектра ЯМР (ЭПР) с использованием импульсного метода. Импульсные спектрометры ЯМР и ЭПР. Требования к резонатору, к колебательному контуру. Согласование колебательного контура с выходом передатчика. Создание мощных коротких ВЧ-импульсов. Защита приемника от перегрузок мощным импульсом.

### **Тема 9. Двойной электронно-ядерный резонанс. Спектрометр ДЭЯР.**

Явление ДЭЯР. Условия наблюдения ДЭЯР. Импульсный и стационарный ДЭЯР. Требования к релаксационным характеристикам спиновой системы для возможности наблюдения стационарного ДЭЯР. Импульсный ДЭЯР по методике Мимса. Особенности конструкции резонаторов ДЭЯР, позволяющие ВЧ-полю проникать внутрь резонатора. Создание мощного радиочастотного поля.

## **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)

Википедия - <http://ru.wikipedia.org>

Техника ЭПР-спектроскопии - <http://knigi.tr200.net/v.php?id=1125210>

Электронно-библиотечная система - <http://ibooks.ru>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В принципе сведения о техники радиоспектроскопии можно почерпнуть из рекомендованных учебников и монографий. Изучение материала значительно облегчается при посещении лекций: преподаватель уже тщательно обдумал порядок и форму изложения материала, что очень облегчает студентам его усвоение. На лекциях студентам следует обращать особое внимание на логику излагаемого материала, не лениться записывать словесные связки между приводимыми или выводимыми математическими формулами.
практические занятия	Решение задач по технике магнитного резонанса направлено на закрепление знаний, полученных на лекциях. Все задачи связаны с относительно простыми расчетами, для которых следует использовать калькулятор. Расчеты следует проводить с точностью, указанной преподавателем. Посещение практических занятий и активная работа на них, а также выполнение домашних заданий существенно упрощает успешное решение контрольной работы, которой заканчивается цикл практических занятий.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа осуществляется студентом индивидуально и включает работу с конспектом лекций и работу с рекомендованной литературой, а также подготовку к тестовым и контрольным (письменным) работам. Особое внимание следует обратить на изучение вопросов, которые преподаватель дал для самостоятельного изучения.
экзамен	Подготовка к сдаче экзамена является ответственным периодом в работе студента. Рекомендуется так организовать свою учебу, чтобы к экзамену были успешно сданы все тесты, успешно написана контрольная работа, набрано максимально возможное количество баллов за работу в семестре. Основное в подготовке к экзамену - это повторение всего материала курса "Техника СВЧ для приборов магнитного резонанса". Если студент хорошо работал в семестре, не пропускал лекции, слушал их внимательно, конспектировал, изучал рекомендованную литературу, решал заданные на дом задачи - сдать зачет для него не составит никакого труда. Если нет - то в процессе подготовки к зачету ему придется не повторять уже знакомое, а заново в короткий срок изучать весь материал. А это зачастую оказывается невозможно сделать из-за нехватки времени. Для такого студента подготовка к экзамену будет трудным делом.

### 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.

### **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.07.01 Техника СВЧ для приборов магнитного резонанса*

**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: 2024

**Основная литература:**

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>

**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. Радиоэлектроника в экспериментальной физике / А. М. Бонч-Бруевич .? Москва : Наука, 1966 .? 768 с. : ил.



*Приложение 3*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.В.ДВ.07.01 Техника СВЧ для приборов магнитного резонанса*

**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: 2024

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.