

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** Радиофизические измерения

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: 2022

## 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): Гаврилов А.Г.

**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-2	способностью использовать основные методы радиофизических измерений

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- физику процессов в области сверхпроводимости материалов, практической применимости поверхностных акустических волн, приборов с динамическим отрицательным сопротивлением;
- принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования

Должен уметь:

- самостоятельно использовать библиографические источники информации при выполнении самостоятельной работы и для написания реферата и презентации по темам, изучаемым в читаемом курсе лекций;
- использовать основные методы радиофизических измерений, определять точность измерений и производить оценку погрешностей

Должен владеть:

- информационнокоммуникационными технологиями для расчета основных параметров электронных приборов, оценивать области применения приборов различных типов;
- навыками использования стандартных методик измерения; методами оптимизации измерений в соответствии с поставленными задачами.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности(ОПК-1);
- понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования(ПК-1)

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.05.01 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 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 52 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 34 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 20 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет 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-тельная 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. Низкотемпературная сверхпроводимость. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния	7	2	0	0	0	2	0	0
2.	Тема 2. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона	7	0	0	0	0	2	0	4
3.	Тема 3. Высокочастотные эффекты в джозефсоновских контактах (ДК)	7	2	0	0	0	2	0	0
4.	Тема 4. Влияние магнитного поля на свойства ДК	7	0	0	0	0	2	0	2
5.	Тема 5. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД)	7	2	0	0	0	2	0	0
6.	Тема 6. Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа	7	0	0	0	0	2	0	2
7.	Тема 7. Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин	7	2	0	0	0	2	0	0
8.	Тема 8. Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике	7	0	0	0	0	2	0	2
9.	Тема 9. Типы и характеристики упругих волн в твердых телах. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ)	7	2	0	0	0	2	0	0
10.	Тема 10. Акустоэлектронные устройства	7	0	0	0	0	4	0	2
11.	Тема 11. Взаимодействие электронов с акустическими колебаниями	7	2	0	0	0	2	0	0
12.	Тема 12. Понятие отрицательной проводимости и сопротивления	7	0	0	0	0	4	0	2
13.	Тема 13. Диоды с S-образной воль-амперной характеристикой	7	2	0	0	0	2	0	0
14.	Тема 14. Функциональные устройства на основе объемного отрицательного сопротивления	7	2	0	0	0	2	0	2
15.	Тема 15. Туннельные диоды и диоды Ганна	7	2	0	0	0	0	0	2

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	
16.	Тема 16. Устройства для согласованной фильтрации, спектроанализаторы на ПАВ	7	0	0	0	0	2	0	2
	Итого		18	0	0	0	34	0	20

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### **Тема 1. Низкотемпературная сверхпроводимость. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния**

Открытие сверхпроводимости. Удельное сопротивление металлов, диэлектриков при понижении температуры. Низкие температуры. жидкий азот и гелий. Критическая температура. Эффект Мейснера. Токи и поля в сверхпроводниках. Идеальный диамагнетизм. Теплоемкость. Критический ток. Теория Гинзбурга-Ландау. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния. Туннельный эффект.

##### **Тема 2. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона**

Стационарный эффект Джозефсона. Квантовая интерференция. Нестационарный эффект Джозефсона. Туннелирование куперовских пар при электрическом напряжении. Нестационарный эффект Джозефсона в фундаментальных физических экспериментах. Контакты Джозефсона. Туннелирование куперовских пар при электрическом напряжении.

##### **Тема 3. Высокочастотные эффекты в джозефсоновских контактах (ДК)**

Получение джозефсоновских переходов. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода. Сверхпроводники I и II рода. Критическое магнитное поле  $H_c$ . Нестационарный эффект Джозефсона в фундаментальных физических экспериментах. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД). СКВИДы в медицине, физике и дефектоскопии. Эталон вольта.

##### **Тема 4. Влияние магнитного поля на свойства ДК**

Эффект квантования магнитного потока. Аналогия с квантованием орбит в атоме Бора. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода. Влияние магнитного поля на свойства ДК. Фундаментальное соотношение Джозефсона. Куперовские пары и статистика Бозе-Эйнштейна. Частота джозефсоновской генерации. Ступеньки Шапиро.

##### **Тема 5. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД)**

Общие сведения о магнитометрах. Измерители магнитного потока (веберметры, или флюксметры). Чувствительность, разрешающая способность - главные параметры магнитометра. (предсказание землетрясений). Сверхпроводниковые квантовые интерферометры. На практике наибольшее распространение сквиды получили в медицине, физике и дефектоскопии.

##### **Тема 6. Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа**

Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД). СКВИДы в медицине, физике и дефектоскопии. Эталон вольта.

В геофизике с помощью сквид-магнитометров можно вести геологическую разведку с самолета или спутника, изучать такие активные процессы в Земле, как извержения вулканов, предсказывать землетрясения.

##### **Тема 7. Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин**

Применение : в геологии, при поиске полезных ископаемых, в археологии, при археологических раскопках, в астрофизике, при исследовании орбиты планет, в навигации на море, космосе и авиации, в биологии и медицине, в сейсмологии. На практике наибольшее распространение сквиды получили в медицине, физике и дефектоскопии.

##### **Тема 8. Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике**

Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотрон ? переключательный криогенный элемент. Конструкция, параметры, принцип действия криотрона. Сверхпроводящий ключ. Свойства криотрона: быстродействие, надёжность, малые габариты. Вычислительные устройства на базе криотрона. Устройства на базе магнито-управляемых контактов со сверхпроводящей обмоткой возбуждения.

##### **Тема 9. Типы и характеристики упругих волн в твердых телах. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ)**

Колебания. Волны. Амплитуда, частота колебаний частиц среды, длина волны, фазовая и групповая скорости волны. Упругие волны в твёрдых телах. Продольные и поперечные волны. Нормальные волны. Дифракция волн. Отражение и преломление упругих волн. АКУСТИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ.

#### **Тема 10. Акустоэлектронные устройства**

Способы возбуждения ПАВ в пьезоэлектрической пластине. Акустоэлектрический эффект. Механизм акустоэлектронного взаимодействия. Акустоэлектронные устройства - линии задержки, фильтры, генераторы, усилители, компрессоры, конвольеры. Акустоэлектронный усилитель на ПАВ. Пьезоэлектрический эффект. Производство пьезоэлементов. Применение пьезокерамики.

#### **Тема 11. Взаимодействие электронов с акустическими колебаниями**

АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА - раздел акустики, на стыке акустики твёрдого тела, физики полупроводников и радиоэлектроники. Элементы акустоэлектроники: встречно-штыревой преобразователь ПАВ; металлическая отражающая решётка; система отражающих канавок. Встречно-штыревой преобразователь. Акустоэлектронное взаимодействие.

#### **Тема 12. Понятие отрицательной проводимости и сопротивления**

Негатроника. Это направление электроники связано с теорией и практикой создания и применения негатронов - электронных приборов, имеющих в определенном режиме отрицательное значение основного дифференциального параметра (отрицательных активного сопротивления, емкости и индуктивности) Обобщенная классификация негатронов. Отрицательное дифференциальное сопротивление, отрицательная проводимость. Вольт-амперная характеристика N-типа и S-типа.

#### **Тема 13. Диоды с S-образной вольт-амперной характеристикой**

Приборы с S-образной вольт-амперной характеристикой. Первый S-прибор - кристадин. Двухбазовый диод. Лавинные транзисторы, и лавинно-инжекционные полупроводниковые диоды. Нейристоры. Тетристоры. Инжекционно-пролетные диоды. S-приборы имеют по крайней мере 2 устойчивых состояния. Это позволяет создавать на их основе нейристоры, представляющие собой электронную модель окончания нервной клетки - аксона.

#### **Тема 14. Функциональные устройства на основе объемного отрицательного сопротивления**

Общая информация о тиристорах. Основные параметры тиристоры:

- амплитуда повторяющегося импульсного напряжения, которое прикладывают к закрытому тиристоры, В;
- длительность включения, т.е. такой отрезок времени, за который тиристор переходит в открытое состояние под действием импульса тока, протекающего по управляющему электроду, мс;
- критическая скорость нарастания напряжения на закрытом тиристоры, т.е. значение такой максимальной скорости нарастания напряжения, которое не приведёт к отпираанию тиристоры,  $dU / dt$ ;
- напряжение включения, т.е. такое напряжение, приложенное к динистору, при котором он переходит в открытое состояние, В;
- напряжение переключения, т.е. приложенное к тиристоры напряжение во время переключения, В.

Тиристоры. Динисторы. Тринисторы. Запираемые тиристоры. Симисторы. Фототиристоры.

#### **Тема 15. Туннельные диоды и диоды Ганна**

Туннельный эффект. Принцип работы туннельного диода. Вольт-амперная характеристика туннельных диодов. Статические параметры туннельных диодов. Эффект Ганна. Эффект Ганна явление - генерации высокочастотных колебаний электрического тока  $j$  в полупроводнике. Устройство диода Ганна. Доменная теория. N-образная вольт-амперная характеристика диода Ганна.

#### **Тема 16. Устройства для согласованной фильтрации, спектроанализаторы на ПАВ**

Устройства для согласованной фильтрации, спектроанализаторы на ПАВ. (к.122 Института физики). Основное внимание уделяется дисперсионно-временному методу анализа спектров, реализуемому на основе устройств на поверхностных акустических волнах. Приводится описание лабораторной установки для исследования спектра при помощи дисперсионной линии задержки на ПАВ на поверхностных акустических волнах, на которой студентам предлагается самостоятельно выполнить ряд практических заданий для закрепления теоретического материала.

### **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

Гаврилов А.Г., Овчинников М.Н., Одиванов В.Л. Радиоэлектронные системы контроля параметров флюидонасыщенных пластов Учебно-методическое пособие. - Казань, КФУ. - 2010 г. - 92 стр. -

[http://www.kpfu.ru/docs/F2064991677/gavrilov\\_MNO\\_odivanov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F2064991677/gavrilov_MNO_odivanov.pdf)

Насыров А.М., Христофоров А.В. Волновые процессы. Часть 7. Распространение упругих волн. Учебно-методическое пособие. - Казань, КГУ. - 1998 г. - 55 стр. - <http://www.kpfu.ru/docs/F1721676252/wp7.pdf>

Христофоров А.В., Лунев И.В. Волоконно-оптическая система передачи данных. Учебно-методическое пособие. Казань: КФУ. - 2012 - [http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols_lab_Hristoforov.pdf)

## **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 планируемому результату 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)**

Гаврилов А.Г., Овчинников М.Н., Одиванов В.Л. Радиоэлектронные системы контроля параметров флюидонасыщенных пластов Учебно-методическое пособие. - Казань, КФУ. - 2010 г. - 92 стр. - [http://www.kpfu.ru/docs/F2064991677/gavrilov\\_MNO\\_odivanov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F2064991677/gavrilov_MNO_odivanov.pdf)

Насыров А.М., Христофоров А.В. Волновые процессы. Часть 7. Распространение упругих волн. Учебно-методическое пособие. - Казань, КГУ. - 1998 г. - 55 стр. - <http://www.kpfu.ru/docs/F1721676252/wp7.pdf>

Овчинников М.Н., Куштанова Г.Г., Гаврилов А.Г. Средства контроля гидродинамических потоков в скважинных условиях и расчеты фильтрационных параметров пластов. Учебное пособие. Казань: КФУ. - 2012. - [http://www.kpfu.ru/docs/F1805167370/sredstva\\_kontrolya\\_gd\\_potokov\\_32.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F1805167370/sredstva_kontrolya_gd_potokov_32.pdf)

Христофоров А.В., Абросимова И.С. Интерференция температурных волн. Учебно-методическое пособие. Казань: КФУ. - 2012. - [http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw_lab_Hristoforov.pdf)

Христофоров А.В., Лунев И.В. Волоконно-оптическая система передачи данных. Учебно-методическое пособие. Казань: КФУ. - 2012 - [http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols_lab_Hristoforov.pdf)

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекционный материал учебного курса разбит на части по темам. Лекции и практические занятия чередуются для лучшего усвоения материала. Этому же принципу подчинено выполнение самостоятельной работы студентов. Практические навыки студенты усваивают при выполнении лабораторных работ. Каждая новая лекция начинается с устного опроса студентов.
лабораторные работы	<p>в течение семестра по тематике читаемого курса магистрант должен выполнить 7 практических лабораторных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Радиоэлектронная аппаратура для гидропрослушивания флюидонасыщенных пластов;</li> <li>-Радиоэлектронная аппаратура для самопрослушивания системы ?пласт-скважина? методом высокочастотных фильтрационных волн давления;</li> <li>- Лабораторная установка по исследованию явлений переноса в пористых средах на базе модулей общего назначения E-440 и E14-440;</li> <li>-Лабораторная установка 'Температурные волны';</li> <li>-Лабораторные работы (3) на базе программируемого логического контроллера СРМ902-01.</li> </ul> <p>2.К каждой из 7 практических лабораторных работ написаны методические пособия с кратким содержанием теоретических вопросов и ходом практического выполнения работы.</p> <p>3. Получение зачёта по выполненной работе разбито на два этапа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зачёт по теоретической части,</li> <li>- зачёт по практике.</li> </ul> <p>4. Лабораторные работы выполняются в течение всего семестра по мере усвоения магистрантом материала читаемого курса.</p>



Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>Темы для самостоятельной работы студента в течении семестра:</p> <p>Открытие сверхпроводимости.                      Удельное сопротивление металлов, диэлектриков при понижении температуры. Низкие температуры. Жидкий азот и гелий. Критическая температура.                      Эффект Мейснера. Токи и поля в сверхпроводниках. Идеальный диамагнетизм. Теплоемкость. Критический ток.                      Теория Гинзбурга - Ландау.                      Туннельный эффект. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния.                      Стационарный эффект Джозефсона.                      Нестационарный эффект Джозефсона. Квантовая интерференция. Туннелирование куперовских пар при электрическом напряжении.                      Нестационарный эффект Джозефсона в фундаментальных физических экспериментах. Контакты Джозефсона.                      Сверхпроводники I и II рода. Получение джозефсоновских переходов.                      Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД). Критическое магнитное поле <math>H_c</math>. СКВИДы в медицине, физике и дефектоскопии. Эталон вольта.                      Эффект квантования магнитного потока. Аналогия с квантованием орбит в атоме Бора.                      Ступеньки Шапиро. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода. Влияние магнитного поля на свойства ДК. Фундаментальное соотношение Джозефсона.                      Частота джозефсоновской генерации. Куперовские пары и статистика Бозе-Эйнштейна.                      Общие сведения о магнитометрах. Измерители магнитного потока (веберметры, или флюксометры). Чувствительность, разрешающая способность - главные параметры магнитометра. (предсказания землетрясений).                      Применение магнитометров: в геологии, при поиске полезных ископаемых, в археологии, при археологических раскопках, в астрофизике, при исследовании орбиты планет, в навигации на море, космосе и авиации, в биологии и медицине, в сейсмологии.                      Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике. Криотрон - переключаемый криогенный элемент.                      Конструкция, параметры, принцип действия криотрона. Сверхпроводящий ключ. Свойства криотрона: быстродействие, надёжность, малые габариты. Вычислительные устройства на базе криотрона. Устройства на базе магнито - управляемых контактов со сверхпроводящей обмоткой возбуждения.</p>
зачет	<p>Вопросы к зачёту:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Причина возникновения сверхпроводимости?</li> <li>2. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников.</li> <li>3. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского контакта (ДК).</li> <li>4. Чем определяется критический ток ДК и от чего он зависит?</li> <li>5. Как влияет высокочастотное облучение на критический ток ДК?</li> <li>6. Пояснить устройство и принцип работы эталона вольта на ДК.</li> <li>7. Привести примеры использования ДК в радиотехнических устройствах.</li> <li>8. Влияние магнитного поля на свойства ДК.</li> <li>9. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД) постоянного тока.</li> <li>10. Высокочастотный СКВИД.</li> <li>11. Использование СКВИДов для измерения слабых магнитных поле.</li> <li>12. Привести примеры использования ДК для измерения электрических и магнитных величин.</li> <li>13. Типы упругих волн в твердых телах и их характеристики.</li> <li>14. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ) в тв. телах.</li> <li>15. Способы возбуждения и детектирования ПАВ.</li> <li>16. Как формируются линии задержки на ПАВ?</li> <li>17. Фильтры электрических сигналов на ПАВ.</li> <li>18. Объяснить принцип работы спектроанализатора и конвольера на ПАВ.</li> <li>19. В чём состоит сущность акустоэлектронного эффекта?</li> <li>20. Акустоэлектронный усилитель на ПАВ.</li> <li>21. Раскрыть смысл понятия отрицательной проводимости и сопротивления .</li> <li>22. Приборы с S - образной вольт-амперной характеристикой.</li> <li>23. Принцип работы туннельные диоды и диоды Ганна.</li> <li>24. Область применения приборов.</li> <li>25. Устройства на основе объемного отрицательного сопротивления</li> </ol>

**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.

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".

### 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: 2022

#### Основная литература:

1. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-0922-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210524> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Лебедев, А. И. Физика полупроводниковых приборов / А. И. Лебедев. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2244> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Панюшкин, Н. Н. Физика полупроводников и полупроводниковые приборы: учебное пособие / Панюшкин Н.Н. - Воронеж: ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, 2016. - 131 с. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/858616> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: по подписке.

#### Дополнительная литература:

1. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 224 с. - ISBN 978-5-8114-0923-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210305> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Овчинников М. Н. Радиоэлектронные системы контроля параметров флюидонасыщенных пластов: учебно-методическое пособие / М.Н. Овчинников, Г.Г. Куштанова, А.Г. Гаврилов, В.Л. Одиванов. - Казань: Казан. ун-т, 2017. - 90 с. - Текст: электронный. - URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F1219166967/Radioelektronnye\\_sistemy\\_kontrolya\\_parametrov\\_fluidonasychennyh\\_plastov.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F1219166967/Radioelektronnye_sistemy_kontrolya_parametrov_fluidonasychennyh_plastov.pdf) (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: открытый.
3. Овчинников М.Н. Средства контроля гидродинамических потоков в скважинных условиях и расчеты фильтрационных параметров пластов: учебно-методическое пособие / М.Н. Овчинников, Г.Г. Куштанова, А.Г. Гаврилов. - Казань: Казан. ун-т, 2016. - 96 с. - [Текст: электронный ресурс]. - URL: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/104596> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Овчинников М.Н. Учебно-лабораторный комплекс по применению автоматизированных систем для исследования явлений переноса в пористых средах : учебно-методическое пособие / М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов, А.И. Деркач, В.А. Маценко. - Казань: Казанский фед. ун-т, 2017. - 79 с. - Текст: электронный ресурс. - URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F1309934192/Uchebno\\_laboratornyj\\_kompleks.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F1309934192/Uchebno_laboratornyj_kompleks.pdf) (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: открытый.
5. Христофоров А.В. Интерференция температурных волн: учебно-методическое пособие / А.В. Христофоров, И.С. Абросимова. - Казань: КФУ, 2012. - 18 с. - Текст: электронный. - URL: [http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw_lab_Hristoforov.pdf) (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: открытый.

6. Христофоров А.В., Лунев И.В. Волоконно-оптическая система передачи данных: учебно-методическое пособие / А.В. Христофоров, И.В. Лунев. - Казань: КФУ, 2012. - 29 с. - Текст: электронный. - URL: [http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols_lab_Hristoforov.pdf) (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: открытый.
7. Насыров А.М. Волновые процессы. Часть 7: Распространение упругих волн: учебно-методическое пособие / А.М. Насыров, А.В. Христофоров. - Казань: КГУ. - 1998. - 55 с. - Текст: электронный. - URL: <http://www.kpfu.ru/docs/F1721676252/wp7.pdf> (дата обращения: 06.05.2022). - Режим доступа: открытый.

**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: 2022

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 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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.