

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. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Радиофизические измерения Б1.В.ДВ.05.01

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

**Автор(ы):** Гаврилов А.Г.

**Рецензент(ы):** Лунев И.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Овчинников М. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
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
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
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 к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Гаврилов А.Г. (Кафедра радиоэлектроники, Отделение радиофизики и информационных систем), Alexander.Gavrilov@kpfu.ru

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

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3	способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ПК-1	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования
ПК-2	способностью использовать основные методы радиофизических измерений

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

физические основы работы измерительных приборов радиочастотного диапазона;

Должен уметь:

применять полученные знания для усовершенствования существующих и разработки новых приборов и устройств радиочастотного диапазона.

Должен владеть:

навыками работы с радиоизмерительными устройствами и приборами, разработки и настройки радиоизмерительных схем;

Должен демонстрировать способность и готовность:

-решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-3);

- понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования(ПК-1)

-использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-2)

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.05.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (не предусмотрено)" и относится к дисциплинам по выбору.

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	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Низкотемпературная сверхпроводимость. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния	7	2	0	2	0
2.	Тема 2. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона	7	0	0	2	4
3.	Тема 3. Высокочастотные эффекты в джозефсоновских контактах (ДК)	7	2	0	2	0
4.	Тема 4. Влияние магнитного поля на свойства ДК	7	0	0	2	2
5.	Тема 5. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД)	7	2	0	2	0
6.	Тема 6. Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа Магнитометр - флюксметр на основе СКВИДа	7	0	0	2	2
7.	Тема 7. Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин Применение СКВИДов в качестве датчиков физических величин	7	2	0	2	2
8.	Тема 8. Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике Криотроны. Перспективы применения ДК в вычислительной технике	7	0	0	2	2
9.	Тема 9. Типы и характеристики упругих волн в твердых телах. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ)	7	2	0	2	0
10.	Тема 10. Акустоэлектронные устройства	7	0	0	2	2
11.	Тема 11. Взаимодействие электронов с акустическими колебаниями	7	2	0	2	0
12.	Тема 12. Понятие отрицательной проводимости и сопротивления	7	0	0	4	2
13.	Тема 13. Диоды с S-образной воль-амперной характеристикой	7	2	0	2	0
14.	Тема 14. Функциональные устройства на основе объемного отрицательного сопротивления	7	2	0	2	2
15.	Тема 15. Туннельные диоды и диоды Ганна	7	2	0	2	0
16.	Тема 16. Устройства для согласованной фильтрации, спектроанализаторы на ПАВ	7	0	0	2	2
	Итого		18	0	34	20

##### 4.2 Содержание дисциплины

## **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 вольты.

## **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 флюксометры). 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 - флюксометр на основе СКВИДа Магнитометр - флюксометр на основе СКВИДа**

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

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 ? 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.

## **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 волн. 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 тиристор,  $V$ ;
- 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 тиристоре, т.е. значение такой максимальной скорости нарастания напряжения, которое не приведет к отпиранию тиристора,  $dU / dt$ ;
- напряжение включения, т.е. такое напряжение, приложенное к динистору, при котором он переходит в открытое состояние,  $V$ ;
- напряжение переключения, т.е. приложенное к тиристор, напряжение во время переключения,  $V$ .

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 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".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".



Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаленного электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

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)

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 7</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Лабораторные работы	ОПК-3, ПК-1, ПК-2	9. Типы и характеристики упругих волн в твердых телах. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ) 10. Акустоэлектронные устройства 11. Взаимодействие электронов с акустическими колебаниями
2	Реферат	ОПК-3, ПК-1, ПК-2	2. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона 5. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД) 15. Туннельные диоды и диоды Ганна
	<b>Зачет</b>	ОПК-3, ПК-1, ПК-2	

### 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Семестр 7					
Текущий контроль					
Лабораторные работы	Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы в основном соответствует её целям.	Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.	1

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Реферат	Тема раскрыта полностью. Продемонстрировано превосходное владение материалом. Используются надлежащие источники в нужном количестве. Структура работы соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы высокая.	Тема в основном раскрыта. Продемонстрировано хорошее владение материалом. Используются надлежащие источники. Структура работы в основном соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы средняя.	Тема раскрыта слабо. Продемонстрировано удовлетворительное владение материалом. Используются источники и структура работы частично соответствуют поставленным задачам. Степень самостоятельности работы низкая.	Тема не раскрыта. Продемонстрировано неудовлетворительное владение материалом. Используются источники недостаточны. Структура работы не соответствует поставленным задачам. Работа несамостоятельна.	2
	<b>Зачтено</b>		<b>Не зачтено</b>		
<b>Зачет</b>	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.		

### 6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### Семестр 7

#### Текущий контроль

##### 1. Лабораторные работы

Темы 9, 10, 11

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. Типы и характеристики упругих волн в твердых телах. Акустические поверхностные волны в пьезоэлектрических кристаллах. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ). Акустоэлектронные устройства. Взаимодействие электронов с акустическими колебаниями. Устройства для согласованной фильтрации, спектроанализаторы на ПАВ. Акустоэлектронные устройства - линии задержки, фильтры, генераторы, усилители, компрессоры, конвольеры.

##### 2. Реферат

Темы 2, 5, 15

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.

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

Негатроника. Понятие отрицательной проводимости и сопротивления. Обобщенная классификация негатронов. Отрицательное дифференциальное сопротивление, отрицательная проводимость. Вольт-амперная характеристика N-типа и S-типа. Кристадин. Диоды с S- образной вольт-амперной характеристикой. Доменная теория. Туннельные диоды и диоды Ганна. Приборы с N- образной вольтамперной характеристикой. Кристадин. Двухбазовый диод. Лавинные транзисторы, и лавинно-инжекционные полупроводниковые диоды. Нейристоры. Тетристоры. Инжекционно-пролетные диоды.

##### Зачет

Вопросы к зачету:

1. Причина возникновения сверхпроводимости?
2. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников.
3. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского контакта (ДК).



4. Чем определяется критический ток ДК и от чего он зависит?
5. Как влияет высокочастотное облучение на критический ток ДК?
6. Пояснить устройство и принцип работы эталона вольт на ДК.
7. Привести примеры использования ДК в радиотехнических устройствах.
8. Влияние магнитного поля на свойства ДК.
9. Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД) постоянного тока.
10. Высокочастотный СКВИД.
11. Использование СКВИДов для измерения слабых магнитных полей.
12. Привести примеры использования ДК для измерения электрических и магнитных величин.
13. Типы упругих волн в твердых телах и их характеристики.
14. Распространение поверхностных акустических волн (ПАВ) в тв. телах.
15. Способы возбуждения и детектирования ПАВ.
16. Как формируются линии задержки на ПАВ?
17. Фильтры электрических сигналов на ПАВ.
18. Объяснить принцип работы спектроанализатора и конвольера на ПАВ.
19. В чём состоит сущность акустоэлектронного эффекта?
20. Акустоэлектронный усилитель на ПАВ.
21. Раскрыть смысл понятия отрицательной проводимости и сопротивления.
22. Приборы с S - образной вольт-амперной характеристикой.
23. Принцип работы туннельные диоды и диоды Ганна.
24. Область применения приборов.
25. Устройства на основе объемного отрицательного сопротивления

#### 6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 7</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Лабораторные работы	В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	1	40
Реферат	Обучающиеся самостоятельно пишут работу на заданную тему и сдают преподавателю в письменном виде. В работе производится обзор материала в определённой тематической области либо предлагается собственное решение определённой теоретической или практической проблемы. Оцениваются проработка источников, изложение материала, формулировка выводов, соблюдение требований к структуре и оформлению работы, своевременность выполнения. В случае публичной защиты реферата оцениваются также ораторские способности.	2	10
<b>Зачет</b>	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### 7.1 Основная литература:

1. 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. - 79с. URL: [https://repository.kpfu.ru/?p\\_id=156391](https://repository.kpfu.ru/?p_id=156391).
2. Овчинников М. Н. Радиоэлектронные системы контроля параметров флюидонасыщенных пластов: учеб.-метод. пособие / М.Н. Овчинников, Г.Г. Куштанова, А.Г. Гаврилов, В.Л. Одиванов. - Казань: Казан. ун-т, 2017. - 90 с. URL: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/109515>
3. Овчинников М.Н. Средства контроля гидродинамических потоков в скважинных условиях и расчеты фильтрационных параметров пластов: учеб.-метод. пособие / М.Н. Овчинников, Г.Г. Куштанова, А.Г. Гаврилов, - Казань: Казан. ун-т, 2016. - 96 с., URL: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/104596>
4. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учебник / К.В. Шалимова. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2010. ? 384 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Христофоров А.В., Абросимова И.С. Интерференция температурных волн.[Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие. Казань: КФУ. - 2012. -18стр- Режим доступа: [http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F1362807166/tw_lab_Hristoforov.pdf)
2. Христофоров А.В., Лунев И.В. Волоконно-оптическая система передачи данных.[Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие. Казань: КФУ. - 2012 -29стр- Режим доступа: [http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols\\_lab\\_Hristoforov.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F15826707/vols_lab_Hristoforov.pdf)
3. Насыров А.М., Христофоров А.В. Волновые процессы. Часть 7. Распространение упругих волн. Учебно-методическое пособие. - Казань, КГУ. - 1998 г. - 55 стр. -- Режим доступа: <http://www.kpfu.ru/docs/F1721676252/wp7.pdf>
4. Лебедев, А.И. Физика полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] / А.И. Лебедев. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2008. ? 488 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2244>.
5. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2010. ? 224 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/262>.

## 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.

Вид работ	Методические рекомендации
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 Е-440 и Е14-440;</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>
самостоятельная работа	<p>Темы для самостоятельной работы студента в течении семестра:</p> <p>Открытие сверхпроводимости.</p> <p>Удельное сопротивление металлов, диэлектриков при понижении температуры. Низкие температуры. Жидкий азот и гелий. Критическая температура.</p> <p>Эффект Мейснера. Токи и поля в сверхпроводниках. Идеальный диамагнетизм. Теплоемкость. Критический ток.</p> <p>Теория Гинзбурга - Ландау.</p> <p>Туннельный эффект. Макроскопическая когерентность сверхпроводящего состояния.</p> <p>Стационарный эффект Джозефсона.</p> <p>Нестационарный эффект Джозефсона. Квантовая интерференция. Туннелирование куперовских пар при электрическом напряжении.</p> <p>Нестационарный эффект Джозефсона в фундаментальных физических экспериментах.</p> <p>Контакты Джозефсона.</p> <p>Сверхпроводники I и II рода. Получение джозефсоновских переходов.</p> <p>Сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИД). Критическое магнитное поле <math>H_c</math>.</p> <p>СКВИДы в медицине, физике и дефектоскопии. Эталон вольты.</p> <p>Эффект квантования магнитного потока. Аналогия с квантованием орбит в атоме Бора.</p> <p>Ступеньки Шапиро. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода. Влияние магнитного поля на свойства ДК. Фундаментальное соотношение Джозефсона.</p> <p>Частота джозефсоновской генерации. Куперовские пары и статистика Бозе-Эйнштейна.</p> <p>Общие сведения о магнитометрах. Измерители магнитного потока (веберметры, или флюксметры). Чувствительность, разрешающая способность - главные параметры магнитометра. (предсказании землетрясений).</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
реферат	<p>Подготовка реферата направлена на развитие и закрепление у студента навыков самостоятельного анализа научной и учебной литературы; на выработку навыков и умений грамотно излагать материал, четко формулировать теоретические обобщения, выводы и практические рекомендации.</p> <p>Тема реферата формулируется преподавателем или носит инициативный характер по согласованию с преподавателем и, как правило, посвящена рассмотрению одной проблемы. Текстовая часть работы состоит из введения, основной части и заключения.</p> <p>Во введении студент обосновывает актуальность избранной темы реферата, раскрывает конкретные цели и задачи, которые он собирается решить в ходе своего аналитического исследования.</p> <p>В заключении кратко должны быть сформулированы полученные результаты исследования и даны выводы.</p> <p>В список литературы студент включает только те источники, которые он использовал при написании реферата. Как правило, источники должны быть за последние 10 лет.</p> <p>В приложении к реферату могут выноситься таблицы, графики, схемы и другие вспомогательные материалы, на которые имеются ссылки в тексте реферата. Реферат должен быть выполнен к сроку указанному преподавателем в соответствии с рабочей программой дисциплины и учебным планом и сдан преподавателю в напечатанном и/или электронном виде.</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 вольт 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 полей.</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)

Освоение дисциплины "Радиофизические измерения" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI

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 профилю 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.

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

Освоение дисциплины "Радиофизические измерения" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тактильный монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Специализированная лаборатория оснащена оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ, практических занятий и самостоятельной работы по отдельным дисциплинам, а также практик и научно-исследовательской работы обучающихся. Лаборатория рассчитана на одновременную работу обучающихся академической группы либо подгруппы. Занятия проводятся под руководством сотрудника университета, контролирующего выполнение видов учебной работы и соблюдение правил техники безопасности. Качественный и количественный состав оборудования и расходных материалов определяется спецификой образовательных программ.

## **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 не предусмотрено .