

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:48:43

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Сверхпроводящие метаматериалы для сверхвысокочастотных и терагерцовых устройств

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Квантовое материаловедение

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 3

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

74

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	74	74	74	74
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

дфмн, внс, Шитов Сергей Витальевич

Рабочая программа

Сверхпроводящие метаматериалы для сверхвысокочастотных и терагерцовых устройств

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-23-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

Руководитель подразделения Д.ф.-м.н., Профессор, Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также усвоение студентами знаний, необходимых для самостоятельного использования современной научной литературы в области технологий сверхпроводниковой электроники, в частности, природы слабой связи в сверхпроводниках и способы ее создания, создание статических магнитных и сверхвысокочастотных электромагнитных полей в микромасштабах и управление свойствами слабосвязанных сверхпроводников с помощью таких полей с целью создания сенсоров с предельными физическими характеристиками и флуктуациями, ограниченными квантовыми эффектами, для применения для широкого круга фундаментальных физических измерений.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.05
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Квантовая физика твердого тела	
2.1.2	Квантово-механическое моделирование материалов	
2.1.3	Лабораторный практикум по квантовой фотонике и криптографии	
2.1.4	Методы исследования материалов	
2.1.5	Неравновесная квантовая механика одноэлектронных устройств	
2.1.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности. Научно-исследовательская практика	
2.1.7	Спектроскопические методы анализа материалов	
2.1.8	Технологии получения материалов	
2.1.9	Введение в современные квантовые технологии ч. 1	
2.1.10	Нелинейная физика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики	
Знать:	
ПК-1-31 основы технологий, необходимых для создания сверхпроводящих интегральных микросхем, проведения комплексных экспериментальных исследований, методы и способы лабораторных исследований в области сверхпроводящих технологий; основные методы и способы реализации научных исследований в области физики сверхпроводниковой электроники, принципы управления проектами для осуществления научно-исследовательской деятельности, способы оптимизации и анализа проектов	
ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутые навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы	
Знать:	
ОПК-2-31 современные методы, технологии исследования в области квантовой физики, эффекты сверхпроводимости, классическую электродинамику металлов и диэлектриков, геометрическую и волновую оптику	
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики	
Уметь:	
ПК-1-У1 использовать современное приборно-вычислительное оснащение лаборатории сверхпроводящей электроники, определять критические параметры элементов сверхпроводящей электроники: джозефсоновских контактов, сквидов, туннельных переходов с квазичастиным током, сверхпроводящих линий передачи и планарных антенн для осуществления научных исследований; самостоятельно планировать научные исследования	
ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутые навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы	

Уметь:
ОПК-2-У1 решать стандартные задачи в области квантовой физики, эффектов сверхпроводимости, классической электродинамики металлов и диэлектриков, геометрической и волновой оптики, применять полученные знания и методы для разработки новых и оригинальных методов проектирования и разработки
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики
Владеть:
ПК-1-В1 базовыми навыками исследований и работы в лаборатории, планирования и осуществления электрофизических измерений с применением элементов сверхпроводящей электроники, объединения сверхпроводящих элементов в функциональные цепи и системы для генерации, детектирования и усиления сверхслабых сигналов СВЧ; навыками самостоятельного решения проблем и задач, объяснения принятого решения в практических ситуациях, ответственного подхода к выбору решений задач
ОПК-2: Способен в сфере своей профессиональной деятельности осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики, демонстрировать продвинутое навыки работы в лабораториях / мастерских, способность разрабатывать и проводить экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы
Владеть:
ОПК-2-В1 экспериментальными методами проектирования, изготовления и исследования сверхпроводящих интегральных микросхем, передовыми методами и технологии проектирования

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Раздел 1 Обзор: Сверхпроводниковые компоненты СВЧ и необходимая исследовательская инфраструктура							
1.1	1.1 Основы технологии тонкопленочных микросхем с применением сверхпроводниковых материалов /Лек/	3	1	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			
1.2	1.2 Методы охлаждения для получения сверхпроводимости /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.3	1.3 Сверхпроводящие туннельные контакты	3	1	ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.4	1.4 Преобразование и передача сигналов с применением сверхпроводников /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.5	1.5 Осцилляторы на эффекте Джозефсона /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.6	1.6 Сенсоры магнитного поля – сквиды /Лек/	3	1	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
1.7	1. Определение и расчет основных параметров туннельного джозефсоновского перехода. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э2			P1
1.8	2. Определение и расчет шума туннельного джозефсоновского перехода в единицах эквивалентной шумовой температуры. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1

1.9	3. Определение и расчет параметров двухконтактного сквида постоянного тока, используя резистивную модель. /Лр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			Р1
1.10	1. Рассчитать основные параметры туннельного джозефсоновского перехода, используя двухколоночный файл данных (ВАХ) $I=f(V)$. Исходя из заданного геометрического размера рассчитать его собственную емкость. /Ср/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э2			
1.11	2. Рассчитать уровень дробового шума туннельного джозефсоновского перехода в единицах эквивалентной шумовой температуры от напряжения смещения, исходя из данных (ВАХ) $I=f(V)$. /Ср/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.12	3. Спроектировать двухконтактный сквид постоянного тока, используя резистивную модель и исходя из заданных параметров используемых джозефсоновских контактов. Рассчитать: (1) сопротивление и предельную индуктивность шунтирующих резисторов и (2) предельное значение индуктивности петли сквида. /Ср/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
	Раздел 2. Раздел 2 Расчет и моделирование сверхпроводниковых микросхем							
2.1	2.1 Сверхпроводящий микрополосок и другие планарные волноводы. Волновое сопротивление и фазовая скорость. Потери в подводящих цепях и методы их	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.2	2.2 Планарная антенна. Дипольная антенна. Двойная щелевая антенна. Согласование с планарной антенной. Трансформаторы импеданса. /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э3 Э4			
2.3	2.3 Аппроксимация ВАХ СИС перехода. Определение поглощенной СВЧ мощности /Лек/	3	1	ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3. 1			

2.4	2.4 Методы тестирования сверхпроводящих микросхем. Определение шумового вклада составляющих элементов микросхемы. /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.5	2.5 Импеданс распределенного джозефсоновского осциллятора. Шумы и их влияние на ширину линии генерации. Импеданс джозефсоновского усилителя и методы его согласования /Лек/	3	1	ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.6	2.6 Программы электромагнитного моделирования: Sonnet, HFSS, AWR и др. /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.7	1. Определение волнового сопротивления и фазовой скорости копланарной линии. Проектирование четвертьволнового резонатора на основе копланарной линии. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
2.8	2. Определение волнового сопротивления и фазовой скорости микрополосковой линии. Проектирование четвертьволнового резонатора на основе микрополосковой линии. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
2.9	3. Проектирование четвертьволновых трансформаторов импеданса. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
2.10	4. Проектирование трансформатора импеданса на сосредоточенных элементах L и C. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
2.11	5. Проектирование полосно-пропускающего четвертьволнового фильтра с разрывом постоянного тока для заданной полосы частот. Проектирование полосно-пропускающего четвертьволнового фильтра с пропуском постоянного тока. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
2.12	6. Проектирование полосно-заграждающего четвертьволнового фильтра с разрывом постоянного тока. Проектирование полосно-заграждающего четвертьволнового фильтра с пропуском постоянного тока. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1

2.13	1. Рассчитать волновое сопротивление и фазовую скорость копланарной линии на заданной диэлектрической подложке по заданной геометрии. Определить физическую длину четвертьволнового резонатора на основе такой линии. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.14	2. Рассчитать волновое сопротивление и фазовую скорость сверхпроводящей микрополосковой линии по заданной геометрии, включая свойства диэлектрической прослойки. Определить физическую длину четвертьволнового резонатора на основе такой линии. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.15	3. Спроектировать N-ступенчатый четвертьволновой трансформатор импеданса между источником с импедансом R1 и нагрузкой с импедансом R2. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.16	4. Спроектировать трансформатор импеданса на сосредоточенных элементах L и C между источником с импедансом R1 и нагрузкой с импедансом R2. /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.17	5. Спроектировать полосно-пропускающий четвертьволновый фильтр с разрывом постоянного тока для заданной полосы частот. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	9	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			

2.18	6. Спроектировать полосно-заграждающий четвертьволновый фильтр с разрывом постоянного тока. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	9	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.19	7. Спроектировать полосно-заграждающий четвертьволновой фильтр с пропусканием постоянного тока. Проведение проверки с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE /Ср/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			
2.20	8. Спроектировать полосно-пропускающий четвертьволновый фильтр с пропусканием постоянного тока. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Ср/	3	10	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			
	Раздел 3. Раздел 3 Практические примеры сверхпроводящих микросхем							
3.1	3.1 Квантовые преобразователи частоты, микросхемы с планарными антеннами, микросхемы с джозефсоновскими осцилляторами, усилители с джозефсоновскими контактами. /Лек/	3	4	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.2	1. Определение и расчет импеданса и диаграммы направленности двущелевой планарной антенны заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			P1
3.3	2. Определение и расчет диаграммы направленности массива планарных антенн заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			P1
3.4	3. Проектирование полусферической иммерсионной линзы для работы в апланатическом режиме, исходя из заданной диэлектрической проницаемости ее материала. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			P1

3.5	4. Проектирование полусферической иммерсионной линзы, работающей в дифракционном пределе, исходя из заданной диэлектрической проницаемости и угла расходимости гауссова пучка в дальней зоне. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			P1
3.6	1. Рассчитать импеданс и диаграмму направленности двуцелевой планарной антенны заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Ср/	3	10	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4			
Раздел 4. Раздел 4 Сверхпроводящие метаматериалы								
4.1	4.1 Сверхпроводящие линии и резонаторы со сквидами. Передающие линии с управляемой дисперсией /Лек/	3	1	ОПК-2-31 ПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1			
4.2	1. Расчет сверхпроводящего резонатора с заданной частотой и добротностью. /Пр/	3	1	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
4.3	2. Определение параметров линии, нагруженной массивом резонаторов. /Пр/	3	1	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1			P1
Раздел 5. Коллоквиум								
5.1	Коллоквиум /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ПК-1-31				КМ1

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	коллоквиум	ОПК-2-31;ПК-1-31	<p>1. Что такое сверхпроводящая микросхема, и способы ее подключения к устройствам традиционной электроники.</p> <p>2. Методы изготовления сверхпроводящих микросхем. Напыление пленок в вакууме. Оптическая и электронная литография.</p> <p>3. Проникновение магнитного поля в тонкие пленки. Глубина проникновения и уравнение Лондонов. Кинетическая индуктивность тонкой пленки сверхпроводника.</p> <p>4. Типовые схемы охлаждения до сверхпроводящего состояния, криостатирования и экранировки сверхпроводящих образцов.</p> <p>5. Эффект Джозефсона. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Модель шунтированного джозефсоновского перехода (RSJ model).</p> <p>6. Эквивалентная схема и математическая модель шунтированного джозефсоновского контакта. Влияние собственной емкости и ее характеристический параметр.</p> <p>7. Туннельный контакт между двумя сверхпроводниками. Полупроводниковая модель. Электрофизические свойства туннельных переходов.</p> <p>8. Проникновение магнитного поля в туннельный сверхпроводящий контакт. Джозефсоновские вихри. Влияние</p>

		<p>магнитного поля.</p> <p>9. Детекторы прямого преобразования и гетеродинные детекторы на сверхпроводящих туннельных переходах.</p> <p>10. Нелинейные свойства и высокочастотный импеданс сверхпроводящего туннельного перехода. Эффект квантовой стимуляции туннелирования квазичастиц. Теория Тьен-Гордона.</p> <p>11. Пороговая чувствительность и эффективность сверхпроводящего детектора. Шумы в сверхпроводящем детекторе.</p> <p>12. Принцип согласования микроволновых цепей. Согласование СИС перехода.</p> <p>13. Интегральные настроечные элементы из сверхпроводников. Преимущества перед полупроводниками.</p> <p>14. Линии передачи на основе сверхпроводящих пленок. Микрополосковые и копланарные волноводы.</p> <p>15. Поверхностный импеданс сверхпроводящей пленки. Теория Маттиса-Бардина. Кинетическая индуктивность.</p> <p>16. Методы канализации микроволновых сигналов. Коаксиальные кабели. Прямоугольные металлические и диэлектрические волноводы и квазиоптика.</p> <p>17. Массивы сверхпроводящих детекторов. Интегрирующие и изображающие матрицы. Сходство и различия.</p> <p>18. Масштабное моделирование микроволновых устройств. Принципы и область применения.</p> <p>19. Сверхпроводниковые осцилляторы на эффекте Джозефсона. Нелинейность джозефсоновского тока.</p> <p>20. Массивы джозефсоновских переходов. Генерация микроволн и стандарт вольта</p> <p>21. Джозефсоновские вихри. Понятие распределенного джозефсоновского перехода. Вязкое движение джозефсоновских вихрей.</p> <p>22. Генерация микроволн в распределенных туннельных переходах. Джозефсоновская передающая линия. Эквивалентная схема.</p> <p>23. Сверхпроводящие квантовые интерферометры (сквиды). Характеристические параметры сквида.</p> <p>24. Один или несколько джозефсоновских контактов в сверхпроводящем кольце. Характеристические параметры сквида.</p> <p>25. Сверхпроводящие усилители микроволновых сигналов. Параметрические усилители с внешней накачкой на сквидах без смещения постоянным током.</p> <p>26. Сверхпроводящие усилители микроволновых сигналов. Усилители постоянного тока и микроволновых сигналов с самонакачкой на многоконтактных сквидах.</p> <p>27. Принципы и методы тестирования сверхпроводящих микросхем. Коэффициент передачи. Мощность насыщения. Измерение полосы частот. Определение уровня собственного шума.</p> <p>28. Различие микроволнового и низкочастотного импеданса сверхпроводящего детектора в квантовом режиме. Концепция массива с оптимальным включением СИС переходов</p> <p>29. Преобразование частоты и детектирование с усилением. Физические основы.</p> <p>30. Расчет параметров сверхпроводящего микрополоска. Волновое сопротивление и фазовая скорость. Сравнение с другими планарными волноводами.</p> <p>31. Планарные антенны. Дипольная антенна. Двойная щелевая антенна. Согласование с планарной антенной. Трансформаторы импеданса.</p> <p>32. Линзовые антенны. Диаграмма направленности. Пример практического квазиоптического детектора терагерцового диапазона.</p> <p>33. Потери в подводящих цепях детектора и методы их минимизации. Влияние потерь на параметры приемного устройства. Применение нормальных металлов.</p> <p>34. Аппроксимация ВАХ СИС перехода с помощью гладких</p>
--	--	---

			<p>функций. Определение поглощенной микроволновой мощности с применением теории Такера-Фелдмана.</p> <p>35. Эквивалентный шум приемного устройства. Определение шумового вклада составляющих элементов микросхемы и периферических устройств.</p> <p>36. Импеданс распределенного джозефсоновского осциллятора. Потери, шумы и их влияние на ширину линии генерации.</p> <p>37. Входной и выходной импеданс джозефсоновских усилителей на основе сквидов и методы их согласования с источниками сигнала и нагрузкой.</p> <p>38. Программы электромагнитного моделирования HFSS и AWR. Принцип работы, сходство и различия.</p> <p>39. Методика исследования джозефсоновских осцилляторов. Совместимость квантовых детекторов и джозефсоновских осцилляторов.</p> <p>40. Примеры практических узлов сверхпроводящей микросхемы. Управляющая линия с локализацией магнитного поля. Согласование импеданса. Изолятор постоянного тока в одном и двух слоях металла.</p> <p>41. Пример практического осциллятора на распределенных туннельных переходах. Эквивалентная схема и основные элементы.</p> <p>42. Пример практического осциллятора на двумерной решетке джозефсоновских контактов</p> <p>43. Электронно-управляемые аттенюаторы на туннельных переходах. Принцип работы. Полоса рабочих частот. Диапазон регулирования и ограничения по мощности.</p> <p>44. Пример практической интеграции квантового детектора и джозефсоновского генератора. Принципы совместимости.</p> <p>45. Интегральный приемник с прямоугольным волноводом. Квазиоптический приемник на одиночном СИС переходе и с балансным СИС смесителем.</p> <p>46. Матричный квазиоптический интегральный приемник. Лабораторный зондовый приемник.</p> <p>47. Пример практического спектрометра на основе джозефсоновского осциллятора с фазовой автоподстройкой частоты. Принцип построения и общая схема. Гармонический смеситель. Конструкция приемного модуля.</p> <p>48. Измерение спектральной линии. Кювета высокого контраста.</p> <p>49. Пример практического усилителя на основе сквидов постоянного тока. Принцип построения. Балансный сквидусилитель. Усилитель на основе массива связанных сквидов.</p> <p>50. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Управление индуктивностью джозефсоновского тока.</p> <p>51. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Сквиды в компактном резонаторе как реактивная нагрузка сверхпроводящей линии.</p> <p>52. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Передающие линии с перестраиваемыми резонаторами и управляемой дисперсией.</p>
--	--	--	--

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	самостоятельное задание	ПК-1-В1;ПК-1-У1;ОПК-2-В1;ОПК-2-У1	<p>проектирование сверхпроводящих цепей с заданными параметрами.</p> <p>Пример самостоятельного задания: Рассчитать волновое сопротивление и фазовую скорость сверхпроводящей микрополосковой линии по заданной геометрии, включая свойства диэлектрической прослойки, используя аналитические формулы. Определить физическую длину четвертьволнового резонатора на основе такой линии. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE.</p>

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает не полные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Гинкхам М., Лихарев К. К.	Введение в сверхпроводимость	Электронная библиотека	Москва: Атомиздат, 1989

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Антонова Е. А., Абрикосов А. А.	Материаловедение, механические свойства и технология сверхпроводников. Разд.: Теоретическое материаловедение сверхпроводников: Курс лекций (для студ. спец. 0406)	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1983

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Шмидт В. В. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Наука, 1985. Читать онлайн: https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html	https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html
Э2	L.V. Filippenko, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, V.P. Koshelets, and J.R. Gao, "Integrated Superconducting Receiver: fabrication and yield", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 4EA01. Url: http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf	http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf
Э3	Бойко В. М. Гауссовы пучки и лазерные резонаторы. Описание лабораторной работы 4.4 по физической оптике. Новосибирск 2004. Читать онлайн: https://studizba.com/files/show/pdf/22012-1-boyko-v-m-gaussovy-puchki-i-lazernye.html	https://studizba.com/files/show/pdf/22012-1-boyko-v-m-gaussovy-puchki-i-lazernye.html
Э4	V.P. Koshelets, S.V. Shitov, "Integrated Superconducting Receivers" Superconductor Science and Technology, vol 13, pp. R53-R69, (2000). Url: http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf	http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	ESET NOD32 Antivirus

П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.4	Microsoft Office
П.5	LMS Canvas
П.6	MS Teams
П.7	Autodesk AutoCAD
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных	
И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/
И.3	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com/
И.6	— наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com
И.7	— научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Освоение каждого раздела курса необходимо начинать с изучения лекционного материала: конспекта лекции, рекомендуемой литературы. Критерием успешного освоения лекционного материала для каждого студента могут служить результаты самоконтроля. Если студент оказывается способным справиться с большинством предлагаемых в каждом разделе дисциплины контрольных вопросов, тестов и задач, может своевременно выполнить домашние задания, значит, процесс освоения материала идет успешно. В противном случае необходимо обратиться к лектору на консультации или на факультативном теоретическом семинаре.