

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:23:09

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)

# Superconducting electronics for the detection of super-weak signals and its metrology

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для  
современной инженерии материалов

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

**Superconducting electronics for the detection of super-weak signals and its metrology**

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-МФ3-23-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, 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, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра теоретической физики и квантовых технологий**

Протокол от 23.06.2022 г., №7/22

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.04
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Electron Theory of Metals / Электронная теория металлов	
2.1.2	Electronic Properties of Quantum Confined Semiconductor Heterostructures / Электронные свойства квантово-ограниченных полупроводниковых гетероструктур	
2.1.3	Scientific research / Научно-исследовательская практика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-31	Возможности сверхпроводниковой электроники по сравнению с традиционной электроникой
ПК-2-32	Основы технологий, необходимых для создания сверхпроводящих интегральных микросхем
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31	Квантовую физику, эффекты сверхпроводимости, классическую электродинамику металлов и диэлектриков, геометрическую и волновую оптику
<b>ПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-2-У2	Выбирать оптимальное решение прикладных задач с использованием существующих элементов сверхпроводящей электроники
ПК-2-У1	Определять критические параметры элементов сверхпроводящей электроники: джозефсоновских контактов, сквидов, туннельных переходов с квазичастиным током, сверхпроводящих линий передачи и планарных антенн
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-1-У1	Решать стандартные задачи в области квантовой физики, эффектов сверхпроводимости, классической электродинамики металлов и диэлектриков, геометрической и волновой оптики
<b>ПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций</b>	
<b>Владеть:</b>	
ПК-2-В2	Экспериментальными методами проектирования, изготовления и исследования сверхпроводящих интегральных микросхем
ПК-2-В1	Навыками объединения сверхпроводящих элементов в функциональные цепи и системы для генерации, детектирования и усиления сверхслабых сигналов СВЧ

**ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности**

**Владеть:**

ОПК-1-В1 Навыками электрофизических измерений с применением элементов сверхпроводящей электроники

#### 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
	<b>Раздел 1. Раздел 1 Обзор: Сверхпроводниковые компоненты СВЧ и необходимая исследовательская инфраструктура /Section 1 Overview: Microwave Superconducting Components and Required Research Infrastructure</b>							
1.1	1.1 Основы технологии тонкопленочных микросхем с применением сверхпроводниковых материалов /Fundamentals of thin-film microchip technology using superconducting materials /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
1.2	1.2 Методы охлаждения для получения сверхпроводимости /Cooling methods for obtaining superconductivity /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.3	1.3 Сверхпроводящие туннельные контакты (переходы) / Superconducting tunnel	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.4	1.4 Преобразование и передача сигналов с применением сверхпроводников /Conversion and transmission of signals using superconductors /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.5	1.5 Осцилляторы на эффекте Джозефсона /Josephson effect oscillators /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.6	1.6 Сенсоры магнитного поля – сквиды /Magnetic field sensors - squids /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.7	1. Определение и расчет основных параметров туннельного джозефсоновского перехода. /Determination and calculation of the main parameters of the Josephson tunnel junction. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК- 2-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э2			

1.8	2. Определение и расчет шума туннельного джозефсоновского перехода в единицах эквивалентной шумовой температуры. /Determination and calculation of the noise of the tunneling Josephson junction in terms of the equivalent noise temperature. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-У2 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
1.9	3. Определение и расчет параметров двухконтактного сквида постоянного тока, используя резистивную модель /Defining and calculating the parameters of a two-terminal DC SQUID using a resistive model. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32	Л1.1Л2.1Л3. 1			
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. /Calculate the basic parameters of the Josephson tunnel junction using a two-column data file (CVC) $I=f(V)$ . Based on the given geometric size, calculate its own capacity. /Ср/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32	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) $I=f(V)$ . /Calculate the shot noise level of the tunneling Josephson junction in units of equivalent noise temperature versus bias voltage, based on the data (CV) $I=f(V)$ . /Ср/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1	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. /Design a two-terminal DC squid using a resistive model and based on the given parameters of the Josephson junctions used. Calculate: (1) the resistance and inductance limit of the shunt resistors and (2) the limit value of the squid loop inductance. /Ср/	3	6	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
	<b>Раздел 2. Раздел 2 Расчет и моделирование сверхпроводниковых микросхем /Section 2 Calculation and modeling of superconducting microcircuits</b>							
2.1	2.1 Сверхпроводящий микрополосок и другие планарные волноводы. Волновое сопротивление и фазовая скорость. Потери в подводящих цепях и методы их минимизации /Superconducting microstrip and other planar waveguides. Wave resistance and phase velocity. Losses in supply circuits and methods of their	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.2	2.2 Планарная антенна. Дипольная антенна. Двойная щелевая антенна. Согласование с планарной антенной. Трансформаторы импеданса. /Planar antenna. Dipole antenna. Double slit antenna. Matching with a planar antenna. Impedance transformers. /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э3 Э4			
2.3	2.3 Аппроксимация ВАХ СИС перехода. Определение поглощенной СВЧ мощности /Approximation of the VAN SIS transition. Determination of absorbed microwave power /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			

2.4	2.4 Методы тестирования сверхпроводящих микросхем. Определение шумового вклада составляющих элементов микросхемы. /Methods of testing superconducting microcircuits. Determination of the noise contribution of the constituent elements of the chip. /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2	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 /The impedance of a distributed Josephson oscillator. Noise and its effect on the width of the generation line. The impedance of the Josephson amplifier and its matching methods /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.6	2.6 Программы электромагнитного моделирования: Sonnet, HFSS, AWR и др. /Electromagnetic modeling programs: Sonnet, HFSS, AWR, etc. /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.7	1. Определение волнового сопротивления и фазовой скорости копланарной линии. Проектирование четвертьволнового резонатора на основе копланарной линии. /Determination of the wave resistance and phase velocity of the coplanar line. Designing a quarter-wave resonator based on a coplanar line. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.8	2. Определение волнового сопротивления и фазовой скорости микрополосковой линии. Проектирование четвертьволнового резонатора на основе микрополосковой линии. /Determination of the wave resistance and phase velocity of the microstrip line. Designing a quarter-wave resonator based on a microstrip line. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-32 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			

2.9	3. Проектирование четвертьволновых трансформаторов импеданса. /Design of quarter-wave impedance transformers. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.10	4. Проектирование трансформатора импеданса на сосредоточенных элементах L и C. /Designing an impedance transformer on concentrated elements L and C. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.11	5. Проектирование полосно-пропускающего четвертьволнового фильтра с разрывом постоянного тока для заданной полосы частот. Проектирование полосно-пропускающего четвертьволнового фильтра с пропусканием постоянного тока. /Designing a band-pass quarter-wave filter with a DC discontinuity for a given frequency band. Design of a band-pass quarter-wave filter with direct current transmission. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.12	6. Проектирование полосно-заграждающего четвертьволнового фильтра с разрывом постоянного тока. Проектирование полосно-заграждающего четвертьволнового фильтра с пропусканием постоянного тока. /Design of a band-blocking quarter-wave filter with a DC break. Design of a band-blocking quarter-wave filter with direct current transmission. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			



2.13	<p>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. /Calculate the wave resistance and phase velocity of a coplanar line on a given dielectric substrate according to a given geometry. Determine the physical length of a quarter-wave resonator based on such a line. Perform a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Cp/</p>	3	6	<p>ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2</p>	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.14	<p>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. /Calculate the wave impedance and phase velocity of a superconducting microstrip line from a given geometry, including the properties of the dielectric layer. Determine the physical length of a quarter-wave resonator based on such a line. Carry out a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Cp/</p>	3	6	<p>ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2</p>	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. /Design an N-stage quarter-wave impedance transformer between a source with impedance R1 and a load with impedance R2. Carry out a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Cp/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	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. /Design an impedance transformer on lumped elements L and C between a source with an impedance R1 and a load with an impedance R2. /Cp/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	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. /Design a quarter-pass filter with DC discontinuity for a given frequency band. Carry out a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Cp/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.18	6. Спроектировать полосно-заграждающий четвертьволновый фильтр с разрывом постоянного тока. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Design a band-stop quarter-wave filter with DC discontinuity. Carry out a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Cp/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			

2.19	7. Спроектировать полосно-заграждающий четвертьволновой фильтр с пропусканием постоянного тока. Проведение проверки с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE /Design a band-stop quarter-wave filter with direct current transmission. Testing with AWRDE Electromagnetic Simulator /Ср/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
2.20	8. Спроектировать полосно-пропускающий четвертьволновой фильтр с пропусканием постоянного тока. Провести проверку с применением программы электромагнитного моделирования AWRDE. /Design a band pass quarter-wave filter with direct current transmission. Carry out a test using the AWRDE electromagnetic simulation program. /Ср/	3	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
	<b>Раздел 3. Раздел 3 Практические примеры сверхпроводящих микросхем /Practical examples of superconducting microcircuits</b>							
3.1	3.1 Квантовые преобразователи частоты, микросхемы с планарными антеннами, микросхемы с джозефсоновскими осцилляторами, усилители с джозефсоновскими контактами. /Quantum frequency converters, microcircuits with planar antennas, microcircuits with Josephson oscillators, amplifiers with Josephson junctions. /Лек/	3	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.2	1. Определение и расчет импеданса и диаграммы направленности двушелевой планарной антенны заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Determination and calculation of the impedance and radiation pattern of a dual-slot planar antenna of a given configuration using the AWRDE electromagnetic simulator. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			

3.3	2. Определение и расчет диаграммы направленности массива планарных антенн заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Determination and calculation of the radiation pattern of an array of planar antennas of a given configuration using the AWRDE electromagnetic simulator. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.4	3. Проектирование полусферической иммерсионной линзы для работы в апланатическом режиме, исходя из заданной диэлектрической проницаемости ее материала. /Designing a hemispherical immersion lens for operation in the aplanatic mode, based on the given dielectric constant of its material. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ПК-2-32 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.5	4. Проектирование полусферической иммерсионной линзы, работающей в дифракционном пределе, исходя из заданной диэлектрической проницаемости и угла расходимости гауссова пучка в дальней зоне. /Designing a hemispherical immersion lens operating in the diffraction limit, based on a given dielectric constant and the divergence angle of a Gaussian beam in the far field. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ПК-2-32 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.6	1. Рассчитать импеданс и диаграмму направленности двущелевой планарной антенны заданной конфигурации, используя электромагнитный симулятор AWRDE. /Calculate the impedance and radiation pattern of a dual-slot planar antenna of a given configuration using the AWRDE electromagnetic simulator. /Ср/	3	8	ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ПК-2-32 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э4			
	<b>Раздел 4. Раздел 4 Сверхпроводящие метаматериалы / Section 4 Superconducting metamaterials</b>							

4.1	4.1 Сверхпроводящие линии и резонаторы со сквидами. Передающие линии с управляемой дисперсией /Superconducting lines and resonators with SQUIDs. Dispersion Controlled Transmission Lines /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
4.2	1. Расчет сверхпроводящего резонатора с заданной частотой и добротностью. /Calculation of a superconducting resonator with a given frequency and quality factor. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
4.3	2. Определение параметров линии, нагруженной массивом резонаторов. /Determining the parameters of a line loaded with an array of resonators. /Пр/	3	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК -2-31 ПК-2-У2	Л1.1Л2.1Л3. 1			
	<b>Раздел 5. Коллоквиум /Colloquium</b>							
5.1	Коллоквиум /Colloquium /Пр/	3	2	ОПК-1-31 ПК- 2-31 ПК-2-32	Л2.1Л3.1			

### 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 /Colloquium	ОПК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое сверхпроводящая микросхема, и способы ее подключения к устройствам традиционной электроники.</li> <li>2. Методы изготовления сверхпроводящих микросхем. Напыление пленок в вакууме. Оптическая и электронная литография.</li> <li>3. Проникновение магнитного поля в тонкие пленки. Глубина проникновения и уравнение Лондонов. Кинетическая индуктивность тонкой пленки сверхпроводника.</li> <li>4. Типовые схемы охлаждения до сверхпроводящего состояния, криостатирования и экранировки сверхпроводящих образцов.</li> <li>5. Эффект Джозефсона. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Модель шунтированного джозефсоновского перехода (RSJ model).</li> <li>6. Эквивалентная схема и математическая модель шунтированного джозефсоновского контакта. Влияние собственной емкости и ее характеристический параметр.</li> <li>7. Туннельный контакт между двумя сверхпроводниками. Полупроводниковая модель. Электрофизические свойства туннельных переходов.</li> <li>8. Проникновение магнитного поля в туннельный сверхпроводящий контакт. Джозефсоновские вихри. Влияние магнитного поля.</li> <li>9. Детекторы прямого преобразования и гетеродинные детекторы на сверхпроводящих туннельных переходах.</li> <li>10. Нелинейные свойства и высокочастотный импеданс сверхпроводящего туннельного перехода. Эффект квантовой стимуляции туннелирования квазичастиц. Теория Тьен-Гордона.</li> <li>11. Пороговая чувствительность и эффективность</li> </ol>

		<p>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 (скивды). Характеристические параметры скивда.</p> <p>24. Один или несколько джозефсоновских контактов в сверхпроводящем кольце. Характеристические параметры скивда.</p> <p>25. Сверхпроводящие усилители микроволновых сигналов. Параметрические усилители с внешней накачкой на скивдах без смещения постоянным током.</p> <p>26. Сверхпроводящие усилители микроволновых сигналов. Усилители постоянного тока и микроволновых сигналов с самонакачкой на многоконтактных скивдах.</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 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 скивдов 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 осцилляторы 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 скивдов постоянного тока. Принцип построения. Балансный скивдусилитель. Усилитель на основе массива связанных скивдов.</p> <p>50. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Управление индуктивностью джозефсоновского тока.</p> <p>51. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Скивды в компактном резонаторе как реактивная нагрузка сверхпроводящей линии.</p> <p>52. Сверхпроводящие метаматериалы. Определение. Передающие линии с перестраиваемыми резонаторами и управляемой дисперсией. /</p> <p>1. What is a superconducting microcircuit, and ways to connect it to traditional electronic devices.</p> <p>2. Methods for manufacturing superconducting microcircuits. Vacuum deposition of films. Optical and electronic lithography.</p> <p>3. Penetration of a magnetic field into thin films. Penetration depth and the London's equation. Kinetic inductance of a thin film of a superconductor.</p> <p>4. Typical schemes for cooling to the superconducting state, cryostatting, and screening superconducting samples.</p> <p>5. Josephson effect. Stationary and non-stationary Josephson effects. Shunted model Josephson junction (RSJ model).</p> <p>6. Equivalent circuit and mathematical model of a shunted Josephson junction. Influence self-capacitance and its characteristic parameter.</p> <p>7. Tunnel contact between two superconductors. semiconductor model. Electrophysical properties of tunnel junctions.</p> <p>8. Penetration of a magnetic field into a tunnel superconducting contact. Josephson vortices. Influence magnetic field.</p> <p>9. Direct conversion detectors and heterodyne detectors based on</p>
--	--	---

		<p>superconducting tunnel junctions.</p> <p>10. Nonlinear properties and high-frequency impedance of a superconducting tunnel junction. Effect quantum stimulation of tunneling of quasiparticles. The Thien-Gordon theory.</p> <p>11. Threshold sensitivity and efficiency of a superconducting detector. Noise in the superconducting detector.</p> <p>12. The principle of matching microwave circuits. Coordination of the SIS of the transition.</p> <p>13. Integral tuning elements from superconductors. Advantages over semiconductors.</p> <p>14. Transmission lines based on superconducting films. Microstrip and coplanar waveguides.</p> <p>15. Surface impedance of a superconducting film. Mattis-Bardn theory. Kinetic inductance.</p> <p>16. Methods for canalization of microwave signals. coaxial cables. Rectangular metal and dielectric waveguides and quasi-optics.</p> <p>17. Arrays of superconducting detectors. Integrating and representing matrices. Similarities and differences.</p> <p>18. Large-scale modeling of microwave devices. Principles and scope.</p> <p>19. Superconducting oscillators based on the Josephson effect. Nonlinearity of the Josephson current.</p> <p>20. Arrays of Josephson junctions. Microwave Generation and Volt Standard</p> <p>21. Josephson vortices. The concept of a distributed Josephson junction. viscous movement Josephson vortices.</p> <p>22. Generation of microwaves in distributed tunnel junctions. Josephson transmission line. Equivalent circuit.</p> <p>23. Superconducting quantum interferometers (SQUIDs). Characteristic parameters of a squid.</p> <p>24. One or more Josephson junctions in a superconducting ring. Characteristic parameters squid.</p> <p>25. Superconducting amplifiers of microwave signals. Parametric amplifiers with external pumping squids without DC bias.</p> <p>26. Superconducting amplifiers of microwave signals. DC and microwave signal amplifiers with self-pumping on multicontact squids.</p> <p>27. Principles and methods of testing superconducting microcircuits. Transfer coefficient. Saturation power. Bandwidth measurement. Determining the level of own noise.</p> <p>28. The difference between the microwave and low-frequency impedance of a superconducting detector in the quantum regime. Array concept with optimal inclusion of SIS junctions</p> <p>29. Frequency conversion and detection with amplification. Physical bases.</p> <p>30. Calculation of the parameters of a superconducting microstrip. Wave impedance and phase velocity. Comparison with other planar waveguides.</p> <p>31. Planar antennas. dipole antenna. Double slot antenna. Coordination with a planar antenna. impedance transformers.</p> <p>32. Lens antennas. Directional diagram. An example of a practical quasi-optical detector terahertz range.</p> <p>33. Losses in the supply circuits of the detector and methods for their minimization. Influence of losses on the parameters of the receiving devices. The use of normal metals.</p> <p>34. Approximation of the I-V characteristics of the SIS transition using smooth functions. Determination of the absorbed microwave power using the Tucker-Feldman theory.</p> <p>35. Equivalent noise of the receiving device. Determination of the noise contribution of constituent elements</p>
--	--	--



			<p>microcircuits and peripheral devices.</p> <p>36. Impedance of a distributed Josephson oscillator. Losses, noise and their effect on line width generation.</p> <p>37. Input and output impedance of Josephson amplifiers based on SQUIDs and methods for their matching with signal sources and load.</p> <p>38. Electromagnetic modeling programs HFSS and AWR. Principle of operation, similarities and differences.</p> <p>39. Technique for studying Josephson oscillators. Compatibility of quantum detectors and Josephson oscillators.</p> <p>40. Examples of practical components of a superconducting microcircuit. Control line with magnetic localization fields. Impedance matching. DC insulator in one and two layers of metal.</p> <p>41. An example of practical oscillators on distributed tunnel junctions. Equivalent circuit and main elements.</p> <p>42. Practical Example oscillator on a two-dimensional lattice of Josephson junctions.</p> <p>43. Electronically controlled attenuators at tunnel crossings. Principle of operation. Operating frequency band. Control range and power limitations.</p> <p>44. An example of practical integration of a quantum detector and a Josephson generator. Principles compatibility.</p> <p>45. Integrated receiver with a rectangular waveguide. Quasi-optical receiver on a single SIS transition and with a balanced SIS mixer.</p> <p>46. Matrix quasi-optical integrated receiver. Laboratory probe receiver.</p> <p>47. An example of a practical spectrometer based on a Josephson oscillator with phase-locked loop frequencies. Construction principle and general scheme. harmonic mixer. The design of the receiving module.</p> <p>48. Measurement of the spectral line. High contrast cuvette.</p> <p>49. An example of a practical amplifier based on DC SQUIDs. Construction principle. Balanced squid amplifier. Amplifier based on an array of connected squids.</p> <p>50. Superconducting metamaterials. Definition. Josephson current inductance control.</p> <p>51. Superconducting metamaterials. Definition. Squids in a compact resonator as a reactive load superconducting line.</p> <p>52. Superconducting metamaterials. Definition. Transmission lines with tunable resonators and controlled dispersion.</p>
<p><b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.</b></p>			
<p>По курсу предусмотрены самостоятельные задания по проектированию сверхпроводящих цепей с заданными параметрами (ПК-2.2-У1, УК-7.2-У1, ПК-2.1-У1, ПК-2.2-В1, УК-7.2-В1, ПК-2.1-В1)).</p> <p>Пример самостоятельного задания:</p> <p>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>			
<p><b>5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)</b></p>			
<p>Экзамен не предусмотрен</p>			

**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	Тинкхам 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: <a href="https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html">https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html</a>	<a href="https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html">https://www.studmed.ru/shmidt-vv-vvedenie-v-fiziku-sverhprovodnikov_c19e284c316.html</a>
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: <a href="http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf">http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf</a>	<a href="http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf">http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-06.pdf</a>
Э3	Бойко В. М. Гауссовы пучки и лазерные резонаторы. Описание лабораторной работы 4.4 по физической оптике. Новосибирск 2004. Читать онлайн: <a href="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</a>	<a href="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</a>
Э4	V.P. Koshelets, S.V. Shitov, "Integrated Superconducting Receivers" Superconductor Science and Technology, vol 13, pp. R53-R69, (2000). Url: <a href="http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf">http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf</a>	<a href="http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf">http://cplire.ru/html/lab234/pubs/2000-02.pdf</a>

**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
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>	
И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.3	Иностраннне базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.6	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.7	— научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>

#### 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.