

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:23:06

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)

# Experimental Methods in Low dimensional Systems / Экспериментальные методы в низкоразмерных системах

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

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

51

курсовая работа 3

самостоятельная работа

66

часов на контроль

27

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	66	66	66	66
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*дфмн, профессор, Карпов Александр Владимирович*

Рабочая программа

**Experimental Methods in Low dimensional Systems / Экспериментальные методы в низкоразмерных системах**

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	Цель дисциплины – подготовка магистрантов для решения экспериментальных задач по исследованию физики и приложениям низкоразмерных систем на примере микросхем из сверх тонких плёнок сверхпроводника.
1.2	Задачи дисциплины:
1.3	1. Освоение магистрантами методов теоретического анализа и экспериментальных методов в области физики сверхпроводящих высокочастотных схем из сверх тонких плёнок сверхпроводника.
1.4	2. Освоение магистрантами методов расчёта высокочастотных характеристик сверхпроводящих схем.
1.5	3. Освоение магистрантами методов решения экспериментальных задач в области физики квантовых сенсоров и квантовой метрологии на примере сверхпроводящих высокочастотных схем.
1.6	4. Ознакомление магистрантов с оборудованием и техникой низкотемпературных экспериментов в лаборатории сверхпроводящих метаматериалов.
1.7	5. Развитие способности магистрантов связывать теоретические представления с экспериментальными данными.

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.01
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Scientific research / Научно-исследовательская практика	
2.1.2	Modern methods of structural characterisation of micro- and nano-systems/Современные методы диагностики и исследования материалов, нано- и микросистем	
<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	Знать физические основы методов измерения основных характеристик сверхпроводящих микросхем
<b>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</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-2-32	Фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач физики конденсированного состояния;
ОПК-2-31	Знать фундаментальные свойства сверхпроводимости и физическую картину явлений, происходящих в металлах в нормальном и сверхпроводящем состояниях;
<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-У1	Уметь проводить измерения параметров сверхпроводящих микросхем с использованием современной аппаратуры и программного обеспечения
<b>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</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-2-У2	Уметь читать учебную, справочную и специальную литературу по физике сверхпроводимости, понимать и правильно интерпретировать прочитанное;
ОПК-2-У1	Уметь применять методы квантовой механики, электродинамики и статистической физики к описанию свойств

сверхпроводящих схем
<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-В1 Владеть навыками качественного и количественного анализа ошибок измерения транспортных характеристик сверхпроводящих микросхем.
<b>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</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 Владеть навыками качественного и количественного анализа фундаментальных свойств, явлений и процессов в сверхпроводниках и сверхпроводящих устройствах;
ОПК-2-В2 Владеть навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях;

#### 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. Феноменологическая теория транспорта в сверхпроводящих схемах. /Phenomenological theory of transport in superconducting circuits.</b>							
1.1	Механизм проводимости сверхпроводников. Модель Лондонов. /The mechanism of conduction in superconductors. London model. /Лек/	3	4	ОПК-2-31 ОПК-2-У2	Л1.1 Л1.2Л3.1			
1.2	Самостоятельная работа по основам физики сверхпроводников /Independent work on the basics of superconductor physics /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.3			
1.3	Решение задач по основам физики сверхпроводников. /Solving problems on the fundamentals of superconductor physics. /Пр/	3	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3			
1.4	Подготовка к лабораторной работе 2 : Измерение температуры фазового перехода нормальный металл - сверхпроводник /Preparation for laboratory work 2: Measurement of the temperature of the phase transition normal metal - superconductor. /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.5			
	<b>Раздел 2. Распространение СВЧ сигналов в сверхпроводящих схемах /Propagation of microwave signals in superconducting circuits</b>							

2.1	Прохождение высокочастотных сигналов через сверхпроводящие схемы. Сверхпроводящие линии передачи и резонаторы. /Passage of high-frequency signals through superconducting circuits. Superconducting transmission lines and resonators. /Лек/	3	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.3 Э1 Э2 Э3			
2.2	Самостоятельная работа по изучению физических основ работы сверхпроводящих линий передачи и СВЧ резонаторов /Independent work on the study of the physical foundations of the operation of superconducting transmission lines and microwave resonators /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.3			
2.3	Решение задач по распространению высокочастотных сигналов в сверхпроводнике. /Solving problems on the propagation of high-frequency signals in a superconductor. /Пр/	3	4	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3			
2.4	Подготовка к лабораторной работе 4 : Сверхпроводящие линии передачи и резонаторы. /Preparation for laboratory work 4: Superconducting transmission lines and resonators. /Пр/	3	2	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3			
	<b>Раздел 3. Квантование магнитного потока. Сверхпроводящие схемы как пример макроскопических квантовых систем. /Magnetic flux quantization. Superconducting circuits as an example of macroscopic quantum systems.</b>							
3.1	Квантование магнитного потока в сверхпроводнике. /Quantization of magnetic flux in a superconductor. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4			
3.2	Самостоятельная работа по изучению физических основ квантования магнитного потока в сверхпроводящих схемах /Independent work on the study of the physical foundations of magnetic flux quantization in superconducting circuits /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4			

3.3	Решение задач по квантованию магнитного потока в сверхпроводящих схемах /Solving Problems of Magnetic Flux Quantization in Superconducting Circuits /Пр/	3	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4			
	<b>Раздел 4. Контакт Джозефсона и квантовые сверхпроводящие интерферометры. /Josephson contact and quantum superconducting interferometers.</b>							
4.1	Контакт Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры. /Josephson contact and superconducting quantum interferometers. /Лек/	3	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3			
4.2	Самостоятельная работа по изучению физических основ применений контакта Джозефсона /Independent work on the study of the physical foundations of the applications of the Josephson contact /Ср/	3	8	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3			
4.3	Решение задач по физическим основам работы контакта Джозефсона /Solving problems on the physical foundations of the operation of the Josephson contact /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3			
	<b>Раздел 5. Экспериментальные приложения физики сверхпроводимости для создания квантовых сенсоров и устройств квантовой метрологии /Experimental applications of superconductivity physics for the creation of quantum sensors and quantum metrology devices</b>							
5.1	Приложения физики сверхпроводников при создании двумерных сверхпроводящих устройств. /Applications of superconductor physics in the creation of two-dimensional superconducting devices. /Лек/	3	3	ОПК-2-У1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Э1 Э2 Э3			
	<b>Раздел 6. Практические работы в лаборатории /Practical work in the laboratory</b>							

6.1	Практическая работа 1. Ознакомление с оборудованием лаборатории сверхпроводящих метаматериалов и сверхпроводящими микросхемами. Измерение параметров сверхпроводящей микросхемы. /Practical work 1. Familiarization with the equipment of the laboratory of superconducting metamaterials and superconducting microcircuits. Measurement of the parameters of a superconducting microcircuit. /Пр/	3	3	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.5	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.2	Практическая работа 2. Измерение температуры фазового перехода нормальный металл - сверхпроводник. /Practical work 2. Measurement of the temperature of the phase transition normal metal - superconductor. /Пр/	3	3	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4 Л2.5	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.3	Обработка данных и анализ результатов измерения температурной зависимости сопротивления при переходе нормального металла в сверхпроводящее состояние. /Data processing and analysis of the results of measuring the temperature dependence of the resistance during the transition of a normal metal to the superconducting state. /Ср/	3	5	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4 Л2.5	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.4	Практическая работа 3. Измерение плотности критического тока тонкой плёнки сверхпроводника. /Practical work 3. Measurement of the critical current density of a thin superconductor film. /Пр/	3	3	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.5	Обработка данных и анализ результатов измерения температурной зависимости плотности критического тока в тонкой плёнке сверхпроводника. /Data processing and analysis of the results of measuring the temperature dependence of the critical current density in a thin superconductor film. /Ср/	3	4	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		

6.6	Практическая работа 4. Сверхпроводящие линии передачи и резонаторы. /Practical work 4. Superconducting transmission lines and resonators. /Пр/	3	4	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.4	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.7	Практическая работа 5. Измерение вольт-амперной характеристики контакта Джозефсона. /Practical work 5. Measurement of the current-voltage characteristic of the Josephson contact. /Пр/	3	4	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
6.8	Обработка данных и анализ результатов измерения вольт-амперной характеристики контакта Джозефсона. /Data processing and analysis of the measurement results of the current-voltage characteristic of the Josephson contact. /Ср/	3	4	ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3	Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.		
<b>Раздел 7. Курсовая работа /Course work</b>								
7.1	Курсовая работа по основам физики сверхпроводников и приложениям двумерных структур на основе тонких плёнок сверхпроводника. /Coursework on the fundamentals of superconductor physics and applications of two-dimensional structures based on thin superconductor films. /Ср/	3	21	ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э3 Э4			

### 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	экзамен /exam	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ПК-2-31	<p>1. Открытие сверхпроводимости. Модель проводника Друде и теория Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Первое и второе уравнение Лондонов, двухжидкостная модель, поверхностный импеданс, потери в сверхпроводнике высокочастотных сигналов.</p> <p>2. Поверхностный импеданс сверхпроводника. Передающие линии для высокочастотных сигналов. Представление передающей линии в виде эквивалентной схемы. Передающая линия из нормального металла и передающая линия из сверхпроводника. Сверхпроводящие резонаторы.</p> <p>3 Уравнение Шредингера для сверхпроводящих токов. Волновая</p>



		<p>функция в сверхпроводнике. Квантование магнитного потока. Замораживание магнитного потока в сверхпроводящей трубке. Экспериментальная проверка квантования магнитного потока.</p> <p>4. Сверхпроводники I и II рода. Сверхпроводящий вихрь, поля и токи вихря. Длина когерентности. Термодинамика и построение фазовых диаграмм перехода сверхпроводник-нормальный металл. Критическое поле сверхпроводника I рода. Критическое поле 1 и 2 для сверхпроводника II рода.</p> <p>5. Контакт Джозефсона. Туннелирование сверхпроводящего тока и нормальных электронов. Энергетический спектр контакта сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник. Вольт-амперная характеристика контакта Джозефсона. Уравнения Джозефсона для постоянного и переменного тока.</p> <p>6. Стандарт постоянного напряжения на контакте Джозефсона.</p> <p>7. СКВИД, Контакт Джозефсона в магнитном поле: контакт малых размеров и длинный контакт Джозефсона. Флюксон и длина Джозефсона. Магнетометр на СКВИДе.</p> <p>8. RCSJ Модель динамики токов в контакте Джозефсона. Контакт Джозефсона – аналогия с маятником</p> <p>9. Сверхпроводящие ключи для вычислений. Сверхпроводящие устройства Быстрой Одно-Квантовой Логики (RSFQ).</p> <p>10. Основы технологии сверхпроводящих микросхем.</p> <p>11. Приложения сверхпроводимости в метрологии. /</p> <p>1. Discovery of superconductivity. The Drude conductor model and the Londons theory. Depth of penetration of the magnetic field. First and second Londons equations, two-fluid model, surface impedance, superconductor losses high frequency signals.</p> <p>2. Surface impedance of a superconductor. Transmission lines for high frequency signals. Performance transmission line in the form of an equivalent circuit. Transmission line made of normal metal and transmission line made of superconductor. superconducting resonators.</p> <p>3 Schrödinger equation for superconducting currents. Wave function in a superconductor. Quantization of the magnetic flow. Freezing of the magnetic flux in a superconducting tube. Experimental verification of quantization magnetic flux.</p> <p>4. Superconductors of the I and II kind. Superconducting vortex, vortex fields and currents. coherence length. Thermodynamics and construction of phase diagrams of the superconductor-normal metal transition. Critical field of a superconductor of the first kind. Critical field 1 and 2 for a type II superconductor.</p> <p>5. Josephson contact. Tunneling of superconducting current and normal electrons. energy spectrum contact superconductor-insulator-superconductor. Volt-ampere characteristic of the Josephson contact. Equations Josephson for direct and alternating current.</p> <p>6. Constant voltage standard on the Josephson contact.</p> <p>7. SQUID, Josephson contact in a magnetic field: small size contact and long Josephson contact. Fluxon and Josephson length. Magnetometer on SQUID.</p> <p>8. RCSJ Model of current dynamics in the Josephson contact. Josephson contact - pendulum analogy</p> <p>9. Superconducting keys for calculations. Superconducting devices of Fast Single-Quantum Logic (RSFQ).</p> <p>10. Fundamentals of technology of superconducting microcircuits.</p> <p>11. Applications of superconductivity in metrology.</p>
--	--	---

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.**

Курсовая работа (реферат) (УК-10.2-31, ОПК-3.1-У1, ОПК-3.1-В1, УК-10.2-В1)

Примеры темы курсовой работы:

1. Критический ток тонкой плёнки сверхпроводника
2. Температурная зависимость добротности сверхпроводящего резонатора.
3. Эффект близости в плёнке сверхпроводник-нормальный металл.

Защита практических работ (УК-10.2-У1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-В1, УК-10.2-В1, ОПК-3.1-В1)

Примеры контрольных вопросов для защиты практических работ :

Работа 1

- Опишите метод охлаждения сверхпроводящих схем в лабораторных экспериментах.
- Оцените случайные ошибки измерений

Работа 2

- Как измеряется сопротивление образца в криостате ?
- Как зависит сопротивления образца от температуры до перехода в сверхпроводящее состояние. Объясните наблюдаемую зависимость.
- Во сколько раз изменилось сопротивление образца при переходе в сверхпроводящее состояние. Объясните наблюдаемую величину.

Работа 3

- Зависит ли величина критического тока от толщины сверхпроводящей плёнки.
- Объясните механизм разрушения сверхпроводимости при превышении критического тока в сверхпроводящей плёнке.

Работа 4

- Во сколько раз изменилась мощность сигнала после прохождения через аттенюатор с поглощением 6 деци-Белл (дБ) ?
- Объясните строение СВЧ резонатора, сделанного на основе отрезка сверхпроводящей передающей линии.

Работа 5

- Как определить нормальное сопротивление контакта Джозефсона по измеренной вольт-амперной характеристике?
- Как соотносится максимально возможный критический ток в контакте Джозефсона с минимальным током на нормальной ветви его вольт-амперной характеристики?
- Как соотносится измеренный критический ток с расчётным. Объясните расхождение.

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

- пример билета для экзамена -

1. Открытие сверхпроводимости. Модель проводника Друде и теория Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Первое и второе уравнение Лондонов, двухжидкостная модель.
2. Поверхностный импеданс, потери в сверхпроводнике высокочастотных сигналов.

Пример задачи:

Сверхпроводник с потерями и движение магнитного потока.

Рассмотрим сверхпроводящий элемент, из которого «вытекает магнитный поток» аналогично плохому конденсатору, который теряет свой заряд со временем. Это можно представить как последовательное соединение резистора  $R=1$  пкОм и сверхпроводящего индуктора  $L=1$  мкГн.

- Если через этот элемент протекает ток  $I=100$  А, оцените среднюю скорость квантов магнитного потока, вытекающих через этот элемент за одну секунду.

Пример экзаменационного билета в Приложении.

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

## Оценивание ответов на теоретические вопросы

Оценка	Критерии оценивания
5 «Отлично»	Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает ответ на каждый теоретический вопрос, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер
4 «Хорошо»	Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы, однако ответ хотя бы на один из них не носит развернутого и исчерпывающего характера
3 «Удовлетворительно»	Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы и допускает ряд неточностей
2 «Неудовлетворительно»	Обучающийся фрагментарно раскрывает содержание теоретических вопросов, допускает значительные неточности
2 «Неудовлетворительно»	Обучающийся не знает ответов на поставленные теоретические вопросы

## Оценивание решения задач

Оценка	Критерии оценивания
5 «Отлично»	Обучающийся выполняет полное и аргументированное решение задачи
4 «Хорошо»	Обучающийся выполняет полное решение задачи, но не может аргументировать свое решение
3 «Удовлетворительно»	Обучающийся в целом правильно решает задачу, но не может аргументировать свое решение
2 «Неудовлетворительно»	Обучающийся правильно понимает способ решения задачи, но допускает ошибки при решении задачи
2 «Неудовлетворительно»	Обучающийся не может решить задачу

**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
Л1.2	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Паринов И. А.	Сверхпроводники и сверхпроводимость: словарь-справочник: словарь	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2008
Л2.2	Ильичев Е. В., Гринберг Я. С.	Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: учебник	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л2.3	Жен П. д., Горьков Л. П.	Сверхпроводимость металлов и сплавов	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1968
Л2.4	Варламов А. А., Ларкин А. И.	Теория флуктуаций в сверхпроводниках: монография	Библиотека МИСиС	М.: Добросвет, 2007
Л2.5	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

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А.	Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ, курсовых работ магистров и отчетов по практикам: метод. указания	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2017

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи: — Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Э2	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС): — аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>	<a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
Э3	аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
Э4	научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	Adobe Connect
П.3	MATLAB
П.4	Microsoft Excel
П.5	Microsoft PowerPoint
П.6	Python

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

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	Иностранные 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
Б-737	Аудитория для самостоятельной работы	стационарные компьютеры 2 шт., пакет лицензионных программ MS Office, набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, экран проекционный, комплект учебной мебели
Б-737	Аудитория для самостоятельной работы	стационарные компьютеры 2 шт., пакет лицензионных программ MS Office, набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, экран проекционный, комплект учебной мебели
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

Учебно-методическое обеспечение дисциплины включает:  
рабочую программу дисциплины;

методические и оценочные материалы.

- Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы включает:

учебники, учебные пособия;

Самостоятельная работа обучающихся является формой организации образовательного процесса по дисциплине, стимулирующей активность, самостоятельность и познавательный интерес студентов.

Самостоятельная работа обучающихся предусматривает углубленное изучение разделов и тем дисциплины, основных и дополнительных источников учебной и научной литературы, подготовку докладов, рефератов, эссе, выполнение курсовых работ. Материалы докладов, курсовых работ в дальнейшем могут быть использованы при выполнении студенческих научных исследований и стать основой для подготовки выступлений на студенческих научно-практических конференциях, участия в конкурсах.

Самостоятельная работа направлена на поиск учебной и научной информации, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, на выработку умений и навыков рациональной организации своей деятельности.

Самостоятельная работа включает следующие виды деятельности:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку лекционных материалов (конспекты, презентации) и учебной литературы;
- поиск (подбор) и обзор научной и учебной литературы с использованием библиотечных и электронных образовательных ресурсов, источников информации в сети «Интернет» по изучаемой теме дисциплины;
- освоение материала, предусмотренного для самостоятельного изучения;
- подготовка к практическим, семинарским и лабораторным занятиям;
- выполнение курсовой работы;
- подготовка к экзамену.

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы находится в разделе ФОС

- Методические указания по лабораторным работам находятся на кафедре, копия файла в приложении.