

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**СЛАБОТОЧНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
8	1	36	12	12	0	12	0	3
Итого	1	36	12	12	0	0	12	0

## АННОТАЦИЯ

Цель дисциплины - дать ориентацию в физических явлениях и основополагающих экспериментах в области слаботочной сверхпроводимости, показать методы получения джозефсоновских переходов и других слабых связей, методики изготовления квантовых интерферометров на основе слабых сверхпроводящих связей, научить методам использования СКВИДов в измерительной технике.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины - дать ориентацию в физических явлениях и основополагающих экспериментах в области слаботочной сверхпроводимости, показать методы получения джозефсоновских переходов и других слабых связей, методики изготовления квантовых интерферометров на основе слабых сверхпроводящих связей, научить методам использования СКВИДов в измерительной технике.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: квантовая механика, макроэлектродинамика, статистическая физика и термодинамика, физика конденсированного состояния вещества.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо уметь работать с операторами, знать дифференциальное и интегральное исчисление, тензорный и векторный анализ, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах. Необходимо ориентироваться в задачах квантовой механики и статистической физики, основные квантовые и классические распределения, элементы квантовой статистики.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
	инновационный		
Сбор и анализ	информационные	ПК-5.4 [1] - Способен	3-ПК-5.4[1] - знать

<p>информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в сфере высоких и наукоемких технологий.</p>	<p>источники и исходные данные для планирования новых проектов, разработки новых методов производства и контроля продукции</p>	<p>формулировать исходные данные и выбирать и обосновывать научно-технические и организационные решения в области проектирования и эксплуатации установок физики твердого тела, разрабатывать и оформлять соответствующую документацию, эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>основные достижения физики твердого тела и возможности современной экспериментальной техники; У-ПК-5.4[1] - уметь формулировать исходные данные и выбирать и обосновывать научно-технические и организационные решения, разрабатывать и оформлять соответствующую документацию, эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей; В-ПК-5.4[1] - владеть навыками обоснования научно-технических и организационных решений, взаимодействия со специалистами смежных профилей.</p>
экспертно-аналитический			
<p>Сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и</p>	<p>Результаты исследований, научные и аналитические отчеты.</p>	<p>ПК-14.1 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в приборах физики твердого тела, лазерных и плазменных установках, системах квантовой логики на основе ультрахолодных атомов и ионов в ловушках</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный</p>	<p>З-ПК-14.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: энергетические зоны; классификацию веществ с точки зрения зонной теории, основы физики металлов, полупроводников и наноструктур; основные свойства и теоретические модели, описывающие ультрахолодные атомы и ионы в ловушке.; У-ПК-14.1[1] - уметь сформулировать математическую модель для прототипа или макета</p>

<p>обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий.</p>		<p>стандарт: 29.004</p>	<p>разрабатываемого прибора физики твердого тела, лазерной или плазменной установки.; В-ПК-14.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел, терминологией энергетических зон, квазичастиц и размерного квантования, методами компьютерного моделирования физических процессов.</p>
---	--	-------------------------	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)</p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала</p>

		дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирование базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-5.4, У-ПК-5.4, В-ПК-

							5.4, 3-ПК- 14.1, У- ПК- 14.1, В- ПК- 14.1
2	Второй раздел	9-12	4/4/0		25	КИ-12	3-ПК- 5.4, У- ПК- 5.4, В- ПК- 5.4, 3-ПК- 14.1, У- ПК- 14.1, В- ПК- 14.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/12/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	3-ПК- 5.4, У- ПК- 5.4, В- ПК- 5.4, 3-ПК- 14.1, У- ПК- 14.1, В- ПК- 14.1

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам

3	Зачет
---	-------

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	12	12	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	8	0
1	<b>Введение.</b> Физические основы сверхпроводимости. Обзор основных явлений.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
1	<b>Тема 1</b> Понятие «слабой сверхпроводящей связи». Типы слабых связей. Системы слабых связей. Разность фаз параметра порядка.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Тема 2</b> Методики изготовления джозефсоновских переходов и других слабых связей (переходы туннельного типа, точечные контакты, мостиковые контакты и др.). Слабые связи на основе высокотемпературных сверхпроводников. Методики изготовления квантовых интерферометров на основе слабых сверхпроводящих связей.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3</b> Физические основы эффекта Джозефсона. Основные уравнения. Стационарный эффект Джозефсона. Влияние магнитного поля. Джозефсоновская глубина проникновения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Тема 4</b> Нестационарный эффект Джозефсона. Высокочастотный предел. Другие нестационарные процессы в слабых связях.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Тема 5</b> Основные параметры слабых связей разных типов. Резистивная модель джозефсоновского перехода. Влияние флуктуаций.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 6</b> Вольтамперные характеристики (ВАХ) джозефсоновских переходов и других слабых связей (основные зависимости, характеристики переходов в СВЧ поле). Экспериментальное измерение ВАХ слабых связей. Дополнительные особенности на ВАХ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Тема 7</b> Вихревая модель слабых связей. Вихри в джозефсоновском переходе и мостике. Определение параметров вихревого движения. Электродинамические процессы в слабых сверхпроводящих связях.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Тема 8</b> Квантовые приборы на основе слабых сверхпроводящих связей. Генерация, преобразование (смещение),	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		

	детектирование электромагнитных волн слабыми сверхпроводящими связями. Использование систем слабых связей.	0	0	0
<b>9-12</b>	<b>Второй раздел</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
9	<b>Тема 9</b> Квантовая интерференция. Характеристики интерферометра. Явления в кольце, содержащем один джозефсоновский переход. Сверхпроводящие квантовые интерференционные приборы-СКВИДы. СКВИДы постоянного тока, высокочастотные СКВИДы. Принципы работы СКВИДов. Пределы чувствительности. Практические типы СКВИДов. Ресквид.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Тема 10</b> Использование СКВИДов в измерительной технике. Трансформатор потока. Магнитометр, градиентометр, гальванометр, вольтметр на основе СКВИДа.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 11</b> Приборы для метрологии. Определение отношения заряда электрона к постоянной Планка на основе эффекта Джозефсона. Стандарт Вольта. Компараторы тока. Измерение частот. Термометрия.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема 12</b> Использование слабых сверхпроводящих связей в цифровых устройствах и вычислительной технике. Квантроны. Другие применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При обсуждении тем лекционных занятий используются презентации, обсуждения последних научных работ, новые модели в физике конденсированного состояния. Рассказываются навыки работы с научной литературой, с базой данных Physical Review, Elseiver и др. Обязательным является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-5.4	З-ПК-5.4	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-5.4	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-5.4	З, КИ-8, КИ-12
ПК-14.1	З-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-12

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает

			существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	---

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ И 83 Волновые процессы. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
2. ЭИ И 83 Квантовая физика. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021
3. ЭИ Т 77 Нанoeлектроника и схемотехника в 2 ч. Часть 1 : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2022
4. ЭИ Т 77 Нанoeлектроника и схемотехника в 2 ч. Часть 2 : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2022
5. ЭИ Г61 Основы сверхпроводимости : , Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ Г61 Слаботочная сверхпроводимость : , Москва: МИФИ, 2008
7. ЭИ Р 27 Физические основы измерений : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2022
8. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.8 Сверхпроводящие материалы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
9. ЭИ И 83 Электромагнетизм. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021
10. 538.9 Ш73 Введение в физику сверхпроводников : , Шмидт В.В., Москва: МЦНМО, 2000

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 16 Основы теории металлов : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2010
2. 537 Л 65 Системы с джозефсоновскими контактами : основы теории, Москва: Издательство Московского университета, 1978
3. 539.2 Б25 Эффект Джозефсона : Физика и применения, А. Бароне, Дж. Патерно, М.: Мир, 1984
4. 538.9 Л12 Лабораторный практикум "Слаботочная сверхпроводимость" : , ред. : Ю. В. Копаев, А. И. Головашкин, М.: МИФИ, 2001

5. 537 Т42 Введение в сверхпроводимость : , Тинкхам М.;Пер. с англ., М.: Атомиздат, 1980

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

В результате освоения дисциплины студент должен:

1) Знать: понятие «слабой сверхпроводящей связи». Типы слабых связей. Методики изготовления джозефсоновских переходов и других слабых связей. Физические основы эффекта Джозефсона. Принципы работы СКВИДов.

2) Уметь: применять фундаментальные законы в области физики слаботочной сверхпроводимости для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей, применять теоретические и компьютерные методы исследований в области физики слаботочной сверхпроводимости; производить поиск нужной информации в специальной научно-технической и патентной литературе по тематике исследований и разработок, применять экспериментальные методы электрофизических, оптических и структурных исследования сверхпроводников.

3) Владеть современными данными и навыками по использованию слабых сверхпроводящих связей в цифровых устройствах и вычислительной технике. .

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

В результате освоения дисциплины студент должен:

1) Знать: понятие «слабой сверхпроводящей связи». Типы слабых связей. Методики изготовления джозефсоновских переходов и других слабых связей. Физические основы эффекта Джозефсона. Принципы работы СКВИДов.

2) Уметь: применять фундаментальные законы в области физики слаботочной сверхпроводимости для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей, применять теоретические и компьютерные методы исследований в области физики слаботочной сверхпроводимости; производить поиск нужной информации в специальной научно-технической и патентной литературе по тематике исследований и разработок, применять экспериментальные методы электрофизических, оптических и структурных исследования сверхпроводников.

3) Владеть современными данными и навыками по использованию слабых сверхпроводящих связей в цифровых устройствах и вычислительной технике. .

Автор(ы):

Руднев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент