

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Дефекты в сверхпроводниках

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Физическая электроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.02 Дефекты в сверхпроводниках относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и нанoeлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения в области физики сверхпроводимости на основе изученных эффектов Джозефсона (стационарного и нестационарного).  ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, умеет применять теорию Гинзбурга-Ландау для описания эффектов Джозефсона, владеет знаниями об особенностях ВАХ джозефсоновских контактов. Владеет знаниями об возможных симметриях энергетической щели в квазичастичном спектре сверхпроводников.	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и нанoeлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики сверхпроводников с дефектами и современные подходы к их описанию с помощью двух противоположных пределов - чистого и грязного пределов сверхпроводимости.	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

работ в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники	ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические методы исследования для описания неупорядоченных сверхпроводников во внешнем магнитном поле, основанные на теории Гинзбурга-Ландау.  ПК-2.3: Умеет решать оригинальные задачи физики сверхпроводимости на основе изученных математических методов.  ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики сверхпроводимости металлов с дефектами.		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Знает основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям.  ПК-3.2: Умеет оформлять рукописи, протоколы, отчеты.  ПК-3.3: Владеет навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ.	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>Зачёт</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Особенности второго критического магнитного поля для разных геометрий сверхпроводников.	12	4	0	4	8
Эффекты слабой связи.	52	20	0	20	32
Теория Гинзбурга-Ландау в чистом и грязном пределах сверхпроводимости.	43	8	0	8	35
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

#### Содержание разделов и тем дисциплины

I. Особенности второго критического магнитного поля для разных геометрий сверхпроводников.  
 $H_{c2}$  для массивного сверхпроводника второго рода,  $H_{c2}$  для тонкой сверхпроводящей пленки в перпендикулярном магнитном поле,  $H_{c2}$  для тонкой сверхпроводящей пленки в параллельном магнитном поле.

II. Эффекты слабой связи.

Одночастичный туннельный ток через слабую связь. Сверхпроводящий ток через слабую связь. Эффекты Джозефсона. Задачи.

III. Теория Гинзбурга-Ландау в чистом и грязном пределах сверхпроводимости.

Основные предположения теории Гинзбурга-Ландау. Вывод основных уравнений. Понятие чистого и грязного пределов сверхпроводимости. Обобщение теории Гинзбурга-Ландау.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для студентов подготовлены специальные методические материалы в форме списка определений, списка контрольных вопросов и списка контрольных задач.

### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

#### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Представить выражения для поля  $H_{c2}$  массивного сверхпроводника, тонкой пленки сверхпроводника.
2. Представить простейшее описание стационарного эффекта Джозефсона.
3. Представить простейшее описание нестационарного эффекта Джозефсона. Найти ВАХ джозефсоновского контакта.
4. Найти ВАХ джозефсоновского перехода в присутствии внешнего излучения.
5. Получить выражение для джозефсоновского тока, исходя из выражения для избыточной энергии, связанной с наличием туннельного контакта.
6. Получить выражение для джозефсоновского тока, исходя из теории Гинзбурга-Ландау.
7. Получить выражение для джозефсоновской частоты, исходя из условий градиентной инвариантности нестационарного уравнения Гинзбурга-Ландау.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданным характерным масштабом [одномерная модель].
2. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданным характерным масштабом [двумерная модель].
3. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданными характерными масштабами [трехмерная модель].

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода в сверхпроводнике с гауссовым случайным распределением коэффициента диффузии [одномерная модель].
2. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода в сверхпроводнике с гауссовым случайным распределением коэффициента диффузии [двумерная модель].
3. Найти критическое поле  $H_{c2}$  в массивном сверхпроводнике в грязном пределе.
4. Найти критическое поле  $H_{c2}$  в сверхпроводящей пленке в грязном пределе. Внешнее магнитное поле приложено перпендикулярно.
5. Найти критическое поле  $H_{c2}$  в сверхпроводящей пленке в грязном пределе. Внешнее магнитное поле приложено параллельно.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

## Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

## Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше

		предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Чем определяется выражение для критического поля  $H_{c2}$ ?
2. В чем заключается стационарный эффект Джозефсона?
3. В чем заключается нестационарный эффект Джозефсона?
4. Как устроена ВАХ джозефсоновского перехода в присутствии/отсутствии внешнего излучения?
5. Что такое чистый предел сверхпроводника? Что такое грязный предел сверхпроводника?

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Как изменяется линия фазового перехода сверхпроводника в магнитном поле в случае, когда учтены флуктуации коэффициента диффузии?
2. Что такое куперовская пара? Что определяет ее характерный размер?
3. За счет чего возможно образование связанного состояния у системы двух электронов в сверхпроводнике?
4. Как меняется характерный размер куперовской пары при уменьшении средней длины свободного пробега?



### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Что такое энергетическая щель в квазичастичном спектре сверхпроводника?
2. Какова симметрия энергетической щели для s-типа сверхпроводящего спаривания?
3. Какова симметрия энергетической щели для d-типа сверхпроводящего спаривания?
4. Как объяснить возможность формирования s-типа сверхпроводящего спаривания в сверхпроводнике d-типа при постепенном увеличении степени беспорядка в нем?

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Шмидт Вадим Васильевич. Введение в физику сверхпроводников : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1982. - 238 с. : ил. - 0.40., 1 экз.
2. Абрикосов Алексей Алексеевич. Основы теории металлов. - Изд. 2-е, доп. и испр. - М. : Физматлит, 2009. - 600 с. - ISBN 978-5-9221-1097-6 : 180.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Тинкхам Майкл. Введение в сверхпроводимость / пер. с англ. В. К. Корнева и др. ; под ред. К. К. Лихарева. - М. : Атомиздат, 1980. - 310 с. : ил. - 3.40., 2 экз.
2. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов / пер. с англ. А. И. Русинова ; под ред. Л. П. Горькова. - М. : Мир, 1968. - 280 с. : ил. - 1.35., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Для изучения дисциплины используются компьютеры с доступом к сети Интернет с любой поисковой системой.

### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Савинов Денис Александрович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.