

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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума
ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Дефекты в сверхпроводниках

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физическая электроника

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина «Дефекты в сверхпроводниках» Б1.В.ДВ.07.02 относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 «Радиофизика», формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
<i>ПК-1</i> Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области микро- и, наноэлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач.</p> <p>ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников.</p> <p>ПК-1.3. Владеет современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и</p>	<p><i>Знает</i> эффекты Джозефсона (стационарный и нестационарный).</p> <p><i>Умеет</i> применять теорию Гинзбурга-Ландау для описания эффектов Джозефсона.</p> <p><i>Владеет</i> знаниями об особенностях ВАХ джозефсоновских контактов.</p>	<i>задачи, собеседование</i>

	эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования.		
<p><i>ПК-2</i> Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты</p>	<p>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.</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p>ПК-2.3. Применяет навыки планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p>	<p><i>Знает</i> суть эффектов беспорядка в сверхпроводниках (описание сверхпроводников в чистом и грязном пределах).</p> <p><i>Умеет</i> применять теорию Гинзбурга-Ландау для описания неупорядоченных сверхпроводников во внешнем магнитном поле.</p> <p><i>Владеет</i> знанием о типах сверхпроводящего спаривания.</p>	<p><i>задачи, собеседование</i></p>

<p><i>ПК-3</i> Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>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.</p> <p>ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.</p> <p>ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p>	<p><i>Знает</i> основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям <i>Умеет</i> оформлять рукописи, протоколы, отчеты <i>Владеет</i> навыками оформления протоколов и отчетов</p>	<p><i>задачи, собеседование</i></p>
--	---	---	-------------------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа	32
самостоятельная работа	75
КСР	1
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	Зачет

3.2. Содержание дисциплины

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		В том числе														Самостоятельная работа обучающегося, часы		
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них																
			Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Консультации		Всего								
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная				
1. Эффекты Джозефсона. Стационарный эффект Джозефсона (понятие, описание, применение)	6			3									3			3			
2. Эффекты Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона (понятие, описание, применение)	6			3									3			3			
3. Эффекты Джозефсона. Особенности ВАХ джозефсоновского перехода. Эффекты, связанные с влиянием внешнего излучения.	6			3									3			3			
4. Понятие чистого и грязного пределов сверхпроводников	6			3									3			3			

. Описание в рамках теории Гинзбурга-Ландау																			
5. Обобщение теории Гинзбурга-Ландау на случай, когда существенны флуктуации коэффициента диффузии в сверхпроводнике	6			3											3			7	
6. Изучение особенностей линии фазового перехода неупорядоченных сверхпроводников во внешнем магнитном поле. Демонстрация экспериментальных данных.	6			3											3			3	
7. Основы микроскопической теории сверхпроводников . Задача Купера, теория БКШ.	6			3											3			7	
8. Определение возможных типов сверхпроводящего спаривания (фаз). Демонстрация некоторых экспериментальных фактов.	6			3											3			3	
9. Переходы в сверхпроводниках , сопровождающиеся сменой типа спаривания по мере увеличения степени беспорядка в системе. Обсуждение типичных экспериментальных данных	6			3											3			3	
10. Введение в физику сверхпроводящих электронных приборов	18			5											5			9	
Промежуточная аттестация: экзамен																			
Итого	108			32											32			44	

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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 несущественным 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 владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	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
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Перечень контрольных заданий и иных материалов для оценки результатов обучения. Критерии оценивания

5.2.1 Вопросы к экзамену по дисциплине «Дефекты в сверхпроводниках»

вопросы	Код формируемой компетенции
В чем заключается стационарный эффект Джозефсона?	ПК-1
В чем заключается нестационарный эффект Джозефсона?	ПК-1
Как устроена ВАХ джозефсоновского перехода в присутствии/отсутствии внешнего излучения?	ПК-1
Что такое чистый предел сверхпроводника?	ПК-1
Что такое грязный предел сверхпроводника?	ПК-1
Как изменяется линия фазового перехода сверхпроводника в магнитном поле в случае, когда учтены флуктуации коэффициента диффузии?	ПК-2
Что такое куперовская пара?	ПК-2

За счет чего возможно образование связанного состояния у системы двух электронов в сверхпроводнике?	ПК-2
Что такое энергетическая щель в квазичастичном электронном спектре сверхпроводника?	ПК-2
Какова симметрия энергетической щели для s-типа сверхпроводящего спаривания?	ПК-2
Какова симметрия энергетической щели для d-типа сверхпроводящего спаривания?	ПК-2
Как объяснить возможность формирования s-типа сверхпроводящего спаривания в сверхпроводнике d-типа при постепенном увеличении степени беспорядка в нем?	ПК-2

5.2.2 Задания для текущего контроля успеваемости

5.2.2.1 Задачи для оценки сформированности компетенции «ПК-1»

1. Получить выражение для джозефсоновского тока j_s , исходя из выражения для избыточной энергии, связанной с наличием туннельного контакта.
2. Получить выражение для джозефсоновского тока j_s , исходя из теории Гинзбурга-Ландау.
3. Получить выражение для джозефсоновской частоты ω_J , исходя из условий градиентной инвариантности нестационарного уравнения Гинзбурга-Ландау.
4. Найти ВАХ джозефсоновского контакта.
5. Для джозефсоновского контакта, находящегося во внешнем излучении, найти значения напряжений V_n , при которых наблюдаются ступени тока.
6. Вывести выражение для верхнего критического магнитного поля H_{c2} сверхпроводника в чистом пределе (расчет выполнить для области температур $T_{c0} - T \ll T_{c0}$).
7. Вывести выражение для верхнего критического магнитного поля H_{c2} сверхпроводника в грязном пределе (расчет выполнить для области температур $T_{c0} - T \ll T_{c0}$).
8. Провести сравнение линий фазового перехода $H_{c2}(T)$ сверхпроводника для случаев чистого и грязного пределов (сравнение выполнить для области температур $T_{c0} - T \ll T_{c0}$).

5.2.2.2 Задачи для оценки сформированности компетенции «ПК-2»

1. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода $H_{c2}(T)$ в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданным характерным масштабом ℓ_c , который может быть описан пространственной зависимостью коэффициента диффузии следующего вида: $D(x) = D_0 - (D_0 - D_m) \exp(-x^2 / \ell_c^2)$ [одномерная модель].
2. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода $H_{c2}(T)$ в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданным характерным масштабом ℓ_c , который может быть описан пространственной зависимостью коэффициента диффузии следующего вида: $D(\rho) = D_0 - (D_0 - D_m) \exp(-\rho^2 / \ell_c^2)$ [двумерная модель].

3. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода $H_{c2}(T)$ в сверхпроводнике, содержащем один локализованный дефект с заданным характерными масштабами ℓ_c и ℓ_z , который может быть описан пространственной зависимостью коэффициента диффузии следующего вида:

$$D(\mathbf{r}) = D_0 - (D_0 - D_m) \exp(-\rho^2 / \ell_c^2 - z^2 / \ell_z^2) \text{ [трехмерная модель].}$$
4. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода $H_{c2}(T)$ в сверхпроводнике с гауссовым случайным распределением коэффициента диффузии [рассмотреть одномерную модель].
5. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вывести выражение для линии фазового перехода $H_{c2}(T)$ в сверхпроводнике с гауссовым случайным распределением коэффициента диффузии [рассмотреть двумерную модель].

5.2.2.3 Вопросы для собеседования

Вопросы для оценки сформированности компетенции «ПК-1»

1. В чем заключается стационарный эффект Джозефсона?
2. В чем заключается нестационарный эффект Джозефсона?
3. Как устроена ВАХ джозефсоновского перехода в присутствии/отсутствии внешнего излучения?
4. Что такое чистый предел сверхпроводника?
5. Что такое грязный предел сверхпроводника?

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?
3. За счет чего возможно образование связанного состояния у системы двух электронов в сверхпроводнике?
4. Что такое энергетическая щель в квазичастичном электронном спектре сверхпроводника?
5. Какова симметрия энергетической щели для s-типа сверхпроводящего спаривания?
6. Какова симметрия энергетической щели для d-типа сверхпроводящего спаривания?
7. Как объяснить возможность формирования s-типа сверхпроводящего спаривания в сверхпроводнике d-типа при постепенном увеличении степени беспорядка в нем?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а а) основная литература

1. Шмидт В. – Введение в физику сверхпроводников. - М.: МЦНМО, 2000. - 393 с. – 2000 экз.
2. Абрикосов А. – Основы теории металлов. - М.: Наука, 1987. - 520 с. – 8400 экз.

б) дополнительная литература

1. Займан Дж. - Принципы теории твердого тела: пер. с англ. - М. : Мир, 1966. – 416 с. – 2 экз.
2. Тинкхам М. - Введение в сверхпроводимость. - М.: Атомиздат, 1980. - 310 с. – 3 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютеры, проектор, доска.

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 ННГУ по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика».

Автор (ы): доцент Савинов Д.А.

и.о. заведующего кафедрой Маругин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23