

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

Введение в теорию сверхпроводимости
(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 «Введение в теорию сверхпроводимости» Б1.В.О6 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**	
ПК-1 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</p>	<p><i>Знает</i> эффекты Мейснера-Оксенфельда, Джозефсона, квантования магнитного потока.</p> <p><i>Умеет</i> строить простейшую термодинамику сверхпроводников.</p> <p><i>Владеет</i> знаниями о магнитных свойствах сверхпроводников первого и второго рода.</p>	<i>задачи, собеседование</i>

	технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования.		
ПК-2 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>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,</p>	<p><i>Знает</i> основные модели, описывающие электродинамику сверхпроводников.</p> <p><i>Умеет</i> решать уравнения Лондонов и Гинзбурга-Ландау для типичных модельных ситуаций.</p> <p><i>Владеет</i> знанием о магнитных особенностях изолированных вихрей и о межвихревом взаимодействии.</p>	<i>задачи, собеседование</i>

	мощной электроники.		
ПК-3 Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	<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>Знает основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям</p> <p>Умеет оформлять рукописи, протоколы, отчеты</p> <p>Владеет навыками оформления протоколов и отчетов</p>	задачи, собеседование

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	29
КСР	45
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	экзамен

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. Основные экспериментальные факты	6			3									3			3		
2. Магнитные свойства сверхпроводников	6			3									3			3		
3. Термодинамика сверхпроводников	6			3									3			3		
4. Теория Лондонов	6			3									3			3		
5. Квантовое обобщение теории Лондонов	6			3									3			7		
6. Распределение поля и тока в простейших конфигурациях сверхпроводников	6			3									3			3		
7. Теория Гинзбургу-Ландау	6			3									3			7		
8. Структура смешанного состояния сверхпроводника второго рода	6			3									3			3		
9. Вихри в неидеальном	6			3									3			3		

сверхпроводнике																			
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	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

			объеме.	некоторые с недочетами.	недочетами.	полном объеме.	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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован 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 «Введение в теорию сверхпроводимости»

вопросы	Код формируемой компетенции
---------	-----------------------------

Что такое сверхпроводимость и квантование магнитного потока	ПК-1
В чем состоит эффект Джозефсона	ПК-1
В чем состоит эффект Мейснера-Оксенфельда	ПК-1
Каковы магнитные свойства сверхпроводников первого и второго рода	ПК-1
Что такое критическое термодинамическое поле	ПК-1
Объяснить понятия энтропия и теплоемкость сверхпроводника.	ПК-1
В чем физический смысл первого и второго уравнения Лондонов	ПК-2
В чем физический смысл уравнений Гинзбурга-Ландау.	ПК-2
Что такое эффект близости	ПК-2
Объяснить особенности процесса взаимодействия вихрей в сверхпроводниках	ПК-2
Каковы особенности взаимодействия вихрей с центрами пиннинга и поверхностью сверхпроводника	ПК-2

5.2.2 Задания для текущего контроля успеваемости

5.2.2.1 Задачи для оценки сформированности компетенции «ПК-1»

1. Найти ВАХ джозефсоновского контакта.
2. Найти температуру, в которой $C_V^S = C_V^N$. Известно T_{c0} материала.
3. Найти величину скачка теплоемкости, зная T_{c0} и $H_{ct}(0)$.
4. Найти критические значения магнитных полей, при которых сверхпроводник переходит в промежуточное состояние, если известно критическое термодинамическое поле H_{ct} . Решить задачу для шара в однородном магнитном поле.
5. Найти критические значения магнитных полей, при которых сверхпроводник переходит в промежуточное состояние, если известно критическое термодинамическое поле H_{ct} . Решить задачу для цилиндра в параллельном магнитном поле.
6. Найти критические значения магнитных полей, при которых сверхпроводник переходит в промежуточное состояние, если известно критическое термодинамическое поле H_{ct} . Решить задачу для пленки в параллельном магнитном поле.
7. Найти критические значения магнитных полей, при которых сверхпроводник переходит в промежуточное состояние, если известно критическое термодинамическое поле H_{ct} . Решить задачу для пленки в перпендикулярном магнитном поле.

5.2.2.2 Задачи для оценки сформированности компетенции «ПК-2»

1. В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром $d=0.1$ мм, в котором захвачено 7 квантов магнитного потока. Определить магнитное поле в отверстии.
2. В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром $d=2$ см, в котором захвачено поле в 300 Гс. Определить векторный потенциал и градиент фазы на расстоянии $r=2$ см от центра отверстия.
3. Найти распределение поля $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ в тонкостенном сверхпроводящем цилиндре, помещенном в однородное магнитное поле, параллельное оси цилиндра, если известно,

что в центре захвачено n квантов эффективного магнитного потока. Также известна толщина цилиндра $d \ll \lambda$ и его радиус $R \gg \lambda$.

4. Найти распределение поля $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ в неограниченной в латеральном направлении сверхпроводящей пленке заданной толщины d , по которой пустили заданный ток силой \mathbf{J}_0 , не превышающей критическое значение.

5. Найти распределение поля $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ в неограниченной в латеральном направлении сверхпроводящей пленке заданной толщины d , помещенной в параллельное магнитное поле заданной напряженности H_0 .

6. Найти распределение плотности сверхтока в неограниченной в латеральном направлении сверхпроводящей пленке заданной толщины d , помещенной в параллельное магнитное поле заданной напряженности H_0 .

7. Найти распределение плотности сверхтока в неограниченной в латеральном направлении сверхпроводящей пленке заданной толщины d , по которой пустили заданный ток силой \mathbf{J}_0 , не превышающей критическое значение.

5.2.2.3 Вопросы для собеседования

Вопросы для оценки сформированности компетенции «ПК-1»

1. Что такое сверхпроводимость и квантование магнитного потока?
2. В чем состоит эффект Джозефсона?
3. Каковы магнитные свойства сверхпроводников первого и второго рода?
4. Что такое критическое термодинамическое поле?
5. Объяснить понятия энтропия и теплоемкость сверхпроводника?

Вопросы для оценки сформированности компетенции «ПК-2»

1. В чем физический смысл первого и второго уравнения Лондонов?
2. В чем физический смысл уравнений Гинзбурга-Ландау?
3. Что такое эффект близости?
4. Объяснить особенности процесса взаимодействия вихрей в сверхпроводниках?
5. Каковы особенности взаимодействия вихрей с центрами пиннинга и поверхностью сверхпроводника?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Киттель Ч. - Элементарная физика твердого тела. - М.: Наука, 1965. - 366 с. – 31 экз.
2. Киттель Ч. - Введение в физику твердого тела. - М.: МедиаСтар, 2006. - 792 с. – 45 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