

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

Введение в теорию сверхпроводимости

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.06 Введение в теорию сверхпроводимости 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 наноэлектроники, 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 - эффекта Мейснера, эффекта Джозефсона, а также эффекта квантования магнитного потока. ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, умеет строить простейшую термодинамику сверхпроводников, владеет знаниями о магнитных свойствах сверхпроводников первого и второго рода.	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро-	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики сверхпроводимости на основе феноменологических моделей, описывающих поведение сверхпроводников - теории Лондонов и теории Гинзбурга-Ландау. ПК-2.2: Выбирает и применяет	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы

и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	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	аналитические методы исследования поставленных задач, основанных на решении уравнения Лондонов или уравнения 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.		
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.	Дискуссия Задачи	Экзамен: Дискуссионное обсуждение Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	

аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Понятие сверхпроводимости. Основные экспериментальные факты и простейшее описание явления.	7	4	0	4	3
Термодинамика сверхпроводников.	8	4	0	4	4
Магнитные свойства сверхпроводников.	14	8	0	8	6
Электродинамика сверхпроводников.	32	16	0	16	16
Аттестация	45				
КСР	2				2
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

I. Понятие сверхпроводимости. Основные экспериментальные факты и простейшее описание явления.

Понятие сверхпроводимости. Факты, подтверждающие квантовость явления сверхпроводимости.

Эффект Мейснера. Критическое поле массивного материала рода. Фазовые переходы. Задачи.

II. Термодинамика сверхпроводников.

Свободная энергия, энтропия, теплоёмкость сверхпроводников. Роды фазовых переходов. Задачи.

III. Магнитные свойства сверхпроводников.

Граничные условия для сверхпроводников во внешнем магнитном поле. Промежуточное состояние.

Диаграмма намагничивания сверхпроводников. Сверхпроводники I рода. Сверхпроводники II рода.

Поверхностные эффекты в сверхпроводниках I и II родов. Задачи.

IV. Электродинамика сверхпроводников.

Основные модели, описывающие электродинамику сверхпроводников. Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Эффект близости. Задачи.

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. Найти ВАХ джозефсоновского контакта.
2. Найти температуру, в которой $C_{VS} = C_{VN}$. Известно T_{c0} материала.
3. Найти величину скачка теплоемкости сверхпроводника, зная T_{c0} и $H_{cm}(0)$.
4. Найти критические значения магнитных полей, при которых сверхпроводник переходит в промежуточное состояние, если известно критическое термодинамическое поле H_{cm} . 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_{cm} . 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_{cm} . Решить задачу для пленки в параллельном магнитном поле (для пленки в перпендикулярном магнитном поле).

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

1. Построить распределение силовых линий величин B , H , H_0 , H_M , M для сверхпроводящего шарика, помещенного в однородное магнитное поле H_0 . Построить графики этих величин в зависимости от оси x , проходящей через поперечное сечение шарика перпендикулярно H_0 .
2. Построить распределение силовых линий величин B , H , H_0 , H_M , M для сверхпроводящего цилиндра, помещенного в однородное магнитное поле H_0 . Построить графики этих величин в зависимости от оси x , проходящей через поперечное сечение цилиндра перпендикулярно H_0 .
3. В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром $d=0.1$ мм, в котором захвачено 7 квантов магнитного потока. Определить магнитное поле в отверстии.
4. В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром $d=2$ см, в котором захвачено поле в 300 Гс. Определить векторный потенциал и градиент фазы сверхпроводящего параметра порядка на расстоянии $r=2$ см от центра отверстия.

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

1. Найти распределение индукции магнитного поля в сверхпроводящей пленке заданной толщины d , по которой течет заданный ток силой J_0 , не превышающей критическое значение.
2. Найти распределение индукции магнитного поля в сверхпроводящей пленке заданной толщины d , помещенной в параллельное магнитное поле заданной напряженности H_0 , не превышающей критическое значение.
3. Найти распределение плотности сверхтока в сверхпроводящей пленке заданной толщины d , по которой течет заданный ток силой J_0 , не превышающей критическое значение.
4. Найти распределение плотности сверхтока в сверхпроводящей пленке заданной толщины d , помещенной в параллельное магнитное поле заданной напряженности H_0 , не превышающей критическое значение.
5. Найти распределение индукции магнитного поля и плотности сверхтока в сверхпроводящем тонкостенном цилиндре толщины $d \ll \lambda$, если в нем захвачено n квантов эффективного магнитного потока.

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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	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. Явление сверхпроводимости. Эмпирическая формула для $H_{cm}(T)$.
2. Эффект Джозефсона.
3. Эффект Мейснера. Отличие сверхпроводника от идеального проводника.
4. Свободная энергия, энтропия и теплоемкость сверхпроводника.
5. Температурная зависимость теплоемкости сверхпроводника.
6. Граничные условия для сверхпроводников во внешнем магнитном поле.

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

1. Сверхпроводник I рода (магнитные свойства, кривая намагничивания, промежуточное состояние).
2. Сверхпроводник II рода (кривая намагничивания, вихревое [смешанное] состояние).
3. Основные предположения теории Лондонов. Уравнение Лондонов.
4. Физический смысл лондоновской глубины проникновения. Формула. Температурная зависимость.
5. Квантовое обобщение уравнения Лондонов.
6. Основные предположения теории Гинзбурга-Ландау. Уравнения Гинзбурга-Ландау.
7. Сверхпроводящая длина когерентности. Формула. Температурная зависимость.

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

1. Эффект квантования магнитного потока в сверхпроводниках. Особенности эффекта для разных случаев.
2. Понятие вихря и вихревой решетки в сверхпроводниках II рода. Формула для магнитного поля изолированного вихря. Асимптотики.

3. Определение верхнего критического магнитного поля массивного сверхпроводника II рода.
4. Эффект близости. Особенности эффекта для разных случаев.
5. Нелинейный эффект Мейснера в сверхпроводниках.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
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
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»
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»

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

Основная литература:

1. Абрикосов Алексей Алексеевич. Основы теории металлов : [учеб. пособие] / [под ред. Л. А. Фальковского]. - 2-е изд., доп. и испр. - М. : Физматлит, 2010. - 600 с. - ISBN 978-5-9221-1097-6 : 541.42., 1 экз.
2. Шмидт Вадим Васильевич. Введение в физику сверхпроводников : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1982. - 238 с. : ил. - 0.40., 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.