

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Микроскопическая теория сверхпроводимости
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составили:

А.С. Мельников, д-р физ.-мат. наук

И.В. Бобкова, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
18.02.2025

Аннотация

В курсе излагаются основные методы современной микроскопической теории сверхпроводимости и некоторые полученные на их основе физические результаты. Для успешного освоения курса требуется знание основных качественных представлений о сверхпроводимости, хорошее знание курса квантовой механики Ландау и Лифшица. Курс начинается с рассмотрения основных вопросов микроскопической теории: природы притяжения между электронами, неустойчивости нормального состояния при наличии притяжения между электронами, описания основного состояния и элементарных возбуждений сверхпроводника, изучения температурного поведения сверхпроводящей щели. Следующий блок лекций посвящен методу уравнений Боголюбова де Женна и его применениям для решения некоторых задач сверхпроводящей мезоскопии, в частности, описанию процессов андреевского отражения, электронного транспорта через различные сверхпроводящие интерфейсы, андреевских уровней в S/N/S системах и в центре абрикосовского вихря. Далее в курсе рассматривается микроскопическая теория сверхпроводимости в терминах гриновских функций. Дается общее введение в метод гриновских функций, выводятся уравнения Горькова для гриновских функций в сверхпроводнике, которые в качестве иллюстрации метода применяются для решения некоторых конкретных задач, в частности к задаче о связанных состояниях на примеси в сверхпроводнике. Строится квазиклассическое приближение уравнений для гриновских функций. На основе квазиклассической теории рассматривается эффект близости в структурах сверхпроводник/ферромагнетик. Изучение данного курса позволяет студенту начать полноценную научную работу в области сверхпроводящей мезоскопии.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Познакомить студентов старших курсов с основными современными методами решения задач сверхпроводящей мезоскопии и примерами их применения для решения актуальных научных проблем.

Задачи дисциплины

Задачами учебной дисциплины являются: формирование у обучающихся специализированных знаний о микроскопической природе сверхпроводящего состояния, методах уравнений Боголюбова-де Жена и гриновских функций в теории сверхпроводимости, развитие практических навыков их применения для решения задач сверхпроводящей мезоскопии, знакомство студентов с эффектами близости в сверхпроводящих гетероструктурах и их последовательным описанием в рамках микроскопической теории.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения

УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- физические механизмы притяжения между электронами, как с микроскопической точки зрения устроено основное состояние сверхпроводника и спектр его элементарных возбуждений, температурное поведение сверхпроводящей щели;
- вывод уравнений Боголюбова де Жена, их квазиклассическое приближение – уравнения Андреева, физический механизм и микроскопическое описание процессов андреевского отражения, теорию электронного транспорта через различные сверхпроводящие интерфейсы, механизмы возникновения, физические проявления и методы расчета андреевских уровней в различных системах;
- метод гриновских функций в теории сверхпроводимости, его квазиклассическое приближение – уравнения Эйленбергера и Узаделя, условия применимости этих уравнений и граничные условия к ним;
- основные физические свойства и экспериментальные проявления эффектов близости в гибридных структурах сверхпроводник/ферромагнетик.

уметь:

- решать уравнение самосогласования для нахождения сверхпроводящего параметра порядка в различных системах, применять метод уравнений Боголюбова де Жена и Андреева для нахождения андреевских состояний, описания эффектов близости и расчета электронного в различных сверхпроводящих системах
- уметь выводить уравнения Горькова для различных сверхпроводящих систем, уметь выводить уравнения Эйленбергера и Узаделя, а также применять их для расчетов эффектов близости на различных интерфейсах.

владеть:

- навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами сверхпроводящих систем.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Микроскопическое описание сверхпроводящего состояния	2	2		5
2	Метод уравнений Боголюбова де Жена	2	2		5
3	Андреевское отражение, андреевские уровни	4	4		5
4	Формализм ВТК	4	4		5
5	Общая теория гриновских функций	4	4		5
6	Метод гриновских функций в теории сверхпроводимости. Уравнения Горькова	4	4		5
7	Квазиклассическое приближение. Уравнения Эйленбергера и Узаделя	4	4		5
8	Микроскопическая теория слабых сверхпроводящих контактов	2	2		5
9	Эффект близости в S/F и S/F/S структурах	4	4		5
Итого часов		30	30		45

Подготовка к экзамену	30 час.
Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Микроскопическое описание сверхпроводящего состояния

Неустойчивость нормального состояния при наличии притяжения между частицами. Природа притяжения. Роль кулоновского отталкивания. Основное состояние и элементарные возбуждения. Спиновая структура волновой функции пары при синглетном и триплетном спаривании. Вычисления при конечных температурах. Изменение сверхпроводящей щели с температурой.

2. Метод уравнений Боголюбова де Жена

Вывод уравнений Боголюбова де Жена. Градиентная инвариантность. Немагнитные сплавы и теорема Андерсона. Эффект Мейсснера в металлах и сплавах.

3. Андреевское отражение, андреевские уровни

Квазиклассическое приближение уравнений Боголюбова де Жена – уравнения Андреева. Андреевское отражение. Андреевские состояния в джозефсоновских контактах и корках вихрей. Джозефсоновский транспорт.

4. Формализм ВТК

Транспорт заряда. SIN граница. Формализм Блондера-Тинкхама-Клапвайка. Обзор актуальных интерфейсных задач сверхпроводящей мезоскопии, которые решаются в формализме ВТК.

5. Общая теория гриновских функций

Функции Грина ферми систем при нулевой температуре. Функция Грина для фононов. Аналитические свойства функций Грина. Определение энергетического спектра по функции Грина. Функция Грина идеального ферми – газа. Распределение частиц в ферми – жидкости по импульсам. Простейшие примеры диаграммной техники. Собственно-энергетическая функция. Функции Грина при конечных температурах.

6. Метод гриновских функций в теории сверхпроводимости. Уравнения Горькова

Микроскопический вывод уравнений Горькова. Решение уравнений Горькова для пространственно-однородного сверхпроводника. Уравнение самосогласования. Температурное поведение параметра порядка. Подавление синглетной сверхпроводимости в магнитных сверхпроводниках. Неоднородное сверхпроводящее ЛОФФ-состояние. Парамагнитный предел сверхпроводимости. Одиочная примесь в d-волновом сверхпроводнике, одиочная магнитная примесь в s-волновом сверхпроводнике.

7. Квазиклассическое приближение. Уравнения Эйленбергера и Узалея

Квазиклассическое приближение уравнений Горькова – уравнения Эйленбергера. Условие нормировки. Граничные условия. Диффузный предел, уравнения Узалея.

8. Микроскопическая теория слабых сверхпроводящих контактов

Энергия связи в S-I-S контакте и критический ток. Температурная зависимость тока, формула Амбегаокара-Баратова для симметричного S-I-S. Андреевские уровни и сверхток в S-N-S контактах. Формула Бинаккера для короткого контакта. Анализ предельных случаев большой и малой прозрачности.

9. Эффект близости в S/F и S/F/S структурах

Эффект близости на S/F границе. Наведенная триплетная сверхпроводимость. Контакт сверхпроводников через ферромагнетик (S-F-S) и инверсия фазы (π -контакт). Обзор основных концепций сверхпроводящей спинтроники.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

Необходимое программное обеспечение: офисный пакеты Adobe Acrobat, Microsoft Office или аналоги для рефератов и презентаций, пакеты прикладных программ Matlab и/или Python (при наличии технической возможности). Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, базы данных по научной периодике.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в физику сверхпроводников [Текст]/В. В. Шмидт, -М., МЦНМО, 2000
2. Сверхпроводимость металлов и сплавов [Текст]/П. Де Жен, пер. с англ. А. И. Русинова, -М., Мир, 1968
3. Введение в теорию необычной сверхпроводимости [Текст] / В. П. Минеев, К. В. Самохин ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) - М.МФТИ, 1998
4. Введение в сверхпроводимость [Текст] = Introduction to superconductivity/М. Тинкхам, -М., Атомиздат, 1980
5. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах [Текст]/И. О. Кулик, И. К. Янсон, -М., Наука, 1970
6. Методы квантовой теории поля в статистической физике [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский, Ин-т теорет. физики им. Л. Д. Ландау. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Добросвет, 1998. — 514 с.
7. Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости [Текст]/А. В. Свидзинский, -М., Наука, 1982
1. G. Sarma, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 24, 1029 (1963).
2. A. Millis, D. Rainer, and J. A. Sauls, Phys. Rev. B 38, 4504 (1988).
3. M. Eschrig, Phys. Rev. B 61, 9061 (2000).
4. N. Kopnin, Theory of Nonequilibrium Superconductivity Oxford University Press (2009)
5. J. W. Serene and D. Rainer, Phys. Rep. 101, 221 (1983), The quasiclassical approach to superfluid ^3He
6. E. A. Demler, G. B. Arnold, and M. R. Beasley, Phys. Rev. B 55, 15174 (1997), Superconducting proximity effects in magnetic metals
7. F.S. Bergeret, A.F. Volkov, and K.B. Efetov, Rev. Mod. Phys. 77, 1321 (2005), Odd triplet superconductivity and related phenomena in superconductor-ferromagnet structures
8. A. I. Buzdin, Rev. Mod. Phys. 77, (2005), Proximity effects in superconductor-ferromagnet Heterostructures
9. A. A. Golubov, M. Yu. Kupriyanov, and E. Il'ichev, Rev. Mod. Phys. 76, 411 (2004), The current-phase relation in Josephson junctions
10. A. V. Balatsky, I. Vekhter, and Jian-Xin Zhu, Rev. Mod. Phys. 78, 373 (2006), Impurity-induced states in conventional and unconventional superconductors

Дополнительная литература

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<https://www.openmx-square.org/>

<https://www.vasp.at/>

<http://www.gaussian.com/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Стандартное оборудование для мультимедийных презентаций и проведения видеоконференций, компьютерное оборудование для поиска информации и численного моделирования.

Библиотечный фонд МФТИ.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Разработчики:

А.С. Мельников, д-р физ.-мат. наук

И.В. Бобкова, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Микроскопическая теория сверхпроводимости» обучающийся должен:

знать:

- физические механизмы притяжения между электронами, как с микроскопической точки зрения устроено основное состояние сверхпроводника и спектр его элементарных возбуждений, температурное поведение сверхпроводящей щели;
- вывод уравнений Боголюбова де Жена, их квазиклассическое приближение – уравнения Андреева, физический механизм и микроскопическое описание процессов андреевского отражения, теорию электронного транспорта через различные сверхпроводящие интерфейсы, механизмы возникновения, физические проявления и методы расчета андреевских уровней в различных системах;
- метод гриновских функций в теории сверхпроводимости, его квазиклассическое приближение – уравнения Эйленбергера и Узаделя, условия применимости этих уравнений и граничные условия к ним;
- основные физические свойства и экспериментальные проявления эффектов близости в гибридных структурах сверхпроводник/ферромагнетик.

уметь:

- решать уравнение самосогласования для нахождения сверхпроводящего параметра порядка в различных системах, применять метод уравнений Боголюбова де Жена и Андреева для нахождения андреевских состояний, описания эффектов близости и расчета электронного в различных сверхпроводящих системах
- уметь выводить уравнения Горькова для различных сверхпроводящих систем, уметь выводить уравнения Эйленбергера и Узаделя, а также применять их для расчетов эффектов близости на различных интерфейсах.

владеть:

- навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами сверхпроводящих систем.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Полученные знания оцениваются по результатам решения задач, выданных студенту для самостоятельного решения и контрольных вопросов по содержанию курса.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Спиновая структура волновой функции пары при синглетном и триплетном спаривании.
2. Уравнения Андреева. Андреевское отражение.
3. Найти спектр квазичастиц в 1D андреевской яме.
4. Найти спектр квазичастиц в 2D андреевской яме.
5. Вычислить BAX NIS контакта.
6. Вычислить BAX FIS контакта .

7. Теорема Андерсона.
8. Формула Амбегаокара-Баратова.
9. Уравнение самосогласования.
10. Температурное поведение параметра порядка.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Спиновая структура волновой функции пары при синглетном и триплетном спаривании.
2. Вычислить BAX_{FIS} контакта.

Билет 2.

1. Формула Амбегаокара-Баратова.
2. Вычислить BAX_{NIS} контакта.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в форме устного опроса по контрольным вопросам. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.