

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Высокотемпературная сверхпроводимость
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр

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

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Т.Е. Кузьмичева, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и технологии наноструктур 04.06.2020

Аннотация

Целью дисциплины является освоение студентами фундаментальных знаний в области высокотемпературной (ВТСП) и многощелевой сверхпроводимости, изучение основных методов исследования различных физических свойств высокотемпературных сверхпроводников и возможностей оптимизации параметров этих материалов, а также областей их практического применения.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области высокотемпературной (ВТСП) и многощелевой сверхпроводимости, изучение основных методов исследования различных физических свойств высокотемпературных сверхпроводников и возможностей оптимизации параметров этих материалов, а также областей их практического применения.

Задачи дисциплины

- Формирование базовых знаний в области ВТСП и многощелевой сверхпроводимости;
- знакомство с существующими классами ВТСП соединений, современными представлениями о структуре и физических свойствах ВТСП, ознакомление с технологией синтеза и оптимизации ВТСП материалов;
- знакомство с основными современными методами, используемыми для выяснения сложной физической природы ВТСП, формирование базовых знаний в области эффектов, лежащих в основе этих методов;
- знакомство с основными теоретическими моделями, предложенными для описания сверхпроводящих свойств ВТСП и многощелевых сверхпроводников, в том числе нефоновыми механизмами сверхпроводимости;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области ВТСП, формирование базовых знаний и умений для исследований в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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	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

на научном языке формулировать профессиональные задачи	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-4.2 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
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-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Кристаллическую и электронную структуру, фазовую диаграмму основных семейств ВТСП соединений; основные формулы моделей сильной связи БКШ и Элиашберга, расширенной БКШ-модели для плоской зоны, модели ВТСП Абрикосова, спин-флуктуационной модели сверхпроводящего спаривания, двухзонной модели Москаленко и Сула; основные типы симметрии сверхпроводящего параметра порядка, эволюцию основных параметров ВТСП при изменении состава, допирования, давления; эффекты протяженной сингулярности ван Хофа, псевдощели, внутренний эффект Джозефсона.

уметь:

Анализировать свойства ВТСП и многощелевых сверхпроводников в рамках существующих теоретических представлений.

владеть:

Базовыми понятиями и формулами основных моделей сверхпроводящего состояния ВТСП материалов.

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	Обзор основных семейств ВТСП	2			2
2	Купратные ВТСП	2			2
3	Модели на основе сильного электрон-фононного взаимодействия	2			2
4	Спин-флуктуационная модель	2			2
5	Псевдощель в купратах	2			2
6	Теория ВТСП купратов А.А. Абрикосова	2			2
7	Двухщелевая сверхпроводимость	3			3
8	Двухщелевая сверхпроводимость диборидов магния	3			3
9	Теоретические модели двухщелевой сверхпроводимости диборидов магния	3			3
10	Железосодержащие ВТСП	3			3
11	Основные модели сверхпроводимости железосодержащих ВТСП	2			2
12	Электрон-бозонное взаимодействие в ВТСП. Другие классы ВТСП	2			2
13	Применения ВТСП	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Обзор основных семейств ВТСП

История открытия ВТСП. Основные семейства ВТСП: купраты, дибориды магния, железосодержащие сверхпроводники, системы с тяжелыми фермионами, сероводород. Особенности кристаллической и зонной структуры, анизотропия транспортных и электронных свойств. Магнитное упорядочение и спиновые корреляции. Фазовая диаграмма ВТСП и возможные механизмы спаривания. Основные параметры сверхпроводящего состояния известных ВТСП.

2. Купратные ВТСП

Структура и поверхность Ферми купратов. Вариация состава и допирования купратных ВТСП. Переход металл-изолятор. Влияние состава, допирования и давления на сверхпроводящие свойства купратных ВТСП. Симметрия сверхпроводящего параметра порядка. Изотопический эффект в купратах.

3. Модели на основе сильного электрон-фононного взаимодействия

Природа и механизмы сверхпроводимости. Щель в спектре возбуждений и критическая температура. Сверхпроводимость в трехмерных изотропных системах. Изотопический эффект. Кулоновское отталкивание. Учет сильной связи и наличия плоской зоны в модели Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Модель сильной связи Элиашберга. Формула Макмиллана. Влияние рассеяния на примесях на основные параметры сверхпроводящего состояния.

4. Спин-флуктуационная модель

Спаривание посредством спиновых флуктуаций. Знакопеременный параметр порядка. Конгруэнтность поверхностей Ферми. «Магнитный резонанс». Возможные типы симметрии параметра порядка. Влияние магнитных и немагнитных примесей.

5. Псевдощель в купратах

Псевдощель и ее обнаружение в эксперименте. Фазовая диаграмма купратов. Температурная зависимость сверхпроводящей щели и псевдощели. Влияние допирования на псевдощель.

6. Теория ВТСП купратов А.А. Абрикосова

Протяженная сингулярность ван Хофа и ее отличие от «плоской зоны». Проблемы изотопического эффекта в купратных ВТСП. Учет закона дисперсии вблизи протяженной сингулярности ван Хофа в БКШ-образной модели. Природа анизотропии сверхпроводящей щели в купратных ВТСП.

7. Двухщелевая сверхпроводимость

Система уравнений Москаленко и Сула. Эффект близости. Константы связи. Межзонное и внутризонное взаимодействие. Температурные зависимости сверхпроводящих щелей. Предельные случаи: внутризонная и межзонная сверхпроводимость.

8. Двухщелевая сверхпроводимость диборидов магния

Вариация состава и допирования диборидов магния. Кристаллическая, электронная структура и фазовая диаграмма. Основные параметры сверхпроводящего состояния. σ - и ρ -конденсаты. Изотопический эффект в диборидах магния. Температурные зависимости сверхпроводящих щелей.

9. Теоретические модели двухщелевой сверхпроводимости диборидов магния

Электрон-фононное взаимодействие в диборидах магния, функция Элиашберга и ее экспериментальное обнаружение. Влияние допирования и примесей на сверхпроводящие свойства. «Грязный предел».

10. Железосодержащие ВТСП

Пниктиды и халькогениды железа. Основные классы железосодержащих сверхпроводников и их свойства. Кристаллическая и электронная структура, фазовая диаграмма. Поверхность Ферми железосодержащих сверхпроводников по данным фотоэмиссии углового разрешения (ARPES).

11. Основные модели сверхпроводимости железосодержащих ВТСП

Изотопический эффект в железосодержащих ВТСП. Электрон-фононное взаимодействие в железосодержащих ВТСП. Спин-флуктуационная $s\pm$ -модель: знакопеременный параметр порядка, «магнитный резонанс» по данным нейтронного рассеяния. Анизотропия сверхпроводящей щели в импульсном пространстве. $s++$ -спаривание посредством орбитальных флуктуаций. Основные типы симметрии параметра порядка в железосодержащих ВТСП и их эволюция при изменении состава и допирования. БКШ-БЭК-переход и переход Лифшица, «суперстрайпы» в железосодержащих ВТСП.

12. Электрон-бозонное взаимодействие в ВТСП. Другие классы ВТСП

Наблюдение фононных резонансов на туннельных спектрах ВТСП купратов. Рамановская спектроскопия. Наблюдение спинового экситона в железосодержащих сверхпроводниках. Системы с тяжелыми фермионами, сероводороды. Монослой селенида железа. Сравнение свойств трехмерных сверхпроводящих систем и слоистых ВТСП. Сравнение свойств различных ВТСП. Основные теоретические проблемы описания механизма ВТСП.

13. Применения ВТСП

Сильноточные применения. Слаботочные применения. ВТСП-ленты. Терагерцевые генераторы и детекторы. СВЧ - фильтры.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном. Белая маркерная доска.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в теорию необычной сверхпроводимости [Текст] / В. П. Минеев, К. В. Самохин ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) - М.МФТИ, 1998
2. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости [Текст]/под ред. В. Л. Гинзбурга, Д. А. Киржница, -М., Наука, 1977
3. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников [Текст] = Physical properties of high temperature superconductors, сборник статей/под ред. Д. М. Гинзбурга , -М., Мир, 1990
Фонд базовой кафедры:
4. P. W. Anderson, The Theory of Superconductivity in the High-Tc Cuprates, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1997.

Дополнительная литература

Фонд базовой кафедры:

1. Физические свойства ВТСП, том 1, под ред. А.И. Буздина и В.В. Мошталкова, Москва, 1990.
2. Физические свойства ВТСП, том 2, под ред. А.И. Буздина и В.В. Мошталкова, Москва, 1991.

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

Журналы Успехи физических наук, Письма в ЖЭТФ, ЖЭТФ, Physical Review B, Review of Modern Physics. и др.,
база данных ArXiv: <http://xxx.lanl.gov/archive/cond-mat>,
доступные через интернет научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Matlab, Mathcad, Matematica

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

Студенты, изучающие курс «Высокотемпературная сверхпроводимость», должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины у студента должно сформироваться представление об особенностях структурных, электронных и сверхпроводящих свойств известных ВТСП. Студент должен получить представление об особенностях структуры параметра порядка известных ВТСП. Студент должен понять основные закономерности, лежащие в основе явления ВТСП и приводящие к повышению критической температуры и характеристического отношения. Студент должен понять критерии отнесения конкретного сверхпроводника к классу ВТСП или классических сверхпроводников. Студент должен понять базовые понятия, суть и границы применимости излагаемых в лекциях теоретических моделей: сильной и слабой связи в рамках БКШ, модели Элиашберга, Абрикосова, спин-флуктуационной модели спаривания, Москаленко-Сула, БКШ и БЭК; освоить их на практике и применять для оценки основных параметров ВТСП. Студент должен понимать и знать формулы для критической температуры и сверхпроводящей щели в моделях БКШ для случая слабой и сильной связи, в модели Элиашберга. Студент должен понимать и знать температурные зависимости основных параметров сверхпроводящего состояния в рамках однозонной и двухзонной моделей. Студент должен овладеть принципами построения температурных зависимостей сверхпроводящих щелей в зависимости от величин констант связи и соотношения нормальных плотностей состояний на уровне Ферми в рамках двухзонной модели Москаленко и Сула. Показателем овладения материалом служит умение делать оценки физических свойств сверхпроводников и делать выводы о характере сверхпроводимости и реализации какой-либо из моделей в конкретном материале.

Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо читать как можно больше теоретических и экспериментальных статей, касающихся исследования различных свойств ВТСП, анализировать и сравнивать свойства различных классов ВТСП между собой. Работая с литературой, студент должен соотносить результаты экспериментальных исследований с существующими теоретическими представлениями.

Список статей в научных журналах для самостоятельного ознакомления:

1. М.В. Садовский, УФН 186, 1035 (2016)
2. Qimiao Si, Rong Yu and Elihu Abrahams, Nature Review Materials 1, 1 (2016)
3. E. G. Maksimov, M. L. Kulić and O. V. Dolgov, Advances in Condensed Matter Physics, v. 2010 (2010), 423725, doi:10.1155/2010/423725.
4. V. Z. Kresin, S. A. Wolf, Rev. Mod. Phys., vol. 81, 2009, p. 481.
5. J. Bouvier and J. Bok, Advances in Condensed Matter Physics, v. 2010 (2010), 472636, doi:10.1155/2010/472636
6. В.Л. Гинзбург, УФН, т. 170, N 6, 2000, стр. 619.
7. Е.Г. Максимов, УФН, т. 170, N 10, 2000, стр. 1033.
8. Ю.А. Изюмов, УФН, т. 169, N 3, 1999, стр. 225.
9. В.М. Локтев, Физика низких температур, т. 22, N 1, 1996, стр. 3.
10. Г.Г. Сергеева, Ю.П. Степановский, А.В. Чечкин, Физика низких температур, т. 24, N 11, 1996, стр. 1029.
11. Е.Г. Максимов, С.Ю. Саврасов, УФН, т. 160, 1990, стр. 155.
12. W.E. Pickett, Rev. Mod. Phys., v.61, N 2, 1989, p. 433.
13. “Superconductivity Conventional and Unconventional Superconductors” edited by Professor Dr. K. H. Bennemann, Professor Dr. John B. Ketterson, Chapter “Electron-phonon superconductivity” by F. Marsiglio, J.P. Carbotte.
14. J.F. Annett, Unconventional superconductivity, Contemporary Physics, v. 36, N 6, 1995, p. 423.
15. Z.-X. Shen, D.S. Dessau, Phys. Rep., v. 253, 1995, pp. 1.
16. Damascelli, D.H. Lu, Z.-X. Shen, arXiv:cond-mat/0107042 2 Jul 2001.
17. C.C. Tsuei, J.R. Kirtley, Rev. Mod. Phys., v.72, N 4, 2000, p. 969.

18. M. Cardona, Physica C, v. 317-318, 1999, p. 30.
19. В.А. Москаленко, УФН 113, 340 (1974).
20. O.V. Dolgov, et al., Phys. Rev. B 79, 060502 (2009)
21. W. Pickett, Nature 418, 733 (2002)
22. H.J. Choi, et al., Nature 418, 758 (2002)
23. J. Kortus, et al., Phys. Rev. Lett. 86, 4656 (2001)
24. A.A. Yurgens, Intrinsic Josephson junctions: recent developments, Supercond. Sci. Technol., v. 13, 2000, p. R85.
25. R. Kleiner, P. Muller, Intrinsic Josephson effects in layered superconductors, Physica C, v. 293, 1997, p. 156.
26. A.A. Abrikosov, Physica C 341-348, 97 (2000).
27. М.В. Садовский, УФН 178, 1243 (2008)
28. P. J. Hirschfeld, Rep. Prog. Phys. 74, 124508 (2011)
29. P. Dai, Rev. Mod. Phys. 87, 855 (2015)

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 физики и технологии наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Т.Е. Кузьмичева, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-4.2 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
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-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Высокотемпературная сверхпроводимость» обучающийся должен:

знать:

Кристаллическую и электронную структуру, фазовую диаграмму основных семейств ВТСП соединений; основные формулы моделей сильной связи БКШ и Элиашберга, расширенной БКШ-модели для плоской зоны, модели ВТСП Абрикосова, спин-флуктуационной модели сверхпроводящего спаривания, двухзонной модели Москаленко и Сула; основные типы симметрии сверхпроводящего параметра порядка, эволюцию основных параметров ВТСП при изменении состава, допирования, давления; эффекты протяженной сингулярности ван Хофа, псевдощели, внутренний эффект Джозефсона.

уметь:

Анализировать свойства ВТСП и многощелевых сверхпроводников в рамках существующих теоретических представлений.

владеть:

Базовыми понятиями и формулами основных моделей сверхпроводящего состояния ВТСП материалов.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Основные классы ВТСП: купраты, дибориды магния, железосодержащие сверхпроводники, сероводород. Особенности кристаллической и зонной структуры, анизотропии транспортных и электронных свойств. Магнитное упорядочение и спиновые корреляции. Фазовая диаграмма ВТСП и возможные механизмы спаривания. Основные параметры сверхпроводящего состояния известных ВТСП.
2. Купратные ВТСП: кристаллическая, магнитная, электронная структура, фононный спектр. Вариация состава и допирования. Переход металл-изолятор. Влияние состава, допирования и давления на сверхпроводящие свойства купратных ВТСП. Симметрия параметра порядка. Изотопический эффект. Псевдощель, ее теоретическое описание, температурная зависимость. Влияние состава и допирования на псевдощель.
3. Сильное электрон-фононное взаимодействие. Щель в спектре возбуждений и критическая температура. Сверхпроводимость в трехмерных изотропных системах. Константа связи и характеристическое отношение. Изотопический эффект. Кулоновское отталкивание. Учет сильной связи и наличия плоской зоны в модели Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Модель сильной связи Элиашберга. Формула Макмиллана. Влияние рассеяния на примесях на основные параметры сверхпроводящего состояния.
4. Спин-флуктуационная модель. Знакопеременный параметр порядка. Конгруэнтность поверхностей Ферми. «Магнитный резонанс». Возможные типы симметрии параметра порядка. Влияние магнитных и немагнитных примесей.
5. Теория ВТСП купратов Абрикосова. Протяженная сингулярность ван Хофа, ее учет в БКШ-образной модели. «Горячие» и «холодные» участки поверхности Ферми, два типа квазичастиц, две константы связи как объяснение природы анизотропии сверхпроводящей щели в купратах.

6. Двухщелевая сверхпроводимость. Система уравнений Москаленко и Сула. Эффект близости. Межзонное и внутризонное взаимодействие. Константы связи. Температурные зависимости сверхпроводящих щелей в зависимости от величин констант связи и плотности состояний на уровне Ферми в нормальном состоянии. Предельные случаи: внутризонная и межзонная сверхпроводимость.
7. Двухщелевая сверхпроводимость диборидов магния. Кристаллическая структура, вариация состава и допирования диборидов магния. Электронная структура и фазовая диаграмма. Основные параметры сверхпроводящего состояния. π - и π -конденсаты. Изотопический эффект в диборидах магния. Механизм сверхпроводимости диборидов магния. «Грязный предел». Температурные зависимости сверхпроводящих щелей.
8. Пниктиды и халькогениды железа. Основные классы железосодержащих сверхпроводников, их свойства. Кристаллическая и электронная структура, фазовая диаграмма. Поверхность Ферми железосодержащих сверхпроводников по данным фотоэмиссии углового разрешения (ARPES).
9. Основные модели сверхпроводимости железосодержащих ВТСП. Изотопический эффект в железосодержащих ВТСП. Электрон-фононное взаимодействие в железосодержащих ВТСП. Спин-флуктуационная $s\pm$ -модель: знакопеременный параметр порядка, «магнитный резонанс» по данным нейтронного рассеяния. Анизотропия сверхпроводящей щели в импульсном пространстве. s_{++} -спаривание посредством орбитальных флуктуаций. Основные типы симметрии параметра порядка в железосодержащих ВТСП и их эволюция при изменении состава и допирования. БКШ-БЭК-переход и переход Лифшица, «суперстрейпы» в железосодержащих ВТСП.
8. Сравнение свойств трехмерных сверхпроводящих систем и слоистых ВТСП. Фазочувствительные эксперименты. Экспериментальное определение функции Элиашберга методом туннельной спектроскопии. Наблюдение фононных резонансов на туннельных спектрах ВТСП купратов. Рамановская спектроскопия. Наблюдение спинового экситона в железосодержащих сверхпроводниках и купратах.
9. Сравнение свойств известных ВТСП. Сверхпроводимость сероводорода, систем с тяжелыми фермионами. Монослой селенида железа.
10. Применение ВТСП. Сильноточные применения. Слаботочные применения. ВТСП-ленты. Терагерцевые генераторы и детекторы. СВЧ - фильтры.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Основные классы ВТСП: купраты, дибориды магния, железосодержащие сверхпроводники, сероводород. Особенности кристаллической и зонной структуры, анизотропия транспортных и электронных свойств. Магнитное упорядочение и спиновые корреляции.
2. Применение ВТСП. Сильноточные применения. Слаботочные применения. ВТСП-ленты. Терагерцевые генераторы и детекторы. СВЧ - фильтры.

Билет 2.

1. Фазовая диаграмма ВТСП и возможные механизмы спаривания. Основные параметры сверхпроводящего состояния известных ВТСП.
2. Сравнение свойств известных ВТСП. Сверхпроводимость сероводорода, систем с тяжелыми фермионами. Монослой селенида железа.

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

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

Прием экзамена проводится по билетам. В каждом билете представлено два вопроса. Обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.