

Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)

«Утверждаю»
Врио директора ИЭФ УрО РАН



В.Г. Шпак
2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Сверхпроводимость»
Б1.В.ДВ.2-1

Специальность 03.06.01 – «Физика и астрономия»

Екатеринбург
2015

Программу составил:

г.н.с. ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н., с.н.с.

Медведев М.В.

в.н.с. ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н.

Кучинский Э.З.

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по НР ИЭФ УрО РАН
к.т.н.

« 6 » февраля 2015 г.

Иванов М.Г.

Учёный секретарь ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.

« 6 » февраля 2015 г.

Кокорина Е.Е.

Рабочая программа утверждена на заседании Учёного совета ИЭФ УрО РАН.
Протокол № 1 от 06.02.2015 г.

1. Цели и задачи дисциплины.

– дать общее представление об особенностях сверхпроводящего состояния, ознакомить с основными физическими понятиями, сформировавшимися в процессе развития экспериментальных и теоретических исследований сверхпроводников, и с двумя главными взаимодополняющими теоретическими подходами, лежащими в основе современной трактовки сверхпроводящих явлений – теорией Гинзбурга-Ландау и моделью Бардина-Купера-Шриффера;

– научить аспирантов осмысленно оперировать современными понятиями физики сверхпроводимости, сформировать представления о природе сверхпроводящего состояния и методах его описания и расчёта, получить навыки решения конкретных прикладных задач.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

Знать:

– основные представления о природе сверхпроводящего состояния, классификации сверхпроводников; основные взаимодействия, как ведущие к возникновению сверхпроводимости, так и разрушающие её; модельные приближения, используемые при описании сверхпроводимости, и основные физические свойства.

Уметь:

– анализировать и излагать результаты экспериментальных исследований материалов в рамках современных представлений физики сверхпроводимости, разрабатывать и внедрять адекватные микроскопические модели, проводить стандартные полуколичественные оценки.

Владеть:

– языком современной физики сверхпроводимости, чёткими представлениями о природе сверхпроводящего перехода, методами физического и математического описания основных микро- и макроскопических характеристик сверхпроводников.

3. Компетенции.

| <i>№ n/n</i> | <i>Индекс</i> | <i>Содержание</i> |
|------------------|---------------|--|
| 1. | ОПК-1 | Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий. |
| 2. | УК-1 | Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. |
| 3. | УК-3 | Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач. |
| 4. | УК-4 | Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития. |
| 5. | ПК-1 | Способность ставить, формализовать и решать задачи, умением системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание. |
| 6. | ПК-2 | Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий с учётом отечественного и зарубежного опыта. |
| 7. | ПК-3 | Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза информации в избранной области физических исследований. |
| 8. | ПК-4 | Способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, способность самостоятельно организовывать и проводить научные исследования и внедрять их результаты в качестве члена или руководителя коллектива. |

4. Объем дисциплины и виды учебной работы.

| <i>Вид учебной работы</i> | <i>Всего</i> | | <i>Период обучения</i> |
|---------------------------------|--------------|------------|------------------------|
| | <i>часов</i> | <i>ЗЕТ</i> | |
| Общая трудоёмкость дисциплины | 108 | 3 | второй курс |
| Аудиторные занятия, в т.ч.: | | | |
| Лекции | 36 | 1 | |
| Практические занятия (ПЗ) | | | |
| Самостоятельная работа | 54 | 1,5 | |
| Контроль самостоятельной работы | 18 | 0,5 | |

5. Содержание дисциплины.

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| <i>№ п/п</i> | <i>Раздел дисциплины</i> | <i>Лекции</i> | <i>ПЗ</i> | <i>Сам. раб.</i> | <i>Контр. сам. раб.</i> |
|------------------|---|---------------|-----------|----------------------|---------------------------------|
| 1 | Основные физические свойства сверхпроводников. | 4 | | 6 | 2 |
| 2 | Электромагнитные свойства сверхпроводников I рода. | 4 | | 6 | 2 |
| 3 | Теория Гинзбурга-Ландау (ГЛ) и электродинамика сверхпроводников II рода. | 4 | | 6 | 2 |
| 4 | Косвенное взаимодействие электронов через фононы. | 4 | | 6 | 2 |
| 5 | Микроскопическая теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). | 4 | | 6 | 2 |
| 6 | Сверхпроводимость с необычным спариванием. | 4 | | 6 | 2 |
| 7 | Влияние прямого кулоновского отталкивания между электронами на сверхпроводящее состояние. | 4 | | 6 | 2 |
| 8 | Незатухающий постоянный ток и энергетическая щель. | 4 | | 6 | 2 |
| 9 | Слабая сверхпроводимость. | 4 | | 6 | 2 |
| Всего часов | | 36 | | 54 | 18 |

5.2. Содержание разделов дисциплины.

5.2.1. Основные физические свойства сверхпроводников.

Критическая температура сверхпроводящего перехода и незатухающий постоянный ток. Подавление сверхпроводимости внешним магнитным полем. Эффект Мейсснера. Сверхпроводимость I и II рода. Тепловые свойства сверхпроводников – теплоёмкость, теплопроводность.

Термодинамика сверхпроводящего перехода в массивном сверхпроводнике. Свободная энергия цилиндрического образца сверхпроводника I рода в магнитном поле. Энтропия сверхпроводящего состояния. Различие характера сверхпроводящих переходов при наличии внешнего магнитного поля и в его отсутствии. Скачок теплоёмкости при сверхпроводящем переходе.

Лондоновская электродинамика сверхпроводимости. Сверхпроводящий ток и эффект Мейсснера в рамках уравнения Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Основные физические представления двухжидкостной модели сверхпроводимости. Величина лондоновской глубины проникновения магнитного поля в рамках двухжидкостной модели.

5.2.2. Электромагнитные свойства сверхпроводников I рода.

Нелокальная связь между плотностью тока и вектором-потенциалом магнитного поля в сверхпроводниках. Длина когерентности. Промежуточное состояние сверхпроводника I рода в сильном магнитном поле. Промежуточное состояние для плоско-параллельной пластины в перпендикулярном магнитном поле. Критический ток в толстой проволоке из сверхпроводника I рода (правило Силсби). Промежуточное состояние в толстой проволоке с закритическим током.

5.2.3. Теория Гинзбурга-Ландау (ГЛ) и электродинамика сверхпроводников II рода.

Свободная энергия сверхпроводника в теории ГЛ. Дифференциальные уравнения ГЛ для параметра порядка и вектора-потенциала магнитного поля и их граничные условия. Характерные длины уравнений ГЛ – длина когерентности ГЛ, глубина проникновения. Параметр теории ГЛ κ . Градиентная инвариантность уравнений ГЛ.

Критический ток в тонкой плёнке. Квантование магнитного потока. Явление захвата магнитного потока в сверхпроводнике. Тонкая плёнка в продольном магнитном поле. Энергия границы раздела между нормальной и сверхпроводящей фазами.

Границы применимости теории Гинзбурга-Ландау.

Физическая картина смешанного состояния в сверхпроводниках II рода. Второе критическое поле. Распределение напряженности магнитного поля вокруг изолированной вихревой нити и первое критическое поле.

Взаимодействие вихрей и сила Лоренца. Критический ток в сверхпроводнике II рода, центры пиннинга и модель критического состояния. Резистивное состояние сверхпроводников II рода.

5.2.4. Косвенное взаимодействие электронов через фононы.

Физическая картина механизма притяжения электронов через колебания решётки. Причины ограничения эффективного интервала притяжения дебаевской частотой.

5.2.5. Микроскопическая теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ).

Феномен Купера. Куперовская модельная задача о притяжении двух электронов на фоне фермиевского газа невзаимодействующих электронов. Энергия связанного состояния двух электронов и его волновая функция. Неустойчивость основного нормального состояния в случае притяжения между двумя электронами.

Модельный гамильтониан БКШ. Волновая функция основного состояния в модели БКШ. Энергия основного состояния. Возбуждённые состояния в модели БКШ при нулевой температуре, каноническое преобразование Боголюбова и энергетическая щель в спектре элементарных возбуждений.

Модель БКШ при конечных температурах. Приближение среднего самосогласованного поля в гамильтониане БКШ и аномальные средние. Аномальные средние и самосогласованные уравнения для энергетической щели при конечных температурах в методе двухвременных температурных функций Грина. Критическая температура сверхпроводящего перехода и температурная зависимость энергетической щели. Термодинамический потенциал в модели БКШ, энтропия и скачок теплоёмкости.

5.2.6. Сверхпроводимость с необычным спариванием.

Особенности сверхпроводящих свойств высокотемпературных сверхпроводников и d-симметрия сверхпроводящей щели. Разложение спаривательного взаимодействия по плоским волнам в модели двумерной ферми-жидкости. Температура сверхпроводящего перехода и величина сверхпроводящей щели при нулевой температуре в модели БКШ с d-спариванием.

5.2.7. Влияние прямого кулоновского отталкивания между электронами на сверхпроводящее состояние.

Самосогласованное уравнение для энергетической щели в модели БКШ при учёте прямого кулоновского взаимодействия. Критическая температура сверхпроводящего перехода с учётом кулоновского отталкивания.

Кулоновский псевдопотенциал и его влияние на показатель изотопического эффекта в сверхпроводниках.

5.2.8. Незатухающий постоянный ток и энергетическая щель.

Условие устойчивости сверхпроводящего конденсата при протекании электрического тока и оценка плотности критического тока из этого условия устойчивости. Сравнение полученной оценки плотности критического тока с плотностью критического тока распаривания в тонких сверхпроводящих плёнках.

5.2.9. Слабая сверхпроводимость.

Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Градиентно-инвариантная формулировка уравнения для плотности джозефсоновского тока во внешнем магнитном поле. Зависимость величины плотности сверхпроводящего тока узкого джозефсоновского контакта от внешнего магнитного поля. Проникновение внешнего магнитного поля в протяжённый джозефсоновский контакт и уравнение Феррела-Прейнджа для разности фаз сверхпроводящих параметров порядка в протяжённом контакте. Первое критическое поле протяжённого джозефсоновского контакта и джозефсоновские вихри. Двухконтактный сквид и его применение для измерения сверхмалых магнитных полей.

5.3. Самостоятельная работа аспирантов.

5.3.1. Проработка лекционного материала по конспектам и учебной литературе (48 ч.).

5.3.2. Подготовка к контролю по дисциплине (6 ч.).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

6.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Садовский, М.В. Высокотемпературная сверхпроводимость в слоистых соединениях на основе железа (Обзор) // Успехи физических наук, 2008. – № 12. – Т. 178. – С. 1243–1271.
2. Садовский М.В. Псевдощель в высокотемпературных сверхпроводниках (Обзор) // Успехи физических наук, 2001. – № 5. – Т. 171. – С. 539–564.
3. Шмидт, В.В. Введение в физику сверхпроводников. 2-е изд. – М.: МЦНМО, 2000.
4. Sadovskii, M.V. Superconductivity and Localization. – World Scientific: Singapore, 1999. 260 p.

5. Абрикосов, А.А. Основы теории металлов. – М.: Физматлит, 1987.

б) дополнительная литература:

1. Де Жен, П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. – М.: Мир, 1968.

2. Тинкхэм, М. Введение в сверхпроводимость. – М.: Атомиздат, 1980.

3. Минеев, В.П., Самохин, К.В. Введение в теорию необычной сверхпроводимости. – М.: изд-во МФТИ, 1998.

6.2. Информационное обеспечение.

| № п/п | Ссылка на информационный ресурс | Наименование разработки в электронной форме | Доступность |
|-------|---|---|------------------|
| | http://elibrary.ru/ | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU | доступ свободный |

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Для проведения занятий по дисциплине используются: компьютерный класс, расчётные серверы лаборатории теоретической физики ИЭФ УрО РАН, оборудование: оргтехника, проектор.

Программа составлена с учётом рекомендаций по формированию основных профессиональных образовательных программ послевузовского профессионального образования для обучающихся в аспирантуре (№ 0160 от 17 июля 2012 г. Серия 90Л01 № 0000173) и на основе Федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура), утверждённых приказом Министерства образования и науки РФ от 16.03.2011 г. № 1365 (зарегистрирован Министерством юстиции РФ 10.05.2011 г., регистрационный № 20700).