

Институт физики микроструктур РАН —
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИФМ РАН

З.Ф.Красильник
"11" апреля 2016 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория сверхпроводимости

Направление подготовки

11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»

Направленность (профиль) программы

*05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»*

Квалификация (степень) выпускника

исследователь - преподаватель, исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2016

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Теория сверхпроводимости» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики и электродинамики. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных сверхпроводящих наноструктур.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Целями освоения дисциплины являются:

- знакомство аспирантов с феноменологическими теориями, качественно описывающими явление сверхпроводимости, с теорией Бардина-Купера-Шриффера, описывающей сверхпроводимость, являющейся проявлением квантовых эффектов в макроскопических масштабах;
- формирование у аспирантов современного представления об основных проявлениях сверхпроводимости и феноменологической и микроскопической теории;
- знакомство аспирантов с основными подходами для описания сверхпроводимости;
- формирование у аспирантов компетенций программы 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими компетенциями результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Результаты освоения ООП Содержание компетенций	Перечень результатов планируемых обучения по дисциплине
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	ЗНАТЬ: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. УМЕТЬ: проводить анализ литературных данных в рамках поставленной исследовательской (практической, образовательной) задачи, выявлять основные вопросы и проблемы, существующие в современной науке; при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся

		<p>операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
<p>ОПК-1</p>	<p>владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</p>	<p>ЗНАТЬ: теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности; методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач; методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования.</p> <p>УМЕТЬ: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий; самостоятельно выполнять теоретические, экспериментальные и вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований;</p>

		<p>навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов;</p> <p>навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований;</p> <p>способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий; анализировать, обобщать и систематизировать результаты физических работ.</p>
ПК-1	<p>способность самостоятельно проводить научные исследования в области твердотельной электроники и применять полученные результаты для решения практических задач</p>	<p>ЗНАТЬ: основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области твердотельной электроники.</p> <p>УМЕТЬ: использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области твердотельной электроники.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области твердотельной электроники и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p>
ПК-2	<p>способность к системному анализу современных проблем физики и комплекса новейших знаний и достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности</p>	<p>ЗНАТЬ: Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p>УМЕТЬ: понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации</p>

		материи, пространства и времени.
ПК-3	способность использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов в области твердотельной электроники.	ЗНАТЬ: основные методы обработки данных, полученных экспериментально или методами численного моделирования. УМЕТЬ: выделять и систематизировать необходимые научные данные; критически оценивать их достоверность. ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научных данных; навыками статистического анализа экспериментальных данных; навыками аналитических и численных аппроксимаций функций.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц (ЗЕ), 108 часов.

3.1. Объем дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	36
Аудиторная работа (всего):	36
в том числе:	
Лекции	18
Практические занятия	18
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	72
Вид итогового контроля	Зачет

3.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№	Раздел дисциплины	Всего	Контактная работа		Самостоятельная работа
			Лекционные занятия	Практические занятия	
1	Введение. Термодинамическое описание сверхпроводников.	18	3	3	12
2	Линейная электродинамика сверхпроводников.	18	3	3	12
3	Теория сверхпроводимости	18	3	3	12

	Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники второго рода.				
4	Эффект Джозефсона.	18	3	3	12
5	Основы квантовой механики систем многих частиц и статистической физики.	18	3	3	12
6	Теория сверхпроводимости.	18	3	3	12
	Дисциплина в целом	108	18	18	72

3.3 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1	Введение. Термодинамическое описание сверхпроводников.	Основные экспериментальные факты. Переход в СП состояние, критическая температура, критическое магнитное поле. Эффект Мейсснера. Отличие СП и идеального проводника. Аналогия между СП и магнетиками. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия СП в магнитном поле. Изменение термодинамических параметров образца при СП переходе. Переходы 1-го и 2-го рода. Промежуточное состояние СП. Разрушение сверхпроводимости током.
2	Линейная электродинамика сверхпроводников.	Уравнения Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Примеры применения теории Лондонов. Сверхпроводники в СВЧ полях, поверхностный импеданс СП.
3	Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники второго рода.	Понятие параметра порядка. Уравнения Гинзбурга-Ландау. Градиентная инвариантность теории. Квантование магнитного потока. Два характерных масштаба длины в СП. Критические поля и токи тонких пленок. Максимальная плотность тока в СП. Проникновение поля в СП второго рода. Энергия и поле одиночного вихря. Первое и второе критические поля. Взаимодействие вихрей. Эффект Джозефсона. Вывод формулы для тока из теории Г-Л. Резистивная модель джозефсоновского контакта. Вольт-амперная характеристика. Влияние магнитного поля на критический ток.
4	Эффект Джозефсона.	Вывод формулы для тока из теории Г-Л. Резистивная модель Джозефсоновского контакта. Вольт-амперная характеристика. Влияние магнитного поля на критический ток.
5	Основы квантовой механики систем многих частиц и статистической физики.	Понятие состояния. Волновая функция одного электрона. Спин. Одночастичные операторы. Многочастичная волновая функция. Многочастичные операторы (концентрация, ток, импульс и т.п.). Вычисление средних от операторов. Зависимость состояний от времени, уравнение Шредингера. Обозначения Дирака для состояний, операторов и средних физических величин. Гамильтониан электрон-ионной системы. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности. Вычисление средних с помощью матрицы плотности. Зависимость матрицы плотности от времени, уравнение фон-Неймана. 1,2,N-частичные матрицы плотности. Матрица плотности в равновесной статистической механике. Каноническое распределение, распределение с переменным числом частиц. Свободная энергия, химический потенциал. Состояния системы тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Равновесная одночастичная матрица

		плотности, распределение Ферми и Бозе. Термодинамические характеристики вырожденного электронного газа. Метод вторичного квантования. Волновая функция в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Правила коммутации. Выражение операторов физических величин через операторы рождения и уничтожения. Шредингеровский и Гейзенберговский подход к квантовой механике. Зависимость операторов от времени, уравнения Гейзенберга.
6	Теория сверхпроводимости.	Гамильтониан электрон-ионной системы. Введение фононов. Газ электронов, описание в терминах квазичастиц, электронов и дырок. Статистическая механика газа электронов в квазичастичном представлении. Фононы. Гамильтониан фононной системы. Статистическая механика газа фононов. Электрон-фононное взаимодействие. Притяжение электронов. Задача Купера. Куперовские пары. Гамильтониан Бардина – Купера - Шриффера. Основное состояние сверхпроводника. Приближение самосогласованного поля. Уравнения Боголюбова. Волновая функция БКШ. Уравнение самосогласования для нулевой температуры. Квазичастицы. Конечные температуры. Теплоемкость сверхпроводника. Эксперименты по проверке существования энергетической щели. Сверхпроводник с током, случай нулевых и ненулевых температур. Связь микротемпературы с теорией Гинзбурга-Ландау.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете, в ходе которого оцениваются уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Аспиранты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, подготовку семинаров, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, аспиранты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классах экспертов и специалистов в области современных задач физики сверхпроводимости.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В курсе запланировано на самостоятельную работу аспирантов 72 часа (67 % общего объема). Самостоятельная работа аспирантов является одним из видов учебных занятий, выполняется по заданию преподавателя индивидуально и без его непосредственного участия. Самостоятельная работа аспиранта – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – систематизация и закрепление полученных знаний и умений, углубление и расширение знаний, приобретение навыков самостоятельной работы с литературой, формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа аспиранта подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних задач с последующей проверкой навыков решения задач. Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных аспирантам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится при подготовке к зачету по дисциплине. Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

6. Фонд оценочных средств по дисциплине

6.1 Типовые контрольные задания или иные материалы

1. Нарисовать фазовую диаграмму сверхпроводника (СП) на плоскости H, T .
2. Что такое критическая температура T_c и критическое поле $H_c(T)$.
3. Что такое эффект Мейсснера.
4. Напишите уравнения Максвелла.
5. Чему равен экранирующий поверхностный ток в сверхпроводнике, помещенном в магнитное поле.
6. Чему равна и как направлена поверхностная сила в сверхпроводнике, помещенном в магнитное поле.
7. Какова характерная толщина слоя в которой течет ток, как она зависит от температуры в теории Гинзбурга-Ландау.
8. Напишите уравнения двухжидкостной модели сверхпроводника, какие параметры в нее входят.
9. Для $e^{i\omega t}$ процессов написать выражение для проводимости и диэлектрической проницаемости сверхпроводника.
10. Написать уравнение Лондонов.
11. Написать связь между током и векторным потенциалом для сверхпроводника.
12. Написать первое и второе начало термодинамики для сверхпроводника.
13. Написать выражение для свободной энергии сверхпроводника.
14. Напишите связь между внутренней и свободной энергией сверхпроводника.
15. Написать условие равновесия нормальной и сверхпроводящей фазы в образце.
16. Чему равна теплота N-S перехода в магнитном поле ($H_c(T)$ -известна).
17. Чему равен скачок теплоемкости при фазовом переходе.
18. Написать функционал теории Гинзбурга-Ландау (Г-Л) для пространственно однородного случая.

19. Из теории Г-Л для пространственно однородного случая вывести выражения для $H_c(T)$.
20. Из теории Г-Л для пространственно однородного случая вывести выражения для теплоты N-S перехода.
21. Из теории Г-Л для пространственно однородного случая вывести выражения для скачка теплоемкости при N-S переходе.
22. Написать уравнения Г-Л без магнитного поля.
23. Что такое длина когерентности и как она зависит от температуры в теории Г-Л
24. Написать уравнения Г-Л с магнитным полем.
25. Написать калибровочное преобразование для A и ψ и доказать инвариантность уравнений Г-Л относительно этого преобразования.
26. Вывести формулу для кванта потока Φ_0 .
27. Чему равна глубина проникновения магнитного поля в теории Г-Л и как она зависит от температуры.
28. Напишите систему единиц, обезразмеривающую систему Г-Л.
29. Напишите выражение для критического поля через λ и ξ .
30. Что такое параметр Г-Л - κ в теории Г-Л .
31. Чем отличаются сверхпроводники 1 и 2 родов.
32. Напишите выражение для энергии N-S границы в критическом магнитном поле через распределения $B(x)$ и $\psi(x)$.
33. Нарисуйте график зависимости энергии N-S границы от параметра κ .
34. Нарисуйте фазовую диаграмму сверхпроводника 2 рода.
35. Что такое верхнее и нижнее критические поля в СП 2 рода.
36. Сверхпроводник помещен в во внешнее однородное поле $H=H_c2$. Напишите зависимость магнитного поля (B и A) в СП от координат.
37. Чему равно верхнее критическое поле в теории Г-Л.
38. Нарисуйте распределение магнитного поля и параметра порядка в одиночном абрикосовском вихре.
39. Квантовая механика свободного электрона в кристаллической решетке. Каковы собственные функции одночастичного гамильтониана и квантовые числа.
40. С помощью операторов рождения и уничтожения электронов в блоховских состояниях напишите выражение для Гамильтониана идеального электронного газа в периодической кристаллической решетке. Каково основное состояние, что такое химический потенциал и энергия Ферми.
41. Напишите минимальный гамильтониан БКШ, учитывающий главные взаимодействия. Какие приближения делаются при расчете основного состояния. Почему?
42. Квазичастичное описание электронного газа. Связь операторов a , a^\dagger для частиц и квазичастиц. Коммутационные соотношения. Выведите формулу для дисперсии квазичастиц в нормальном электронном газе. С помощью критерия Ландау докажите, что электронный газ не обладает сверхпроводимостью.
43. Покажите, что в модели БКШ химический потенциал определяется таким же выражением, как и в нормальном ферми-газе.
44. Фононы в кристаллах. Общая теория. Адиабатическое приближение. В простейшей одномерной модели получите формулу для дисперсии фононов. Акустические и оптические фононы. Возможные поляризации.
45. Покажите, что в задаче Купера наиболее сильно связываются электроны с нулевым, относительно Ферми-сферы, суммарным импульсом. Напишите уравнение Шредингера и проанализируйте, как зависит энергия связи от малого суммарного импульса.
46. Квантовая механика фононов. Операторы рождения и уничтожения. Связь с операторами смещений и импульсов атомов. Коммутационные соотношения в

- узельном (координатном) и импульсном представлениях. Гамильтониан фононов и его собственные числа.
47. Напишите волновую функцию БКШ через параметры u_k, v_k . Используя явные выражения для u, v найдите масштаб размазки Ферми-поверхности и оцените размер куперовской пары
 48. Природа электрон-фононного взаимодействия. Опишите э-ф взаимодействие в приближении заданного атомного потенциала. Напишите гамильтониан в терминах операторов рождения и уничтожения для электронов и фононов. Напишите выражение матричного элемента э-ф взаимодействия через ионные потенциалы и 1 электронные волновые функции. Покажите, что в приближении сплошной среды при взаимодействии сохраняется импульс.
 49. Напишите волновую функцию возбужденного состояния БКШ сверхпроводника с одной квазичастицей, докажите что волновая функция возбужденного состояния БКШ сверхпроводника с одной квазичастицей ортогональна основному состоянию.
 50. Напишите общую формулу теории возмущений для 1 и 2 поправки к энергии и найдите поправку 2 порядка к энергии двух электронов из-за обмена продольным фононом в модели желе. При каких условиях обмен фононом ведет к притяжению между электронами. Выясните, при каких соотношениях поправка к энергии велика. Что происходит при резонансе? Разберитесь с точки зрения законов сохранения энергии и импульса.
 51. С помощью коммутационных соотношений вычислите среднюю кинетическую энергию.
 52. в состоянии БКШ, напишите её как функцию и сравните её со средней кинетической энергией в состоянии Ферми.
 53. Что такое плотность состояний, выражение для нее в идеальном ферми газе. Что происходит с плотностью состояний при сверхпроводящем переходе.
 54. С помощью коммутационных соотношений вычислите среднюю потенциальную энергию в состоянии БКШ, напишите её как функцию и сравните её с аналогичной величиной в состоянии Ферми.
 55. Задача Купера. Напишите уравнение Шредингера, приближенно его решите и вычислите энергию связи куперовской пары.
 56. Какова типичная дисперсия электронов в периодической решетке. График? Что такое обратная решетка? Что такое зона Бриллюэна.
 57. Что такое прямой вариационный принцип и пробные функции. Напишите пробную функцию БКШ и объясните физ. смысл $u(k), v(k)$.
 58. Получите формулы для энергии Ферми и энергии Дебая.
 59. Как определяется параметр порядка через u, v и другие параметры.
 60. Что такое дебаевская шуба? Вычислите её толщину в k - пространстве.
 61. Выведите уравнение самосогласования для Δ в теории БКШ для нулевой температуры. Решите его и проанализируйте зависимость Δ от параметров.
 62. В представлении операторов рождения и уничтожения напишите гамильтониан электрон-фононной системы с учетом кулоновского взаимодействия. Дайте графическое представление с помощью диаграмм Фейнмана.
 63. Напишите определение энергии квазичастицы и выведите формулу, описывающую дисперсию квазичастиц в теории БКШ. Нарисуйте график дисперсии квазичастиц в сверхпроводнике, сравните его с дисперсией квазичастиц в идеальном ферми газе.
 64. Обоснуйте предположение, сделанное БКШ, что взаимодействуют только электроны с противоположными спинами.
 65. Сформулируйте и обоснуйте критерий сверхтекучести Ландау и докажите, что электронная БКШ жидкость сверхтекуча. Определите критическую скорость и критическую плотность электрического тока, при которой разрушается сверхпроводимость. Нарисуйте дисперсию квазичастиц в движущейся электронной

сверхпроводящей жидкости.

66. Сформулируйте адиабатическое приближение для расчета фононов. Оцените скорость звука в твердом теле, пользуясь моделью Борна-Оппенгеймера. Выразите её через скорость Ферми в металле.

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания изученного материала;
- способности использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ. Практическая часть предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Зачет ставится при уровне знаний на оценку «удовлетворительно» и выше.

Оценка	Уровень подготовки
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.

Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., курс "Теоретическая физика", Том V. «Статистическая физика. Часть 1». М.: Наука. 1976.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., курс "Теоретическая физика", Том VIII. «Электродинамика сплошных сред». М.: Наука. 1982.
3. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., курс "Теоретическая физика", Том IX. «Статистическая физика. Часть 2». М.: Наука. 1978.
4. Абрикосов А.А., «Основы теории металлов». М.: Физматлит, 2010.
5. Де Жен П., «Сверхпроводимость металлов и сплавов». М.: Мир, 1968.

б) дополнительная литература:

1. Шмидт В.В., «Введение в физику сверхпроводников». М.: Наука. 1982 г.
2. Шриффер Дж., «Теория сверхпроводимости». М.: Наука. 1970.
3. Плакида Н.М., «Высокотемпературные сверхпроводники». М.: Международная программа образования, 1996.
4. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е., «Сверхпроводимость второго рода». М., 1970.
5. Фейнман Р., «Статистическая механика». М.: Мир. 1975.
6. Фейнман Р., Лейтон, Сознде. «Фейнмановские лекции по физике». Т. 8-9. М.: Мир, 1978.
7. Ketterson J.V. and Song S.N., «Superconductivity». Cambridge University Press. 1999.
8. Успехи физических наук (<https://ufn.ru/ru/>)
9. Reviews of Modern Physics (RMP) (<https://journals.aps.org/rmp/>)
10. Physical Review B (PRB) (<https://journals.aps.org/prb/>)

11. Superconductor Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/journal/0953-2048>)

в) факультативная литература

1. Тинкхам. Введение в сверхпроводимость. Атомиздат. 1980.
2. Тилли Дэвид Р. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.: "Мир" 1977.
3. Роуз -Инс. Введение в физику сверхпроводимости. М.: "Мир".1972.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Использование программного обеспечения:

1. Microsoft Office Word.
2. Microsoft Office Excel.
3. Microsoft Office Power Point.
4. Free Origin Viewer.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей аспиранты имеют возможность работать за компьютером с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Составитель:

Курин В.В., д.ф.-м.н., зав. отделом физики сверхпроводников ИФМ РАН.

Рецензент:

Самохвалов А.В., д.ф.-м.н., в.н.с. отдела физики сверхпроводников ИФМ РАН