

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФМ РАН

_____ З.Ф.Красильник
"9" апреля 2018 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория сверхпроводимости

Направление подготовки

03.06.01 «Физика и астрономия»

Направленность (профиль) программы

01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Квалификация (степень) выпускника

исследователь - преподаватель, исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2018

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Теория сверхпроводимости» является дисциплиной по выбору вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

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 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»

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 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 операционализации исходя из наличных ресурсов и

		ограничений. ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	ЗНАТЬ: теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности; методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач; методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования. 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. ВЛАДЕТЬ: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований; навыками планирования научного исследования, анализа

		<p>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;</p> <p>анализировать, обобщать и систематизировать результаты физических работ.</p>
ПК-1	<p>способность самостоятельно проводить научные исследования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики и применять полученные результаты для решения практических задач</p>	<p>ЗНАТЬ:</p> <p>основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p> <p>УМЕТЬ:</p> <p>использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p> <p>ВЛАДЕТЬ:</p> <p>разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области разработки приборов и методов экспериментальной физики 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:</p> <p>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:</p> <p>понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p>ВЛАДЕТЬ:</p> <p>основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении</p>

		различных уровней организации материи, пространства и времени.
ПК-3	способность использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.	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 Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники второго рода.	18	3	3	12
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^+ 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	<p>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.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Хорошо	<p>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.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.</p>

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