

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. Л. Д. Ландау
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)**

ПРИНЯТО
Ученым советом
ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
(протокол от 10 сентября 2021г. № 24 __)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
д.ф.-м.н., И. В. Колоколов
«10» сентября 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВЫБОРУ Б1.В.ДВ.2.1
«Теория сверхпроводимости»**

По направлению подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия
По направленности подготовки: 01.04.02 теоретическая физика
(1.3.3. Теоретическая физика)
Уровень образования: Подготовка кадров высшей квалификации
Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

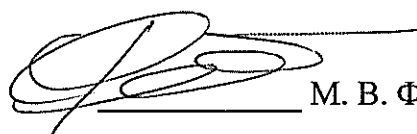
Форма обучения – очная

Рабочая программа дисциплины по выбору «Теория сверхпроводимости» (Б1.В.ДВ.2.1) для основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО) подготовки кадров высшей квалификации по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия по направленности подготовки 01.04.02 теоретическая физика (1.3.3. Теоретическая физика) составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования «Подготовка кадров высшей квалификации» по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (ФГОС ВО), утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 №867 с изменениями и дополнениями от 30.04.2015 г.
2. Паспорт научной специальности 01.04.02 Теоретическая физика разработанный экспертами ВАК Минобрнауки РФ в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25.02.2009 г. № 59
3. Программа-минимум кандидатских экзаменов по специальностям 01.04.02 теоретическая физика и 01.04.07 физика конденсированного состояния с учетом особенностей сложившейся в ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН научной школы
4. Приказ Минобрнауки России от 04.02.2021 № 118 "Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093
5. Письмо ВАК от 13.05.2021 № 382-02 ВАК о Применении новой номенклатуры НС
6. Приказ Минобрнауки России от 03.06.2021 № 561 о «О советах по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени докторов наук»

Автор/составитель ФОС по дисциплине:

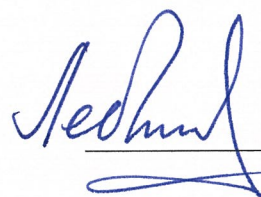
д.ф.-м.н., профессор
10 сентября 2021 г.



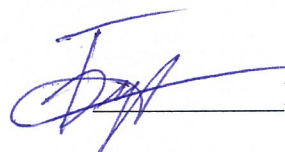
М. В. Фейгельман

«Согласовано»:


Г.н.с. ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
Член-корр. РАН, д.ф.-м.н.


В.В. Лебедев

Зам. Директора по научной работе
ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
д.ф.-м.н.


И.С. Бурмистров

Декан, профессор Факультета физики НИУ ВШЭ
д.ф.-м.н.


М.Р. Трунин

1. Паспорт научной специальности 01.04.02 теоретическая физика (1.3.3. Теоретическая физика)

Шифр специальности:

01.04.02 теоретическая физика (1.3.3. Теоретическая физика)

Формула специальности:

Теоретическая физика – область физики, занимающаяся математической формулировкой закономерностей физических явлений, наблюдаемых экспериментально. Теоретическая физика является единой наукой, внутренние связи в которой устанавливаются путем аналитических вычислений или численных расчетов и сравнением с экспериментальными данными. Ее фактическое содержание связано со всем историческим развитием физики. Целью исследований в области теоретической физики является наиболее полное описание фундаментальных физических законов.

Области исследований:

1. Теория конденсированного состояния классических и квантовых, макроскопических и микроскопических систем. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика и кинетическая теория равновесных и неравновесных систем.
2. Общая теория относительности и релятивистская астрофизика. Физические свойства материи и пространства-времени во Вселенной. Классическая и квантовая космология и гравитация.
3. Теория фундаментальных взаимодействий и квантовая теория поля. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Разработка математических методов теории поля.
4. Общие вопросы квантовой механики: основы, теория измерений, общая теория рассеяния. Квантовая теория физических явлений в ядрах, атомах и молекулах.
5. Разработка теории мезоскопических систем. Квантовая теория информации и квантовые вычисления.
6. Развитие теории и исследования общих свойств и закономерностей нелинейной динамики сильно неравновесных систем. Разработка теории хаоса и турбулентности.

Отрасль наук:

физико-математические науки (за исследования, поименованные в пунктах 1-6)

Паспорт научной специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния»

Шифр специальности:

01.04.07 Физика конденсированного состояния

Формула специальности:

Основой специальности является теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях.

Области исследований:

1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов

световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы.

3. Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния.

4. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

5. Разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.

6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

7. Технические и технологические приложения физики конденсированного состояния.

2. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики конденсированного состояния, способных вести научно-исследовательскую работу, самостоятельно ставить и решать актуальные научные и практические задачи.

Задачи дисциплины включают формирование у аспирантов системы знаний и основных понятий по современной теории сверхпроводимости и развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике конденсированного состояния.

3 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Дисциплина Б1.В.ДВ.2.1 «Теория сверхпроводимости» относится к дисциплинам по выбору дисциплины Б1.В.ДВ.2 вариативной части Блока 1 «Дисциплины» основной профессиональной образовательной программы аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 физика и астрономия по направленности (наименование) подготовки 01.04.02 теоретическая физика.

Программа углубленного курса сверхпроводимости включает основополагающие сведения по современной теории сверхпроводимости. В первой части курса излагается феноменологическая теория сверхпроводимости Гинзбурга и Ландау. Во второй части курса излагаются основы микроскопической теории сверхпроводимости.

4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общепрофессиональные компетенции:	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
Универсальные компетенции:	
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
Профессиональные компетенции	
ПК-А	способностью самостоятельно выделять различные физические механизмы в физическом феномене, подбирать адекватные модели для описания этих механизмов (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-В	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов теоретической физики, в том числе

	микроскопическое и феноменологическое описание, теорию возмущений и диаграммный методы (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Г	способность применять различные математические методы, такие как ТФКП, решение дифференциальных уравнений, применение теории групп, диаграммная техника, при исследовании математических уравнений
ПК-Д	готовность сотрудничать с экспериментальными группами по планированию физических экспериментов и анализу полученных экспериментальных данных, способностью выделять в экспериментальной ситуации отдельные физические феномены и составлять адекватную математическую модель, описывающую эти феномены (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Е	готовность к дальнейшему самообразованию и расширению компетенции, способностью локализовать общие принципы теоретической физики для нового физического феномена (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основополагающие сведения по современной теории сверхпроводимости, а именно:
- феноменологическую теорию сверхпроводимости Гинзбурга и Ландау;
- основы микроскопической теории сверхпроводимости;

уметь:

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать корректные выводы из сопоставления теоретических и экспериментальных результатов;
- выделять минимально достаточную систему определяющих параметров при моделировании реальных физических процессов;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области и теоретические модели;
- пользоваться адекватным математическим аппаратом при решении практических задач;
- эффективно использовать IT-технологии и компьютерную технику;
- стремиться к построению фундаментальных физических теорий, способных объяснять и предсказывать качественно новые физические явления.

владеть:

- навыками построения минимальной модели, которая описывает все интересующие аспекты изучаемого физического феномена;
- навыками использования двух подходов: феноменологического, основывающегося на симметричных свойствах физического объекта, и микроскопического, основывающегося на свойствах и уравнениях движения микрочастиц, составляющих физическую систему;

- навыками численного исследования модели, которое в случае достаточной полноты модели является численным экспериментом.

5. Объем дисциплины, виды учебной работы и форма отчетности

Вид учебной работы	Часов	ЗЕТ
Общая трудоемкость дисциплины	108	3
Аудиторные занятия:	54	1.5
лекции	54	1.5
Самостоятельная работа	50.4	1.4
Контроль	3.6	0.1

Форма отчетности: зачет с оценкой

6. Содержание и структура дисциплины

6.1. Учебный план по дисциплине

№	Название тем	Количество часов				Всего
		лек.	семинары	СР	К	
1.	Феноменологическая теория	20	-	20	3.6	108
2.	Микроскопическая теория	34	-	30.4		
	Итого часов:	54	-	50.4		

Самостоятельная работа заключается в разборе задач и упражнений по курсу.

6.2. Содержание лекционного курса

Часть I. Феноменологическая теория

1. Сверхпроводимость II рода: флуктуационные эффекты

Флуктуации вблизи температуры перехода (оценка ширины флуктуационной области, диамагнетизм, парапроводимость). Переход Березинского–Костерлица–Таулеса в тонкой пленке. Плавление вихревой решетки. Резистивное состояние. Критический ток при зацеплении вихрей на примесях. Коллективный пиннинг вихревой решетки. Роль примесей. Крип магнитного потока и нелинейная проводимость в ВТСП.

2. Слабая сверхпроводимость: феноменология

Стационарный эффект Джозефсона. Виды слабых контактов. Нестационарный эффект Джозефсона. Резистивные характеристики. Критический ток и "ток возврата". Туннельный контакт в магнитном поле. Джозефсоновские вихри. СКВИДы.

3. Флуктуационные эффекты в слабых контактах

Тепловые флуктуации в джозефсоновском переходе, проскальзывание фазы и $I(V, T)$. Макроскопические квантовые эффекты: "туннелирование фазы" и переход в резистивное состояние. Макроскопическая квантовая когерентность в СКВИДах.

Часть II. Микроскопическая теория

4. Теории Бардина–Купера–Шриффера.

Теорема Купера для произвольного типа спаривания. Спиновая структура волновой функции пары при s- и d-синглетном спаривании. Фазы с p-спариванием в сверхтекучем He3. Диагонализация гамильтониана БКШ. Спектр элементарных возбуждений. Уравнение самосогласования.

5. Эффекты температуры и магнитного поля.

Соотношение температуры перехода и щели в спектре. Энергия основного состояния. Теплоемкость, плотность нормальной компоненты, лондоновская глубина проникновения в различных сверхпроводящих фазах. Сдвиг Найта, парамагнитный предел сверхпроводимости, роль спин-орбитального рассеяния.

6. Неоднородные сверхпроводящие состояния

Диагонализация гамильтониана БКШ в координатном представлении. Уравнения Боголюбова (– де Жена). Андреевское отражение и андреевские уровни в S-N-S контакте. Локализованные электронные уровни в центре абрикосовского вихря.

7. Эффекты четности числа электронов в сверхпроводящем "транзисторе". Микроскопический вывод уравнений Гинзбурга–Ландау.

8. Роль примесей

Теорема Андерсона для обычного s-спаривания. Подавление сверхпроводимости магнитными примесями. Бесщелевая сверхпроводимость. Потенциальные примеси в "необычных" сверхпроводящих фазах. Зависимость критических магнитных полей от концентрации примесей.

9. Теория Элиашберга

Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия и уравнения Дайсона. Формальное решение для функций Грина, спектральное представление и усреднение по ферми-поверхности. Интегральное уравнение для параметра порядка $\Delta(\omega)$ и анализ его решения. Роль кулоновского взаимодействия. Простое применение: изотопический эффект в сверхпроводимости.

10. Микроскопическая теория эффектов в слабых сверхпроводящих контактах

Энергия связи в S-I-S контакте и критический ток. Андреевские уровни и сверхтекучий ток через S-N-S контакты. Фазово-чувствительный диссипативный ток в S-N структурах.

7. Самостоятельная работа аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется собеседованием. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

8. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины совпадают с пунктами содержания лекционного курса.

8.1. Пример экзаменационного билета

1. Переход Березинского–Костерлица–Таулеса в тонкой пленке..
2. Микроскопический вывод уравнений Гинзбурга–Ландау.

После окончания курса аспирантам дается набор вопросов для зачета.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

9.1. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

- [1] В.В.Шмидт "Введение в физику сверхпроводников", М., МЦНМО, 2000.
- [2] П.де Жен "Сверхпроводимость металлов и сплавов", М., Наука, 1968.
- [3] В.П.Минеев, К.В.Самохин "Введение в теорию необычной сверхпроводимости", М., МФТИ, 1998.
- [4] А.А.Абрикосов "Основы теории металлов", М., Наука, 1987.
- [5] Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский "Статистическая физика. Часть 2", М., Наука, 1978.
- [6] М.Тинкхам "Введение в сверхпроводимость", Атомиздат, 1980; second edition (in English), 1996.
- [7] А.А.Абрикосов, И.М.Халатников, УФН 65, 551 (1958). В свободном доступе в Интернете.
- [8] А.Ф.Андреев, ЖЭТФ, 47, 2222 (1964).
- [9] G.Blatter, M.Feigel'man, V.Geshkenbein, A.Larkin, and V.Vinokur, "Vortices in High-Temperature Superconductors", Rev. Mod. Phys. 66, 1125 (1994).

9.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

См. список литературы

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

On-line доступ к журналам «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Письма в ЖЭТФ», к журналам: Physical Review Journals Published by the American Physical Society, к некоторым публикациям издательств Elsevier и Springer/Nature Publishing Group (из подписки ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН).

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

аудиторный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН;
ноутбук, мультимедиа-проектор, экран;
рабочее место с выходом в Интернет;
библиотечный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН