

**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.1.1  
«Диаграммная техника»**

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 «Диаграммная техника» (Б1.В.ДВ.1.1) 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., чл.-корр. РАН  
10 сентября 2021 г.



Ю. Г. Махлин

«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)

## 2. Цель и задачи освоения дисциплины

**Целью** изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики, 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 современным методам диаграммной техники, развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике.

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

Дисциплина «Диаграммная техника» (Б1.В.ДВ.1.1) относится к дисциплинам по выбору 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.

Курс разработан с целью ознакомить аспирантов с современными методами теории конденсированного состояния и одновременно обсудить ряд конкретных физических явлений. В ходе занятий обсуждаются задачи, иллюстрирующие различные методы, основанные на диаграммной технике для функций Грина. Эти методы применяются в задачах по актуальным разделам физики многочастичных систем, таким как теория Ферми-жидкости, неупорядоченные системы, сверхпроводимость.

### 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:**

- основные сведения по современной теории конденсированного состояния, а именно:
- построение теории поля для многочастичных систем при нулевой температуре, диаграммы Фейнмана, суммирование диаграмм, уравнение Дайсона;
- диаграммную технику Матсубары при конечной температуре;
- построение диаграммной техники в неупорядоченных системах;
- примеры: мезоскопика, теория проводимости систем с беспорядком, локализация;
- основы микроскопической теории сверхпроводимости;

**уметь:**

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- уметь сопоставлять результаты теории и эксперимента;
- выделять минимальную систему параметров при моделировании реальных физических процессов;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;

- осваивать новые предметные области и теоретические модели;
- пользоваться современным математическим аппаратом при решении практических задач;
- эффективно использовать IT-технологии и компьютерную технику;

**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;

**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.	Общие принципы диаграммной техники	20	-	20	3.6	108
2.	Диаграммная техника в неупорядоченных системах	34	-	30.4		
	Итого часов:	54	-	50.4		

## **6.2. Содержание лекционного курса**

### **Часть 1. Общие принципы диаграммной техники**

1. Квазичастицы.

Элементарные возбуждения в квантовой Ферми-жидкости. Вторичное квантование. Канонические преобразования.

2. Функция Грина при нулевой температуре.

3. Представление взаимодействия. Хронологическое упорядочение. Функция Грина макроскопической системы. Физический смысл полюсов. Аналитические свойства функции Грина.

4. Основные принципы диаграммной техники.

Взаимодействующие частицы. Теорема Вика. Диаграммы Фейнмана для различных видов возмущения. Диаграммная техника в координатном и импульсном пространстве.

5. Частичное суммирование диаграмм

Блочное суммирование диаграмм. Уравнение Дайсона. Вершинная часть. Двух-частичная функция Грина. Уравнение Бете-Солпитера.

6. Идеальный Ферми-газ.

Функция Грина идеального Ферми-газа. Электроны на Ферми-поверхности. Электрон-дырочная симметрия.

7. Теория линейного отклика

Формула Кубо.

8. Электрон-фононное взаимодействие – 1.

Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия. Гамильтониан Фрелиха. Фононная функция Грина. Теория Мигдала. Время жизни квазичастиц.

9. Электрон-фононное взаимодействие – 2.

Перенормировка электронного спектра. Отсутствие перенормировки вершины. Перенормировка скорости звука. Пайерлсовская неустойчивость.

10. Функции Грина при конечной температуре.

Мацубаровское время. Мацубаровская функция Грина. Дискретные частоты. Ряд для свободной энергии.

11. Мацубаровская диаграммная техника.

Правила Фейнмана для мацубаровской диаграммной техники. Метод аналитического продолжения.

12. Теория Ферми-жидкости.

Квазичастицы. Функционал Ландау. Кинетическое уравнение Коллективные возбуждения. Свойства вершинной части при малой передаче импульса.

13. Теория Бозе-жидкости.

Описание системы с конденсатом. Спектр возбуждений слабо неидеального бозе газа.

14. Введение в диаграммную технику Келдыша.

Правила в келдышевской диаграммной технике. Кинетическое уравнение. Диаграммная техника Келдыша в реальном времени.

15. Измерение функций Грина.

Туннельный ток. Эффект Джозефсона.

**Часть 2. Диаграммная техника в неупорядоченных системах**

14. Электроны в случайном потенциале. Усреднение по беспорядку.

Диаграммная техника для усреднения по беспорядку. Диаграммы без самоперечечений. Усреднение функций отклика. Проводимость электронного газа.

15. Уравнение диффузии.

Купероны и диффузоры. Медленные моды. Роль симметрий.

16. Слабая локализация – 1

Квантовая поправка к проводимости в отсутствие магнитного поля

17. Слабая локализация – 2

Квантовая поправка к проводимости в слабом магнитном поле. Отрицательном магнетосопротивление.

18. Слабая локализация – 3

Квантовая поправка к проводимости в сильном магнитного поля. Двухпетлевые диаграммы. Взаимодействие диффузных мод.

19. Поправка к проводимости от взаимодействия

Поправка Альштулера-Шкловского.

20. Мезоскопические флуктуации кондактанса.

21. Корреляции уровней в металлической грануле.

Поведение квантовой поправки на больших частотах. Подход Альтшулера-Шкловского.

22. Теория случайных матриц.

Средняя плотность состояний. Самосогласованное борновское приближение. Вигнеровский полукруг.

23. Микроскопическая теория сверхпроводимости.

Диаграммная техника для теории БКШ. Рассеяние в куперовском канале, куперовская лестница. Куперовская неустойчивость.

24. Функции Грина сверхпроводника. Основные уравнения для сверхпроводника. Сверхпроводник в электромагнитном поле.

25. Функции Грина в неупорядоченном сверхпроводнике.

26. Разложение Гинзбурга-Ландау.

Вывод коэффициентов Гинзбурга-Ландау в грязном сверхпроводнике.

27. Кривая перехода в неупорядоченном сверхпроводнике.

Флуктуационный пропагатор в магнитном поле.

## **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. Диаграммы Фейнмана для различных видов возмущения. Диаграммная техника в координатном и импульсном пространстве.

2. Квантовая поправка к проводимости в отсутствие магнитного поля

**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. А.А. Абрикосов, Л.П. Горьков, И.Е. Дзялошинский, Методы квантовой теории поля в статистической физике, М.: Добросвет, 1998
2. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Статистическая физика, ч. 2., М.: Физматлит, 2001
3. Л.С. Левитов, А.В. Шитов, Функции Грина: задачи и решения. М.:Физматлит, 2003.
4. G.D. Mahan, Many-particle Physics, N.Y., Plenum Press, 1990. [<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS-KJM4480/h09/undervisningsmateriale/Lecture%20notes/mahan.pdf>]
5. J.Rammer, H.Smith, Rev. Mod. Phys. 58, 323 (1986)

### **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