

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Диаграммная техника
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: П.И. Арсеев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 19.05.2020

## Аннотация

В курсе рассказано о применении методов диаграммной техники к физике твердого тела. Понятие о функциях Грина, Т-упорядочении и появлении рядов теории возмущений, которые могут быть наглядно представлены диаграммами, объясняется на примере температурной (мацубаровской техники). Показаны некоторые применения температурной техники, в том числе для вычислений функций отклика.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по методам теории поля в системах многих частиц для дальнейшего использования в различных областях теории конденсированного состояния;
- формирование математических навыков и способности применять знания на практике.

#### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по методам функций Грина в многочастичных системах;
- формирование умения использовать основы математического аппарата теории поля;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения конкретных задач теории конденсированного состояния.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- представление вторичного квантования;
- определение функций Грина;
- правила построения диаграммной техники для различных взаимодействий;
- связь температурных функций Грина с функциями отклика.

уметь:

- вычислять средние от набора операторов во вторичном квантовании;
- выразить физические величины через функции Грина;
- использовать диаграммную технику для решения конкретных задач;
- использовать различные виды уравнения Дайсона для решения задач.

владеть:

- математическим аппаратом диаграммной техники.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы квантовой статистики.	5	2		10
2	Оператор эволюции в температурной технике.	5	2		10
3	Функции Грина.	5	2		10
4	Построение диаграммных рядов.	5	3		10
5	Примеры вычислений в температурной диаграммной технике.	5	3		10
6	Использование температурной техники для вычисления функций отклика.	5	3		10
Итого часов		30	15		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

###### 1. Основы квантовой статистики.

Вычисление термодинамических средних в квантовой теории. Матрица плотности Гиббса. Средние от операторов наблюдаемых. Вычисление матрицы плотности для многочастичной системы. Изменение матрицы плотности при возмущении системы. Вычисление изменений по теории возмущений. Что такое диаграммная техника. Разные типы диаграммных техник, их связь между собой.

###### 2. Оператор эволюции в температурной технике.

Представление взаимодействия в температурной технике. Появление дополнительного параметра – "мнимого времени". Уравнение для оператора эволюции по "мнимому времени". Решение уравнения по теории возмущений. Понятие Т-упорядочения операторов. Представление оператора эволюции в виде Т-упорядоченной экспоненты. Теорема Вика в операторной форме. Разбиение средних от большого числа операторов на попарные средние. Правила перестановки операторов. Определение функций Грина.

###### 3. Функции Грина.

Функции Грина для невзаимодействующего газа ферми- и бозе-частиц. Прямое вычисление функций Грина. Отличие свойств функций Грина для ферми- и бозе- систем. Представление ряда теории возмущений для функций Грина с помощью диаграмм. Правила сопоставления диаграммам определенных аналитических выражений для различных возмущений: внешнее поле, взаимодействие между частицами. Температурная диаграммная техника (техника Мацубары).

#### 4. Построение диаграммных рядов.

Связные и несвязные диаграммы. Появление связанных и несвязных частей диаграмм. Сокращение суммы несвязных диаграмм при вычислении термодинамических средних физических величин. Уравнение Дайсона. Выделение из общего ряда теории возмущений приводимых и неприводимых диаграмм. Частичное суммирование бесконечного ряда – уравнение Дайсона. Примеры построения диаграммной техники. Правила построения диаграммной техники в фурье представлении. Вид диаграмм, когда к системе приложено внешнее поле и когда есть взаимодействие между частицами.

#### 5. Примеры вычислений в температурной диаграммной технике.

Вычисление намагнитченности свободного электронного газа. Особенности интегралов по импульсу и конечная плотность состояний. Двухчастичные функции Грина. Определение температуры сверхпроводящего перехода как температуры расходимости вершины взаимодействия двух частиц.

#### 6. Использование температурной техники для вычисления функций отклика.

Вычисление изменений физических величин и функций Грина от времени. Общие соотношения между флуктуациями в системе и линейными функциями отклика. Методы вычисления функций отклика с использованием температурной техники. Правила аналитического продолжения в частотном представлении.

### **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная доской, мультимедиапроектором и экраном.

### **6.Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Методы квантовой теории поля в статистической физике [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский, Ин-т теорет. физики им. Л. Д. Ландау. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Добросвет, 1998. — 514 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 9, Ч. 2 : Статистическая физика. Теория конденсированного состояния : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М. : Физматлит, 2000-2005. — 496 с.
3. Диаграмматика [Текст] : Лекции по избранным задачам теории конденсированного состояния, [учеб. пособие для вузов] /М. В. Садовский. -М. : Регулярная и хаотическая динамика ; Ижевск, 2010
4. G. D. Mahan, Many-Particle Physics (Plenum, New York, 1990).

#### Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. — 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007. — 536 с.
2. Л.В.Келдыш, Диаграммная техника для неравновесных процессов, ЖЭТФ. 47, 1515 (1964).
3. J.Rammer, H.Smith Quantum field theoretical methods in transport theory of metals, Rev.Mod.Phys. 58, 323 (1986).

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

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
3. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс диаграммной техники, должен с одной стороны, овладеть общим аппаратом теории, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения теории функций Грина в системах многих частиц; виды функций Грина в различных представлениях; связь функций Грина с физическими величинами, способы вычисления функций отклика с помощью температурных функций Грина.

В основе метода функций Грина лежит теорема Вика, позволяющая автоматизировать вычисления средних от произведения большого числа операторов рождения и уничтожения частиц. Поэтому студенту необходимо освоить язык вторичного квантования и научиться вычислять средние от операторов рождения и уничтожения. Понимание теоремы Вика позволяет легко установить правила построения диаграмм для различного типа взаимодействия.

Успешное освоение курса требует самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи.

При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	П.И. Арсеев, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Диаграммная техника» обучающийся должен:

### знать:

- представление вторичного квантования;
- определение функций Грина;
- правила построения диаграммной техники для различных взаимодействий;
- связь температурных функций Грина с функциями отклика.

### уметь:

- вычислять средние от набора операторов во вторичном квантовании;
- выразить физические величины через функции Грина;
- использовать диаграммную технику для решения конкретных задач;
- использовать различные виды уравнения Дайсона для решения задач.

### владеть:

- математическим аппаратом диаграммной техники.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов:

1. Вычисление термодинамических средних в квантовой теории. Матрица плотности Гиббса.
2. Вычисление матрицы плотности для многочастичной системы. Изменение матрицы плотности при возмущении системы. Вычисление изменений по теории возмущений.

- 3 Уравнение для оператора эволюции по "мнимому времени". Решение уравнения по теории возмущений. Понятие Т-упорядочения операторов. Представление оператора эволюции в виде Т-упорядоченной экспоненты.
- 4 Правила перестановки операторов. Определение функций Грина.
- 5 Представление ряда теории возмущений для функций Грина с помощью диаграмм.
- 6 Связные и несвязные диаграммы. Появление связанных и несвязных частей диаграмм.
- 7 Уравнение Дайсона. Выделение из общего ряда теории возмущений приводимых и неприводимых диаграмм. Частичное суммирование бесконечного ряда..
- 8 Примеры построения диаграммной техники Правила построения диаграммной техники в фурье представлении.
- 9 Использование температурной техники для вычисления функций отклика. Методы вычисления функций отклика с использованием температурной техники.

Примеры контрольных заданий:

1. Вывод распределений Бозе и Ферми
2. Функции Грина для невзаимодействующего газа ферми- и бозе-частиц. Прямое вычисление функций Грина. Отличие свойств функций Грина для ферми- и бозе- систем.
3. Вывод формулы для суммирования по дискретным частотам через контурный интеграл.
4. Вычисление температуры сверхпроводящего перехода как пример вычислений в рамках температурной техники:
5. Вычисление отклика невзаимодействующего электронного газа

Примеры экзаменационных билетов:

- Билет 1 Представление взаимодействия в температурной технике. Появление дополнительного параметра – "мнимого времени".
- Билет 2. Теорема Вика Разбиение средних от большого числа операторов на попарные средние.
- Билет 3. Правила сопоставления диаграммам определенных аналитических выражений для различных возмущений: внешнее поле, взаимодействие между частицами.
- Билет 4. Сокращение суммы несвязных диаграмм при вычислении термодинамических средних физических величин.
- Билет 5. Вид диаграмм, когда к системе приложено внешнее поле и когда есть взаимодействие между частицами.
- Билет 6. Общие соотношения между флуктуациями в системе и линейными функциями отклика.

#### Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.



Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Вопрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.