

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины
Метод функций Грина в теории систем многих частиц

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Метод функций Грина в теории систем многих частиц» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается на первом году обучения, во втором семестре.

Целями освоения дисциплины «Метод функций Грина в теории систем многих частиц» являются:

1. изучение техники функций Грина, являющейся одним из основных аппаратов исследования многочастичных эффектов, транспортных и спектральных свойств твердых тел;
2. выработка практических умений и навыков применения методов теории систем многих частиц в конкретных задачах физики конденсированного состояния.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	<i>ПК-1.1. Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала ПК-1.2. Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта ПК-1.3. Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i>	(ПК-1) Знать основные принципы использования и области применимости метода функций Грина в теории систем многих частиц в конкретных задачах физики конденсированного состояния; (ПК-1) Уметь применять в профессиональной деятельности навыки постановки и решения задач, требующих применения метода функций Грина в теории систем многих частиц; (ПК-1) Владеть навыками применения метода функций Грина в теории систем многих частиц при решении задач в области физики конденсированного состояния.	Индивидуальные собеседования	Вопросы к экзамену

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	34
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	74
Промежуточная аттестация	36
	экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Вторичное квантование. Свойства многочастичной волновой функции для фермионов и бозонов. Процедура вторичного квантования. Операторы рождения и уничтожения частиц. Коммутационные соотношения. Представление чисел заполнения.	5	1	1	–	2	3
2. Одночастичная функция Грина. Причинная функция Грина: определение и свойства. Функция Грина идеального Ферми-газа. Запаздывающая и опережающая функции Грина. Спектр одночастичных квазичастичных возбуждений.	7	2	2	–	4	3
3. Диаграммы Фейнмана. Нахождение функции Грина с помощью теории возмущений. Теорема Вика. Собственно-энергетическая функция. Уравнение Дайсона. Диаграммы Фейнмана в координатном и импульсном представлении.	7	2	2	–	4	3
4. Приближение Хартри-Фока в формализме функций Грина. Прямое кулоновское и обменное взаимодействие. Корреляционная энергия. Собственно-энергетическая функция и поправки к спектру одночастистичных возбуждений в фермиевском	8	2	2	–	4	4

газе с кулоновским взаимодействием.						
5. Поляризационный оператор. Определение и свойства. Вершинная поправка. Эффективное взаимодействие для вырожденного Ферми газа высокой плотности.	5	1	1	–	2	3
6. Функции Грина при конечной температуре. Температурные функции Грина (Мацубары). Их свойства. Диаграммная техника. Аналитическое продолжение. Связь температурной функции Грина с запаздывающей и опережающей.	5	1	1	–	2	3
7. Теория линейного отклика. Теория линейного отклика электронной системы. Корреляционная функция плотности и ее связь с поляризационным оператором. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость. Приближение случайных фаз. Линейный отклик на точечный источник. Осцилляции Фриделя.	5	1	1	–	2	3
8. Двухчастичная функция Грина. Определение и свойства. Уравнение Бете-Солпитера для двухчастичной функции Грина. Спектры двухчастичных возбуждений. Экситоны. Связь двухчастичной функции Грина с функциями отклика.	5	1	1	–	2	3
9. Многочастичные возбуждения. Связь спектра плазмонов с полюсами восприимчивостей. Гидродинамическое описание плазменных колебаний.	5	1	1	–	2	3
10. Электрон-фононное взаимодействие. Учет электрон-фононного взаимодействия в формализме функций Грина. Теорема Мигдала. Поправки к спектру электронов и фононов вследствие слабого электрон-фононного взаимодействия.	5	1	1	–	2	3
11. Электроны в случайном потенциале. Усреднение функций Грина по беспорядку. Функция Грина невзаимодействующих электронов в случайном потенциале (самосогласованное борновское приближение).	5	1	1	–	2	3
12. Проводимость. Расчет проводимости электронного газа в рамках теории линейного отклика при наличии статического беспорядка. Флуктуационно-диссипационная теорема. Формула Кубо. Связь проводимости и диэлектрической проницаемости.	8	2	2	–	4	4
В т.ч. текущий контроль	2	2				–
Промежуточная аттестация – экзамен						

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Экзамен	
Превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. Исчерпывающее и логически строгое изложение всех разделов дисциплины. Владение материалом позволяет быстро справиться с видоизмененным заданием. Успешное решение любых типов практических заданий.
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. Твердое знание всех разделов дисциплины. Допускаются неточности, нарушения в последовательности изложения материала. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Очень хорошо	Хорошая подготовка с рядом заметных недочетов. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения основных типов практических заданий.
Хорошо	В целом, хорошая подготовка, но со значительными ошибками. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. Знания основного содержания разделов дисциплины, допускаются грубые неточности, неправильные формулировки, нарушения в последовательности изложения материала. Имеющихся знаний достаточно для освоения дисциплин последующих курсов. Допускаются значительные ошибки при выполнении практических заданий.
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Незнание значительной части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная. Отсутствуют знания большей части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний совершенно недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

– индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии: практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Критерии ответа студента на экзамене

Оценка «отлично» – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный и полностью выполнены индивидуальные практические задания.

Оценка «хорошо» – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности при этом допущены две–три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя и правильно; полностью выполнены индивидуальные практические задания.

Оценка «удовлетворительно» – Ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка или неполный, несвязный ответ и выполнены индивидуальные практические задания.

Оценка «неудовлетворительно» – Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя, не выполнены индивидуальные практические задания

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1 Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Рассчитать коммутационные соотношения для операторов рождения и уничтожения куперовских пар в сверхпроводнике. Сравнить их с фермиевскими и бозевскими.
2. Записать функцию Грина, собственно-энергетическую часть и уравнение Дайсона для электрона в многозонном полупроводнике.
3. Вычислить перенормировку электронного спектра в результате слабого точечного межчастичного взаимодействия. «Затравочный» спектр считать изотропным квадратичным.
4. Вычислить перенормировку электронного спектра в результате слабого точечного межчастичного взаимодействия. «Затравочный» спектр считать изотропным линейным.
5. Вычислить перенормировку массы электрона, слабо взаимодействующего с полем фононов. «Затравочный» спектр считать изотропным линейным.
6. Используя технику Мацубары, найти парамагнитную восприимчивость двумерного электронного газа.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

1. Метод вторичного квантования. Вырожденный электронный газ со слабым отталкиванием (основное состояние).
2. Представление Гейзенберга, взаимодействия и Шредингера. Оператор эволюции. \square -операторы.
3. Функция Грина (определение). Свойства функции Грина (выражение среднего от операторов с помощью функции Грина). Функция Грина идеального Ферми-газа.
4. Общие свойства функции Грина (представление Лемана).
5. Нахождение функции Грина системы взаимодействующих частиц. Теорема Вика. Теория возмущений для нахождения функции Грина.
6. Диаграммы Фейнмана. Диаграммы Фейнмана в импульсном представлении. Собственно-энергетическая функция и уравнение Дайсона.

7. Приближение Хартри-Фока в формализме функций Грина. Система взаимодействующих фермионов (экранированное кулоновское отталкивание) в нулевом внешнем поле в приближении Хартри-Фока.
8. Поляризационный оператор. Эффективное взаимодействие для вырожденного Ферми газа высокой плотности.
9. Учет электрон-фононного взаимодействия в формализме функций Грина.
10. Использование формализма функций Грина для нахождения изменения спектра электронов и фононов вследствие слабого электрон-фононного взаимодействия.
11. Теория линейного отклика системы. Корреляционная функция плотности и ее связь с поляризационным оператором.
12. Температурные функции Грина (Мацубары). Их свойства.
13. Электроны в случайном потенциале. Усреднение функций Грина по беспорядку. Функция Грина невзаимодействующих электронов в случайном потенциале (самосогласованное борновское приближение).

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Учебные аудитории могут быть при необходимости оснащены демонстрационным оборудованием для сопровождения учебных занятий презентациями.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

доцент кафедры теоретической физики физического факультета, к. ф.-м. н., А.А. Конаков.

Зав. каф. теоретической физики _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.