

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
«_____» _____ 202_ г. № _____

Рабочая программа дисциплины

Метод функций Грина в теории систем многих частиц

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

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:

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

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Метод функций Грина в теории систем многих частиц» составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося (38 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Метод функций Грина в теории систем многих частиц»

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 газе с кулоновским взаимодействием.	8	2	2	–	4	4
5. Поляризационный оператор. Определение и свойства. Вершинная поправка. Эффективное	5	1	1	–	2	3

взаимодействие для вырожденного Ферми газа высокой плотности.						
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	8	2	2	–	4	4

отклика при наличии статического беспорядка. Флуктуационно-диссипационная теорема. Формула Кубо. Связь проводимости и диэлектрической проницаемости.						
В т.ч. текущий контроль	2	2				—
Промежуточная аттестация – экзамен						

3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) сопровождение лекций презентациями;
- 4) методика «вопросы и ответы»;
- 5) выполнение практического задания у доски;
- 6) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 7) работа в парах над практическим заданием;
- 8) работа в малых группах над практическим заданием;
- 9) методика «мозговой штурм».

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.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной	(ПК-1) Знать основные принципы использования и области применимости метода функций Грина в теории систем многих частиц в конкретных задачах физики конденсированного состояния.

аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	<p>(ПК-1) Уметь применять в профессиональной деятельности навыки постановки и решения задач, требующих применения метода функций Грина в теории систем многих частиц.</p> <p>(ПК-1) Владеть навыками применения метода функций Грина в теории систем многих частиц при решении задач в области физики конденсированного состояния.</p>
---	--

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Метод функций Грина в теории систем многих частиц» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

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).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

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

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

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

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Метод функций Грина в теории систем многих частиц»:

1. Метод вторичного квантования. Вырожденный электронный газ со слабым отталкиванием (основное состояние).
2. Представление Гейзенберга, взаимодействия и Шредингера. Оператор эволюции. Ψ -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).

6.3.2. 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.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

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

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

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Маттук Р.Д. Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел. – М.: Мир, 1969. – 366 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=68364>.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 9. Статистическая физика, ч. 2. Теория конденсированного состояния. – М.: Наука, 1978. – 448 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=301124>.
3. Садовский М.В. Диаграмматика. Лекции по избранным задачам теории конденсированного состояния. Издание второе, переработанное и дополненное. – 2005. – 282 с.
Свободный доступ:
<http://sadowski.iep.uran.ru/RUSSIAN/LTF/Diagramm.pdf>.

б) дополнительная литература:

1. Абрикосов А.А., Горьков Л.П., Дзялошинский И.Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике.
М.: Добросвет, 1998. – 514 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 1 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=39567>;
М.: Физматгиз, 1962. – 443 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=239440>.
2. Таулес Д. Квантовая механика систем многих частиц.
М.: Мир, 1975. – 379 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=70594>;

М.: ИЛ, 1963. – 231 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=70595>.

3. Каданов Л.П., Бейм Г. Квантовая статистическая механика: методы функций Грина в теории равновесных и неравновесных процессов. – М.: Мир, 1964. – 255 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=67294>.

4. Датта С. Квантовый транспорт: от атома к транзистору. – М., Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 532 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=417189>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ

<http://www.lib.unn.ru/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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. _____ / Конаков А.А. /

Рецензент:

Зав. кафедрой теоретической физики
физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент _____ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ от «____» _____ 202_ года, протокол
№ б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /