

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 12:37:50

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля) Неравновесная квантовая механика одноэлектронных устройств

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Квантовое материаловедение

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

47

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 2 (1.2) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | 18 | | | |
| Неделя | УП | РП | УП | РП |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Контактная работа | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Сам. работа | 47 | 47 | 47 | 47 |
| Часы на контроль | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Итого | 108 | 108 | 108 | 108 |

Программу составил(и):

кфмн, доцент, Родионов Ярослав Игоревич

Рабочая программа

Неравновесная квантовая механика одноэлектронных устройств

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-22-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

Руководитель подразделения дфмн, профессор Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|---|
| 1.1 | Цель освоения дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также усвоение студентами знаний, необходимых для самостоятельного использования современной научной литературы в области квантовой физики одноэлектронных устройств, в частности, техники Келдыша, физики квантовых явлений с сильным электрон-электронным взаимодействием. |
| 1.2 | Задачи дисциплины: |
| 1.3 | научить |
| 1.4 | 1. Составлять квантовое кинетическое уравнение, используя диаграммную технику Келдыша. |
| 1.5 | 2. Построению интеграла по траекториям для решения неравновесной задачи. |
| 1.6 | 3. Строить ряд фейнмановских диаграмм для решения неравновесной задачи |
| 1.7 | 4. Выводить эффективные неравновесные действия для описания одноэлектронных систем. |
| 1.8 | 5. Решать кинетические уравнения в простейших случаях. |

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.04 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Введение в современные квантовые технологии ч.1 | |
| 2.1.2 | Нелинейная физика | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Методы диаграммной техники и континуального интегрирования | |
| 2.2.2 | Плазмоника и метаматериалы | |
| 2.2.3 | Сверхпроводящие метаматериалы для сверхвысокочастотных и терагерцевых устройств | |
| 2.2.4 | Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике | |
| 2.2.5 | Физика жидкокристаллических мембран | |
| 2.2.6 | Научно-педагогическая практика | |
| 2.2.7 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.8 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| | |
|---|--|
| ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики | |
| Знать: | |
| ПК-1-31 Как решать квантовые кинетические уравнения | |
| ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности | |
| Знать: | |
| ОПК-1-31 как записать интеграл по траекториям для неравновесной задачи; Как составлять уравнения Дайсона для неравновесных систем; Как выводится эффективное действие для неравновесной одноэлектронной системы; Как записать интеграл столкновений для различных типов взаимодействий. | |
| ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики | |
| Уметь: | |
| ПК-1-У1 Пользоваться теорией линейного отклика. | |
| ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности | |
| Уметь: | |
| ОПК-1-У1 Выводить фейнмановские правила из неравновесного интеграла по траекториям; Вычислять неравновесные функции Грина в технике вигнеровского разложения; Графически записывать ряд неравновесной теории возмущений; Пользоваться тождествами Уорда для расчета наблюдаемых. | |
| Владеть: | |

ОПК-1-В1 Связывать теоретические представления с экспериментальными данными.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|--|----------------|-------|------------------------------------|----------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. Интеграл по траекториям для неравновесной задачи. | | | | | | | |
| 1.1 | Статистическая сумма вдоль контура /Лек/ | 2 | 2 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.1Л2.1 | | | |
| 1.2 | Неравновесная диаграммная техника Келдыша. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Л2.2 | | | |
| 1.3 | Функции Грина на контуре келдыша /Лек/ | 2 | 1 | ПК-1-31 | Л1.2Л2.1Л3.2 | | | |
| 1.4 | Вывод кинетического уравнения в виде уравнения Дайсона для функций Грина /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2Л2.1 | | | |
| 1.5 | Вывод уравнения Ланжевена /Лек/ | 2 | 1 | | Л1.2 Л2.2Л2.1 | | | |
| 1.6 | Вывод уравнения Фоккера-Планка /Лек/ | 2 | 1 | ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.2 | | | |
| 1.7 | Статистическая сумма для фермионов. Грассмановы переменные. /Пр/ | 2 | 1 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 | Л2.1Л2.2 | | | |
| 1.8 | Преобразование Ларкина-Овчинникова. Вывод наблюдаемых через дифференцирование по источнику. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 | Л2.1 Л1.2Л2.2 | | | |
| | Раздел 2. Неравновесная диаграммная техника Келдыша. Функции Грина. | | | | | | | |
| 2.1 | Вид поляризационного оператора для бозонов и фермионов /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л2.2Л2.1Л3.2 Э1 | | | |
| 2.2 | Различные механизмы диссипации в электронной системе /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2 Л2.2Л2.1Л3.2 Э1 | | | |
| 2.3 | Введение в физику одноэлектронных систем I. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л2.1 Э1 | | | |
| 2.4 | Одноэлектронные системы с сильным кулоновским взаимодействием. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2 Л2.2Л2.1 Э1 | | | |
| 2.5 | Действие Калдаиры-Легетта. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |
| | Раздел 3. Интеграл столкновений для различных типов взаимодействий. | | | | | | | |
| 3.1 | in и out слагаемые в уравнении Дайсона на гриновскую функцию /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|----|--|----------------------------|--|-----|----|
| 3.2 | Преобразование Вигнера. Быстрые и медленные переменные. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |
| 3.3 | Функция распределения: формальное определение и функция распределения на массовой поверхности. /Лек/ | 2 | 1 | ПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |
| 3.4 | Функция распределения для бозонов и фермионов. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |
| 3.5 | Вывод интеграла столкновений для бозонного газа и трех-точечного взаимодействия. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л2.2Л2.1Л3.2 Э1 | | | |
| 3.6 | Вывод интеграла столкновений для фермионного газа и трех-точечного взаимодействия. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | |
| 3.7 | Интеграл столкновений электрон-электронного взаимодействия. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.2Л2.1 Э1 | | | P1 |
| Раздел 4. Решение квантовых кинетических уравнений | | | | | | | | |
| 4.1 | Решение квантового кинетического уравнения подстановкой гиперболического тангенса для фермионов. /Лек/ | 2 | 1 | ОПК-1-31 ПК-1-31 | Л2.1 Э1 | | | |
| 4.2 | Решение квантового кинетического уравнения котангенсом для бозонов. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л2.1 Э1 | | | |
| 4.3 | Решение квантового кинетического уравнения в тау-приближении. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л2.1 Э1 | | | |
| 4.4 | Полностью динамическое уравнение. Случай динамики температуры. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 | Л2.1 Э1 | | | |
| Раздел 5. Вывод эффективного действия для одноэлектронной системы. | | | | | | | | |
| 5.1 | Вывод эффективного действия для одноэлектронной системы. /Пр/ | 2 | 2 | ОПК-1-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.2Л2.1Л2.2 Э1 | | | P1 |
| Раздел 6. Коллоквиум | | | | | | | | |
| 6.1 | Освоение учебных материалов по разделам 1-5. /Ср/ | 2 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1Л2.1Л2.2 Л3.2 Э1 | | КМ1 | |
| Раздел 7. Подготовка к коллоквиуму | | | | | | | | |
| 7.1 | Закрепление навыков полученных на практических занятиях /Ср/ | 2 | 45 | ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | | | | |

| 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки | | | |
|---|---|---|---|
| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
| КМ1 | Вопросы к экзамену | ОПК-1-31;ПК-1-31 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Интеграл по траекториям для неравновесной задачи. 2. Неравновесная диаграммная техника Келдыша. Функции грина. 3. Интеграл столкновений для различных типов взаимодействий. 4. Решение квантовых кинетических уравнений 5. Вывод эффективного действия для одноэлектронной системы. 6. Решить уравнение Дайсона для вершинной функции вейлевского полуметалла для дельта-функционального беспорядка. 7. Вывод квантового кинетического уравнения для задачи о кулоновской блокаде. 8. Эволюция функции распределения для одноэлектронного транзистора в случае быстрого электрон-электронного взаимодействия. |
| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | Контрольная работа: ответ на теоретический вопрос в письменной форме и решение задачи | ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-1-31;ПК-1-У1 | <p>Примеры вопросов и задач:</p> <p>Задача 1 Вывести интеграл столкновений для трехточечного взаимодействия бозонной теории поля.</p> <p>Задача 2 Вывести интеграл столкновений для нелинейной сигма-модели.</p> <p>Задача 3 Рассчитать келдышевскую функцию Грина для одномерной фермионной цепочки.</p> <p>Задача 4 Отбозонизовать фермионную цепочку с взаимодействием.</p> <p>Вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вывод формулы Ландауэра в Келдыше. 2. Вывод келдышевской нелинейной сигма модели с дизордером. 3. Неравновесные инстантоны. 4. Неравновесный евклидов пузырь 5. Вывод непертурбативной поправки к коррелятору DOS-DOS для электронного газа с беспорядком. 6. Неравновесное действие AES 7. Неравновесная перенормировка в AES. |
| 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.) | | | |
| Экзамен не предусмотрен | | | |
| 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР) | | | |
| Оценка | Критерии оценивания на зачете с оценкой | | |
| 5 | «Отлично» | Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает ответ на каждый теоретический вопрос, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер | |
| 4 | «Хорошо» | Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы, однако ответ хотя бы на один из них не носит развернутого и исчерпывающего характера | |
| 3 | «Удовлетворительно» | Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы и допускает ряд неточностей | |
| | | Обучающийся фрагментарно раскрывает содержание теоретических вопросов, допускает значительные неточности | |
| 2 | «Неудовлетворительно» | Обучающийся не знает ответов на поставленные теоретические вопросы | |
| 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ | | | |
| 6.1. Рекомендуемая литература | | | |

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|---|------------------------|-------------------------|
| Л1.1 | Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е. | Методы квантовой теории поля в статистической физике | Электронная библиотека | Москва: Физматгиз, 1962 |
| Л1.2 | Пайнс Д., Нозьер Ф., Абрикосов А. А. | Теория квантовых жидкостей: нормальные ферми-жидкости | Электронная библиотека | Москва: Мир, 1967 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|----------------------------------|---|------------------------|-------------------------------|
| Л2.1 | Компанеев А. С., Ландау Л. Д. | Электропроводность металлов: монография | Электронная библиотека | Кириллов: ГОНТИ Украины, 1935 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------|-------------------|
| Л3.1 | Векилов Ю. Х., Кузьмин Ю. М., Мухин С. И. | Квантовая механика: учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 1105 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |
| Л3.2 | Векилов Ю. Х., Кузьмин Ю. М., Мухин С. И. | Статистическая физика: учеб. пособие для студ. спец. 0709 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | Квантовая теория поля https://mipt.ru/online/teorphys/ | https://mipt.ru/online/teorphys/ |
|----|--|---|

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|---|
| П.1 | Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr |
| П.2 | Microsoft Office |
| П.3 | LMS Canvas |
| П.4 | Python |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | Полнотекстовые российские научные журналы и статьи: |
| И.2 | — Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/ |
| И.3 | Иностраные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС): |
| И.4 | — аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com |
| И.5 | — аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com/ |
| И.6 | — наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com |
| И.7 | — научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/ |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|--------|--------------------|--|
| Б-1003 | Учебная аудитория: | доска аудиторная меловая, экран проекционный, проектор, документ камера, панель плазменная Panasonic, стационарные компьютеры 16 шт., пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |
| Б-1003 | Учебная аудитория: | доска аудиторная меловая, экран проекционный, проектор, документ камера, панель плазменная Panasonic, стационарные компьютеры 16 шт., пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |

| | | |
|----------------------|--|--|
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |
|----------------------|--|--|

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа обучающихся является формой организации образовательного процесса по дисциплине, стимулирующей активность, самостоятельность и познавательный интерес студентов.

Самостоятельная работа обучающихся предусматривает углубленное изучение разделов и тем дисциплины, основных и дополнительных источников учебной и научной литературы, подготовку докладов, выполнение курсовых работ.

Материалы докладов, курсовых работ в дальнейшем могут быть использованы при выполнении студенческих научных исследований и стать основой для подготовки выступлений на студенческих научно-практических конференциях, участия в конкурсах.

Самостоятельная работа направлена на поиск учебной и научной информации, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, на выработку умений и навыков рациональной организации своей деятельности.

Самостоятельная работа включает следующие виды деятельности:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку лекционных материалов (конспекты, презентации) и учебной литературы;
- поиск (подбор) и обзор научной и учебной литературы с использованием библиотечных и электронных образовательных ресурсов, источников информации в сети «Интернет» по изучаемой теме дисциплины;
- освоение материала, предусмотренного для самостоятельного изучения;
- подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- подготовка к экзамену.