

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Квантовая теория неравновесных процессов Б1.В.ОД.1

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Нигматуллин Р.Р. , Хамзин А.А.

**Рецензент(ы):**

Деминов Р.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6148517

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) Нигматуллин Р.Р. ; доцент, к.н. (доцент) Хамзин А.А. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Ajrat.Hamzin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Квантовая теория неравновесных процессов" являются изучение методов неравновесного статистического оператора (Д.Н. Зубарева) и метода Цванцига-Мори, позволяющие исследовать кинетические явления в сильно коррелированных системах.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ОД.1 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 1 курсе, 1 семестр.

Для освоения дисциплины необходимы знания из таких дисциплин как: математический анализ, дифференциальные уравнения, квантовая теория, термодинамика, квантовая теория твердых тел. Освоение этой дисциплины необходимо для изучения других магистерских дисциплин, связанных с физикой конденсированного состояния и неравновесных процессов (релаксация и переносы переноса), а также для успешной профессиональной деятельности.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                        | Расшифровка приобретаемой компетенции  |
|---|--|
| ОПК-6<br>(профессиональные компетенции) | способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

теоретические основы методов неравновесного статистического оператора Зубарева и Мори-Цванцига

2. должен уметь:

использовать полученные знания теоретических основ квантовой теории неравновесных процессов для построения кинетических уравнений, описывающих неравновесные процессы в квантовых многочастичных системах

3. должен владеть:

навыками вывода кинетических уравнений для модельных систем и их решения в рамках метода неравновесного статистического оператора

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 1 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю Тематический план дисциплины/модуля

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля  | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|----|--|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|    |  |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 1. | Тема 1.<br>Феноменологическая<br>термодинамика<br>необратимых<br>процессов     | 1       | 1-3                | 0   | 2                       | 3                      | Устный опрос              |
| 2. | Тема 2. Метод<br>неравновесного<br>статистического<br>оператора                | 1       | 4-9                | 0   | 4                       | 3                      | Письменная<br>работа      |
| 3. | Тема 3. Приложения<br>метода<br>неравновесного<br>статистического<br>оператора | 1       | 10-13              | 0   | 4                       | 3                      | Письменная<br>работа      |
| 4. | Тема 4. Метод<br>Мори-Цванцига   | 1       | 14-15              | 0   | 2                       | 3                      | Реферат<br>Презентация    |
|    | Тема . Итоговая<br>форма контроля  | 1       |                    | 0   | 0                       | 0                      | Экзамен                   |
|    | Итого  |         |                    | 0   | 12                      | 12                     |                           |

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов

###### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии и законы сохранения. Обобщенные потоки и обобщенные силы. Основные положения теории Онсагера. Принцип минимального производства энтропии. Диссипативные неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина. Способы описания сильно неравновесных систем.

###### *лабораторная работа (3 часа(ов)):*

Примеры применения теории Онсагера неравновесных процессов. Задачи на применение критерия Гленсдорфа-Пригожина. Устойчивость состояния сильно неравновесных систем.

##### Тема 2. Метод неравновесного статистического оператора

###### *практическое занятие (4 часа(ов)):*

Квазиравновесное распределение. Экстремальные свойства квазинеравновесного распределения и термодинамика квазиравновесного ансамбля. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора. Интегральные уравнения и теория возмущений для неравновесного статистического оператора. Линейные релаксационные уравнения в методе неравновесного статистического оператора.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Задачи к главе 1 пособия [2] основной литературы (стр. 41-42).

**Тема 3. Приложения метода неравновесного статистического оператора**

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Кинетические уравнения для изинговских магнетиков. Кинетическое уравнение для одночастичной матрицы плотности. Уравнения Блоха для полного магнитного момента.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Кинетика одномерного изинговского магнетика со спином  $S=1/2$ .

**Тема 4. Метод Мори-Цванцига**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Метод проекционных операторов Мори. Связь линейного варианта метода неравновесного статистического оператора и метода Мори. Основное кинетическое уравнение. Кинетическое уравнение Цванцига.

**лабораторная работа (3 часа(ов)):**

Использование проекционных операторов Мори для вычисления электропроводности.

#### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

| N  | Раздел Дисциплины  | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|--|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Тема 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов     | 1       | 1-3             | подготовка к устному опросу           | 10                     | устный опрос                          |
| 2. | Тема 2. Метод неравновесного статистического оператора             | 1       | 4-9             | подготовка к письменной работе        | 10                     | письменная работа                     |
| 3. | Тема 3. Приложения метода неравновесного статистического оператора | 1       | 10-13           | подготовка к письменной работе        | 10                     | письменная работа                     |
| 4. | Тема 4. Метод Мори-Цванцига  | 1       | 14-15           | подготовка к презентации              | 8                      | презентация                           |
|    |  |         |                 | подготовка к реферату                 | 10                     | реферат                               |
|    | Итого  |         |                 |                                       | 48                     |                                       |

#### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции, семинары, написание рефератов, презентации с использованием мультимедийного оборудования с последующим их обсуждением (по оригинальным статьям авторов, активно использующих рассматриваемые методы)

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов**

устный опрос , примерные вопросы:

Вопросы для устного опроса: 1. Принцип локального равновесия. 2. Основные положения теории Онсагера. 3. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина. 4. Статистический оператор. Квантовое уравнение Лиувилля. Максимальное количество баллов - 5.

### **Тема 2. Метод неравновесного статистического оператора**

письменная работа , примерные вопросы:

Вопросы для письменной работы: 1. Квазиравновесное распределение. Экстремальные свойства квазиравновесного распределения и термодинамика квазиравновесного ансамбля. 2. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора. 3. Интегральные уравнения для неравновесного статистического оператора. 4. Линейные релаксационные уравнения в методе неравновесного статистического оператора. Максимальное количество баллов - 5.

### **Тема 3. Приложения метода неравновесного статистического оператора**

письменная работа , примерные вопросы:

Вопросы для письменной работы: 1. Кинетические уравнения для изинговских магнетиков. 2. Кинетическое уравнение для одночастичной матрицы плотности. 3. Уравнения Блоха для полного магнитного момента. Максимальное количество баллов - 10.

### **Тема 4. Метод Мори-Цванцига**

презентация , примерные вопросы:

Каждый студент обязан разобрать научную статью, связанную с применением метода НСО, составить по ней реферат и подготовить презентацию. Оригинальные статьи написаны преподавателями кафедры теоретической физики и лекторами, читающими этот курс. Регламент выступления с презентацией по материалам реферата с использованием мультимедийной техники - 20 минут. Примерные темы рефератов см. ниже.

реферат , примерные темы:

Примерные темы рефератов: 1. Релаксация упорядоченного импульса электронов. 2. Релаксация температуры в двухтемпературной системе. 3. Спиновая намагниченность электронов проводимости. Реферат оформляется в письменной форме с подробным выводом всех формул. Максимальное количество баллов - 30.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Регламент БРС:

Устный опрос - 5 баллов

Письменная работа по разделу 2 - 5 баллов

Письменная работа по разделу 3 - 10 баллов

Реферат и презентация по его материалам - 30 баллов

Экзамен - 50 баллов

Вопросы к экзамену:

1. Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии и законы сохранения.
2. Обобщенные потоки и обобщенные силы.
3. Основные положения теории Онсагера. Принцип минимального производства энтропии.
4. Диссипативные неравновесные структуры. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина.
5. Способы описания сильно неравновесных систем.

6. Квазиравновесное распределение. Экстремальные свойства квазинеравновесного распределения и термодинамика квазиравновесного ансамбля.
7. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора.
8. Интегральные уравнения и теория возмущений для неравновесного статистического оператора.
9. Линейные релаксационные уравнения в методе неравновесного статистического оператора.
10. Кинетические уравнения для изинговских магнетиков. Кинетическое уравнение для одночастичной матрицы плотности.
11. Уравнения Блоха для полного магнитного момента.
12. Метод проекционных операторов Мори.
13. Связь линейного варианта метода неравновесного статистического оператора и метода Мори.
14. Основное кинетическое уравнение. Кинетическое уравнение Цванцига.

### 7.1. Основная литература:

1. Еремин, М. В. Микроскопические модели в конденсированных средах/ М. В. Еремин, Учебное пособие. - Казань: Изд. КГУ, 2011, - 113с.  
[http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin\\_Posobie\\_2011.doc](http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin_Posobie_2011.doc)
2. Хамзин А.А., Нигматуллин Р.Р. Метод неравновесного статистического оператора и его приложения к кинетике изинговских магнетиков. - Казань: Изд-во Казанского Университета, 2011. - 87 с. [http://kpfu.ru/portal/docs/F726314524/nonequilibrium\\_statistical\\_operator.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F726314524/nonequilibrium_statistical_operator.pdf)
3. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. М.: Физматлит, 2011. - 136 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2672/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Квасников, И. А Введение в теорию электропроводности и сверхпроводимости / И. А. Квасников.- Москва: URSS: [ЛИБРОКОМ, 2010] .- 212 с.: ил.
2. Квасников, И. А. Квантовая статистика / И.А. Квасников.- М.: URSS: [КРАСАНД, 2011].-569

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- Биккин Х.М., Ляпилин И.И. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. - Екатеринбург: УрО РАН, 2009. - 500 с. -  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/BikkinLyapilin2009ru.pdf>
- методические материалы кафедры ТФ - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8205](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=8205)
- Мир математических уравнений EqWorld - <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>
- Новая электронная библиотека newlibrary.ru -  
[http://www.newlibrary.ru/genre/nauka/fizika/termodinamika\\_\\_statisticheskaja\\_fizika/](http://www.newlibrary.ru/genre/nauka/fizika/termodinamika__statisticheskaja_fizika/)
- ЭБС КнигаФонд. - <http://www.knigafund.ru>
- ЭОР на [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com). - [http://www.twirpx.com/files/#category\\_42](http://www.twirpx.com/files/#category_42)



## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Квантовая теория неравновесных процессов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика .

Автор(ы):

Нигматуллин Р.Р. \_\_\_\_\_

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.