

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 статистика БЗ.ДВ.1

Направление подготовки: 011200.62 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

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 6116717

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

Целями освоения дисциплины "Квантовая статистика" являются: освоение аппарата двухвременных температурных функций Грина для расчета временных корреляционных функций и приобретение навыков его применения для расчета равновесных средних в различных проблемах физики конденсированного состояния.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.1 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина (Б3.ДВ.1) входит в вариативную часть профессионального цикла (Б.3). Для освоения дисциплины необходимы знания следующих базовых дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, классическая и квантовая механика, термодинамика и статистическая физика. Освоение дисциплины будет способствовать успешному овладению современными методами расчета термодинамических свойств систем квантовых частиц. Овладение этими методами позволит в дальнейшем успешно изучать курсы общенаучного и профессионального циклов основной образовательной программы магистратуры

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью к самоорганизации и самообразованию
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК-4 (профессиональные компетенции)	готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

как и при каких условиях можно описать различные квантовые структуры с помощью методов Грина.

Знать как применяется метод функций Грина для расчета физических характеристик базовых моделей физики конденсированного состояния.

Знать основные расщепления, которые применяются при расчете бесконечной системы зацепляющихся уравнений методами функций Грина

2. должен уметь:

составлять простейшие модели, которые могут быть описаны методами функций Грина.

3. должен владеть:

навыками расчета и способами описания различных квантовых структур.

4. должен продемонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 8 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 Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Формализм функций Грина	8	1-2	4	4	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Применение аппарата функций Грина к точно решаемым моделям	8	3-4	4	4	0	
3.	Тема 3. Применение метода функций Грина к модели Гейзенберга	8	5-7	6	6	0	
4.	Тема 4. Ферромагнитные переходные металлы в спин-волновом приближении. Локализованные магнитные моменты в металлах.	8	8-11	8	8	0	
5.	Тема 5. Применение метода функций Грина к модели Хаббарда	8	12-15	8	8	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен
	Итого			30	30	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Формализм функций Грина

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

Корреляционные функции и их спектральное представление. Определение функций Грина и их спектральное представление. Соотношения между спектральными представлениями для запаздывающих функций Грина и корреляционными функциями. Дисперсионные соотношения для функций Грина. Уравнение движения для функций Грина. Теория возмущений для функций Грина.

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

Вывод формул (1.13), (1.14), (1.29), (1.42), (1.46) для опережающих и причинных функций Грина из [2] основной литературы

##### Тема 2. Применение аппарата функций Грина к точно решаемым моделям

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

Равновесные распределения для идеальных квантовых газов. Система взаимодействующих бозонов двух типов. Среднее значение z-компоненты полного спина системы невзаимодействующих спинов  $S=1/2$  во внешнем магнитном поле.

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

Решение задач раздела 2 пособия [2] основной литературы (стр. 29-30).

##### Тема 3. Применение метода функций Грина к модели Гейзенберга

###### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Гейзенберговский ферромагнетик в приближении молекулярного поля: уравнение для спонтанной намагниченности, температура перехода, температурная зависимость намагниченности. Гейзенберговский ферромагнетик в приближении случайных фаз: спектр возбуждений, уравнение для спонтанной намагниченности, температура перехода, температурная зависимость намагниченности при низких температурах и вблизи фазового перехода.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач раздела 3 пособия [2] основной литературы (стр. 37, 45).

**Тема 4. Ферромагнитные переходные металлы в спин-волновом приближении. Локализованные магнитные моменты в металлах.**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Гамильтониан электронной системы в переходных металлах. Спин-волновое приближение. Функции распределения для электронов проводимости и магнонов в первом порядке теории возмущения. Энергия электронов проводимости во втором порядке теории возмущения. Гамильтониан Андерсона и уравнения для функций Грина. Самосогласованные уравнения для чисел заполнения в d-узлах. Критерий формирования магнитного момента. Анализ линии перехода из немагнитного в магнитное состояние.

**практическое занятие (8 часа(ов)):**

Вывод формул (4.37), (4.38), (4.40), (4.51), (4.53) и решение задач раздела 5 пособия [2] основной литературы (стр. 64).

**Тема 5. Применение метода функций Грина к модели Хаббарда**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Гамильтониан модели Хаббарда и уравнения движения для функций Грина. Модель Хаббарда в атомном пределе. Модель Хаббарда в приближении Хартри-Фока. Переход металл-изолятор.

**практическое занятие (8 часа(ов)):**

Вывод формул (6.7), (6.11), (6.20), (6.49), (6.56), (6.70) пособия [2] основной литературы

**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. Формализм функций Грина	8	1-2	подготовка к письменному опросу	8	письменный опрос
2.	Тема 2. Применение аппарата функций Грина к точно решаемым моделям	8	3-4	подготовка к письменному опросу	8	письменный опрос
3.	Тема 3. Применение метода функций Грина к модели Гейзенберга	8	5-7	подготовка к письменному опросу	8	письменный опрос
4.	Тема 4. Ферромагнитные переходные металлы в спин-волновом приближении. Локализованные магнитные моменты в металлах.	8	8-11	подготовка реферата	12	проверка хода работы над рефератом



N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Применение метода функций Грина к модели Хаббарда	8	12-15	подготовка реферата	12	проверка реферата и оценка доклада по материалам реферата
	Итого				48	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Виды учебной работы: лекции, практические занятия, написание рефератов и их обсуждения по итогам самостоятельной работы. Для написания полноценного реферата, предполагается изучение оригинальных статей авторов, активно работающих в этом направлении науки.

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

### Тема 1. Формализм функций Грина

письменный опрос , примерные вопросы:

Вопросы для письменного опроса: 1. Спектральное представление для корреляционных функций. 2. Определение функций Грина. 3. Связь между спектральными представлениями функций Грина и корреляционных функций. 4. Дисперсионные соотношения для функций Грина. 5. Уравнение движения для функций Грина. Максимальное количество баллов - 5.

### Тема 2. Применение аппарата функций Грина к точно решаемым моделям

письменный опрос , примерные вопросы:

Вопросы для письменного опроса: 1. Линейная реакция системы (случай квантовой статистики). 2. Дисперсионные соотношения и соотношения взаимности Онсагера для обобщенной восприимчивости. 3. Флуктуационно-диссипационная теорема для обобщенной восприимчивости. 4. Линейные соотношения между потоками и силами. Кинетические коэффициенты и их свойства. Литература: [2] из основной литературы. Максимальное количество баллов - 5.

### Тема 3. Применение метода функций Грина к модели Гейзенберга

письменный опрос , примерные вопросы:

Вопросы для письменного опроса: 1. Модель Гейзенберга. Спиновые волны. 2. Теория образования момента Андерсона. 3. Эффект Кондо. Максимальное количество баллов - 5.

### Тема 4. Ферромагнитные переходные металлы в спин-волновом приближении. Локализованные магнитные моменты в металлах.

проверка хода работы над рефератом , примерные темы:

Примерные темы рефератов: 1. Магнетизм сильно коррелированных электронных систем ( $t$ - $J$  модель). 2. Применение метода функций Грина к проблеме сверхпроводимости. 3. Применение метода функций Грина к проблеме Кондо. 4. Энергия проводящих электронов во втором порядке теории возмущений. 5. Рассмотрение  $t$ - $J$  модели в рамках теории возмущений Боголюбова Тябликова. 6. Приближение Хаббарда в  $t$ - $J$  модели. 7. Ферромагнетизм  $t$ - $J$  модели. Максимальное количество баллов - 15.

### Тема 5. Применение метода функций Грина к модели Хаббарда

проверка реферата и оценка доклада по материалам реферата , примерные темы:

Оформление реферата в письменном виде. Подробный вывод всех формул. Доклад с использованием доски или мультимедийной техники, регламент - 20 минут. Максимальное количество баллов - 20.

### Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Вопросы к экзамену:

1. Корреляционные функции и их спектральное представление.
2. Определение функций Грина и их спектральное представление.
3. Соотношения между спектральными представлениями для запаздывающих функций Грина и корреляционными функциями.
4. Дисперсионные соотношения для функций Грина.
5. Уравнение движения для функций Грина.
6. Теория возмущений для функций Грина.
7. Равновесные распределения для идеальных квантовых газов.
8. Система взаимодействующих бозонов двух типов.
9. Среднее значение z-компоненты полного спина системы невзаимодействующих спинов  $S=1/2$  во внешнем магнитном поле.
10. Гейзенберговский ферромагнетик в приближении молекулярного поля.
11. Гейзенберговский ферромагнетик в приближении случайных фаз.
12. Гамильтониан электронной системы в переходных металлах. Спин-волновое приближение.
13. Функции распределения для электронов проводимости и магнонов в первом порядке теории возмущения.
14. Энергия электронов проводимости во втором порядке теории возмущения.
15. Гамильтониан Андерсона и уравнения для функций Грина.
16. Самосогласованные уравнения для чисел заполнения в d-узлах. Критерий формирования магнитного момента.
17. Гамильтониан модели Хаббарда и уравнения движения для функций Грина.
18. Модель Хаббарда в атомном пределе. Модель Хаббарда в приближении Хартри-Фока.
19. Переход металл-изолятор.

### 7.1. Основная литература:

1. Аминов, Л.К. Термодинамика и статистическая физика: конспекты лекций и задачи : для студентов физического факультета / Л.К. Аминов; Казан. гос. ун-т, Физ. фак.-Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2008.-179 с.
2. Тагиров Л.Р. Кочелаев Б.И. Деминов Р.Г. Усеинов Н. Х. Applications of double-time thermodynamic Green functions to solid state physics. Конспект лекций.- Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012.-101 с.  
[http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application\\_of\\_Green\\_functions.pdf](http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application_of_Green_functions.pdf)
3. Кашурников В.А., Красавин А.В. Численные методы квантовой статистики. М. Физматлит. 2010. - 628 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2197/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Лифшиц Е. М. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах Т. 9: Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .- Издание 4-е, исправленное .- Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004 .- 496 с.
2. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. М.: Физматлит, 2011. - 136 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2672/>



### 7.3. Интернет-ресурсы:

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 Знаниум - <http://znaniум.com>  
ЭБС Издательства Лань - <http://lanbook.com/ebs.php>  
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 статистика " 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.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

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.

Учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Нигматуллин Р.Р. \_\_\_\_\_

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.