

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



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Теория сильно-коррелированных систем M2.ДВ.6

Направление подготовки: 011200.68 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Белов С.И.

**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 652214

Казань

2014

## 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) доцент, к.н. Белов С.И. Кафедра теоретической физики Отделение физики, Sergei.Belov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Теория сильнокоррелированных систем" является изучение основных методов, используемых в теоретическом исследовании систем с сильным взаимодействием.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "М2.ДВ.6 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.68 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория твердого тела, теория некристаллических сред, методы квантовой теории поля в статистической физике. Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплин, связанных с физикой конденсированного состояния (в частности, с физикой низкоразмерных систем), и 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
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способность демонстрировать углублённые знания в области математики и естественных наук;
ОК-5 (общекультурные компетенции)	способность порождать новые идеи (креативность)
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой)
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки)

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основы теории систем с сильным взаимодействием.

2. должен уметь:

использовать знание основных методов теории при анализе различных эффектов, связанных с сильным взаимодействием.

3. должен владеть:

навыками решения простейших задач на вычисление микроскопических и макроскопических характеристик твердых тел.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 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. Модель Хаббарда.	3	1-3	2	2	0	устный опрос
2.	Тема 2. Двумерный гейзенберговский магнетик.	3	4-5	2	2	0	устный опрос
3.	Тема 3. Магнитные свойства двумерных гейзенберговских магнетиков со скирмионами.	3	5-7	2	2	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Фрустрированные двумерные антиферромагнетики.	3	7-9	2	2	0	устный опрос
5.	Тема 5. Интегралы по траекториям для спиновых систем.	3	10-13	6	4	0	контрольная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			14	12	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Модель Хаббарда.

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

Формулировка модели. Приближение самосогласованного поля. T-J модель.

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

Приближение хаотических фаз. Недостатки теории среднего поля и хаотических фаз.

##### Тема 2. Двумерный гейзенберговский магнетик.

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

Нелинейная сигма модель. Линейная цепочка.

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

Двумерная решетка. Ренормгрупповой анализ.

##### Тема 3. Магнитные свойства двумерных гейзенберговских магнетиков со скирмионами.

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

Элементарные спиновые возбуждения над неоднородным скирмионным состоянием.

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

Локальный параметр порядка. Длина когерентности. Спиновая восприимчивость.

##### Тема 4. Фрустрированные двумерные антиферромагнетики.

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

Гипотеза о состоянии с резонирующими валентными связями. Спиноны и голоны.

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

Приближение среднего поля.

##### Тема 5. Интегралы по траекториям для спиновых систем.

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

Представление статистической суммы функциональным интегралом. Действие для одномерной антиферромагнитной цепочки.

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

Получение действия для двумерной квадратной антиферромагнитной решётки на основе формализма интегрирования по траекториям.

#### 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
N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Модель Хаббарда.	3	1-3	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
2.	Тема 2. Двумерный гейзенберговский магнетик.	3	4-5	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
3.	Тема 3. Магнитные свойства двумерных гейзенберговских магнетиков со скирмионами.	3	5-7	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
4.	Тема 4. Фрустрированные двумерные антиферромагнетики.	3	7-9	подготовка к устному опросу	8	устный опрос
5.	Тема 5. Интегралы по траекториям для спиновых систем.	3	10-13	подготовка к контрольной работе	14	контрольная работа
Итого				46	46	
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения						
Курсы лекций и семинарских занятий, организованные по стандартной технологии.						

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

### Тема 1. Модель Хаббарда.

устный опрос , примерные вопросы:

Гамильтониан в модели Хаббарда. Случай слабого кулоновского отталкивания. Случай сильного кулоновского отталкивания. Узельное представление. Основания метода самосогласованного поля.

### Тема 2. Двумерный гейзенберговский магнетик.

устный опрос , примерные вопросы:

Фундаментальное различие в поведении одномерных гейзенберговских антиферромагнетиков с целым и полуцелым спином. Двумерная квадратная решетка: нетривиальная фиксированная точка, квантовый разупорядоченный режим, квантовый критический режим.

### Тема 3. Магнитные свойства двумерных гейзенберговских магнетиков со скирмионами.

устный опрос , примерные вопросы:

Классическая сигма-модель. Вихри и антивихри. Топологический заряд. Топологический заряд системы скирмионов.

### Тема 4. Фрустрированные двумерные антиферромагнетики.

устный опрос , примерные вопросы:

Фрустрированные системы. Понятие резонирующих валентных связей. Гамильтониан Хаббарда вблизи половинного заполнения зоны в приближении сильного кулоновского отталкивания.

### Тема 5. Интегралы по траекториям для спиновых систем.

контрольная работа , примерные вопросы:

Примеры заданий контрольной работы: 1. Написать уравнение самосогласованного поля для модели Хаббарда. 2. Получить эффективное действие для двумерной квадратной антиферромагнитной решетки. 3. Найти спектр элементарных возбуждений над неоднородным скирмионным состоянием. 4. Найти корреляционную длину для двумерного гейзенберговского антиферромагнетика в нелинейной сигма-модели.

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

Примерные вопросы к зачету:

Регламент БРС:

Устные опросы - 20 баллов

Контрольная работа - 30 баллов

Зачет - 50 баллов

Вопросы к зачету.

1. Модель Хаббарда. Приближение самосогласованного поля.
2. Приближение хаотических фаз.
3. Нелинейная сигма модель. Линейная антиферромагнитная цепочка.
4. Двумерная решетка. Ренормгрупповой анализ: нетривиальная фиксированная точка, квантовый разупорядоченный режим, квантовый критический режим.
5. Классическая сигма-модель. Вихри и антивихри. Скирмионы. Топологический заряд.
6. Локальный параметр порядка. Длина когерентности. Спиновая восприимчивость.
7. Фрустрированные двумерные антиферромагнетики. Спиноны и голоны. Приближение среднего поля.
8. Представление статистической суммы функциональным интегралом. Действие для одномерной антиферромагнитной цепочки.
9. Получение действия для двумерной квадратной антиферромагнитной решётки на основе формализма интегрирования по траекториям.

Компетенции обучающегося, перечисленные в разделе 3 данной программы, приобретаются посредством разбора и проработки лекционного материала, посредством работы во время аудиторных занятий и посредством самостоятельной работы, предусмотренных учебным планом.

#### **7.1. Основная литература:**

1. Кочелаев Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев; Казан. федер. ун-т, Ин-т физики, Каф теорет. физики. - [2-е изд., перераб., доп. и испр.] - Казань: [Казанский университет], 2013. - 222 с.
2. Петров, Ю.В. Основы физики конденсированного состояния: [учебное пособие] / Ю. В. Петров. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 213 с.
3. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела: учебное пособие / Г. И. Епифанов. ? Издание 4-е, стереотипное. ? Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2011 .? 288 с. : ил.

#### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Тагиров Л.Р., Кочелаев Б.И., Дёминов Р.Г., Усеинов Н.Х. Приложения двухвременных термодинамических функций Грина в физике твердого тела (Конспект лекций на английском языке). - Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. - 101с. [Электронный ресурс] [http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application\\_of\\_Green\\_functions.pdf](http://kpfu.ru/docs/F237569143/Application_of_Green_functions.pdf)
2. Еремин, М.В. Микроскопические модели в конденсированных средах // Учебное пособие. - Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2011. - 113с. [http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin\\_Posobie\\_2011.doc](http://kpfu.ru/docs/F1043614157/Eremin_Posobie_2011.doc)

#### **7.3. Интернет-ресурсы:**



Библиотека Library Genesis - <http://gen.lib.rus.ec>

Методические материалы кафедры теоретической физики КФУ -  
[http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8205](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=8205)

Образовательный проект А.Н. Варгина - <http://www.ph4s.ru>

Поисковик электронных книг - <http://www.poiskknig.ru>

Сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского - <http://kpfu.ru/library>

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

Освоение дисциплины "Теория сильно-коррелированных систем" 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 "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 других аудиторных занятий с наличием больших досок для письма мелом или маркером.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.68 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика .



Автор(ы):

Белов С.И. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.