

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. Л. Д. Ландау  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН,  
член-корреспондент РАН

**В. В. Лебедев**

**« 25 » декабря 2015 г.**



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ Б1.В.ОД.3  
«Статистическая физика»**

По направлению подготовки: 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

По направленности подготовки: 01.04.02 – «Теоретическая физика»

Уровень образования: Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения – очная

Принята на заседании Ученого  
совета ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН  
« 25 » декабря 2015 г.,  
Протокол № 33

Черноголовка 2015

Рабочая программа обязательной дисциплины «Статистическая физика» (Б1.В.ОД.3) для основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО) подготовки кадров высшей квалификации по направлению подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ по направленности (наименование) подготовки 01.04.02 теоретическая физика составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования «Подготовка кадров высшей квалификации» по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (ФГОС ВО), утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №867 от 30.07.2014 с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г.
2. Паспорт научной специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика» разработанный экспертами ВАК Минобрнауки РФ в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25.02.2009 г. № 59.
3. Программа-минимум кандидатских экзаменов по специальностям 01.04.02 — «Теоретическая физика» и 01.04.07 — «Физика конденсированного состояния» с учетом особенностей сложившейся в ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН научной школы.

Составитель программы:

д.ф.-м.н., профессор



И. В. Колоколов

«Согласовано»:

Зам. директора ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН  
по науке, д.ф.-м.н., профессор



И. В. Колоколов

Зав. аспирантурой, к.ф.-м.н., н.с.



С. С. Вергелес

НЕ ДЛЯ КОПИРОВАНИЯ

## 1. Паспорт научной специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика»

Шифр специальности:

01.04.02 Теоретическая физика

Формула специальности:

Теоретическая физика – область физики, занимающаяся математической формулировкой закономерностей физических явлений, наблюдаемых экспериментально. Теоретическая физика является единой наукой, внутренние связи в которой устанавливаются путем аналитических вычислений или численных расчетов и сравнением с экспериментальными данными. Ее фактическое содержание связано со всем историческим развитием физики. Целью исследований в области теоретической физики является наиболее полное описание фундаментальных физических законов.

Области исследований:

1. Теория конденсированного состояния классических и квантовых, макроскопических и микроскопических систем. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика и кинетическая теория равновесных и неравновесных систем.
2. Общая теория относительности и релятивистская астрофизика. Физические свойства материи и пространства-времени во Вселенной. Классическая и квантовая космология и гравитация.
3. Теория фундаментальных взаимодействий и квантовая теория поля. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Разработка математических методов теории поля.
4. Общие вопросы квантовой механики: основы, теория измерений, общая теория рассеяния. Квантовая теория физических явлений в ядрах, атомах и молекулах.
5. Разработка теории мезоскопических систем. Квантовая теория информации и квантовые вычисления.
6. Развитие теории и исследования общих свойств и закономерностей нелинейной динамики сильно неравновесных систем. Разработка теории хаоса и турбулентности.

Отрасль наук:

физико-математические науки (за исследования, поименованные в пунктах 1-6)

## 2. Цель и задачи освоения дисциплины

**Целью** изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики, способных вести научно-исследовательскую работу, самостоятельно ставить и решать актуальные научные и практические задачи.

**Задачи** дисциплины включают формирование у аспирантов системы знаний и основных понятий по современной теории калибровочных полей и развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике.

## 3 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Дисциплина «Статистическая физика» (Б1.В.ОД.3) относится к обязательным дисциплинам вариативной части Блока 1 «Дисциплины» основной профессиональной образовательной программы аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 физика и астрономия по направленности (наименование) подготовки 01.04.02 теоретическая физика.

Программа курс состоит из четырех частей, охватывающих следующие темы современной статистической физики: статистика случайных процессов, неравновесные процессы, метод трансфер-матрицы в статистической механике, методы теории одномерных квантовых систем.

## 4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общепрофессиональные компетенции:	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
Универсальные компетенции:	
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Профессиональные компетенции	
ПК-А	способностью самостоятельно выделять различные физические механизмы в физическом феномене, подбирать адекватные модели для описания этих механизмов (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-В	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов теоретической физики, в том числе микроскопическое и феноменологическое описание, теорию возмущений и диаграммный методы (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Г	способностью применять различные математические методы, такие как ТФКП, решение дифференциальных уравнений, применение теории групп, диаграммная техника, при исследовании математических уравнений
ПК-Д	готовность сотрудничать с экспериментальными группами по планированию физических экспериментов и анализу полученных экспериментальных данных, способностью выделять в экспериментальной ситуации отдельные физические феномены и составлять адекватную математическую модель, описывающую эти феномены (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Е	готовность к дальнейшему самообразованию и расширению компетенции, способностью локализовать общие принципы теоретической физики для нового физического феномена (в соответствии с профилем подготовки)

**В результате освоения дисциплины обучающиеся должны**

**знать:**

- основополагающие сведения по современной статистической физике, в частности:
- методы теории случайных процессов;
- критическую динамику, динамику пассивного скаляра;
- метод трансфер-матриц;
- методы теории низкоразмерных систем: переход Костерлица, модель Тирринга, анзац Бете, спиновая цепочка Гейзенберга, эффект Кондо.

**уметь:**

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать корректные выводы из сопоставления теоретических и экспериментальных результатов;

- выделять минимально достаточную систему параметров при описании реальных физических процессов;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области и теоретические модели;
- пользоваться современным математическим аппаратом при решении задач;
- эффективно использовать ИТ-технологии и компьютерную технику;

**владеть:**

- навыками построения минимальной модели, которая описывает интересующие свойства изучаемого физического явления;
- навыками использования двух подходов: феноменологического, основывающегося на симметричных свойствах физического объекта, и микроскопического, основывающегося на свойствах и уравнениях движения микрочастиц, составляющих физическую систему;

**5. Объем дисциплины, виды учебной работы и форма отчетности**

Вид учебной работы	Часов	ЗЕТ
Общая трудоемкость дисциплины	108	3
Аудиторные занятия:	42	1.17
лекции	42	1.17
Самостоятельная работа	59	1.64
Контроль	7	0.19

Форма отчетности: зачет с оценкой.

**6. Содержание и структура дисциплины**

**6.1. Учебный план по дисциплине**

№	Название тем	Количество часов				Всего
		лек.	семинары	СР	К	
1.	Статистика случайных процессов	5	-	10-	1	16
2.	Неравновесные процессы	10	-	14	2	26
3.	Метод трансфер-матрицы в статистической механике	10	-	15	2	27

4.	Методы теории одномерных квантовых систем	17	-	20-	2	39
	Итого часов:	42	-	59	7	108

Самостоятельная работа заключается в разборе задач и упражнений по курсу.

## **6.2. Содержание лекционного курса**

### **Часть 1. Статистика случайных процессов**

1. Уравнение Ланжевена для диссипативной динамики
2. Уравнение Фоккера-Планка, равновесное и стационарное распределения
3. Диффузия и интеграл по траекториям
4. Производящий функционал для решений уравнения Ланжевена

### **Часть 2. Неравновесные процессы**

5. Критическая динамика
6. Проблема KPZ (Kardar-Parisi-Zhang)
- 7-8. Двумерная гидродинамика
- 9-10. Теория пассивного скаляра

### **Часть 3. Метод трансфер-матрицы в статистической механике**

11. Статистическая механика одномерных систем и систем на решетке Бете
12. Задача о полубесконечной полосе
13. Метод трансфер-матрицы
14. Модели Изинга и Поттса
15. Модель протекания
16. Сопротивление решетки случайных сопротивлений

### **Часть 4. Методы теории одномерных квантовых систем**

17.  $O(2)$ -модель и переход Костерлица–Таулеса.



Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ. Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон. Переход плазма–газ. Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода.

#### 18. Бозонизация модели Тирринга

Представление фермионов через бозонные поля (бозонизация). Сокращение расходящихся частей в лагранжиане и точная связь между константами связи.

#### 19. $O(3)$ -модель: генерация массы инстантонами.

Топологические свойства  $O(3)$ -модели, топологически нетривиальные решения в евклидовой плоскости. Качественное описание генерации массы инстантонами.

#### 20. $O(N)$ -модель: $1/N$ -разложение

Теория возмущений по  $1/N$  для  $O(N)$ -модели. Генерация массы. Кинематические условия рассеяния и вычисление  $S$ -матрицы по теории возмущений.

#### 21. $O(N)$ -модель: интегрируемость и точная $S$ -матрица

Высшие интегралы движения и факторизация  $S$ -матриц. Уравнение Янга–Бакстера. Вычисление  $S$ -матрицы  $O(N)$ -модели из условий факторизации и пертурбативного результата.

#### 22. Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете

Псевдовакуум и волновые функции модели Тирринга в анзатце Бете. Уравнения Бете и их термодинамический предел. Спектр и  $S$ -матрица модели.

#### 23. Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел

$XYZ$ -модель. Преобразование Йордана–Вигнера и  $XY$ -модель. Скейлинговый предел и связь с моделью Тирринга/ $\sin$ -Гордона.

#### 24. Уравнение Янга–Бакстера и анзатц Бете

$XXZ$ -модель и шестивершинная модель. Уравнение Янга–Бакстера и коммутирующие трансфер-матрицы. Координатный анзатц Бете

#### 25. Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете

Псевдовакуум и собственные состояния в рамках алгебраического анзатца Бете. Уравнения Бете и их решение в термодинамическом пределе. Вычисление свободной энергии шестивершинной модели.

#### 26. Задача Кондо: вывод анзатца Бете

Эффект Кондо. Приведение задачи к одномерной. Первичный и вторичный анзатц Бете. Система уравнений Бете для задачи Кондо.

#### 27. Задача Кондо: решение уравнений Бете

Основное состояние в нулевом магнитном поле. Обсуждение вывода формулы для намагниченности для системы во внешнем магнитном поле. Краткое обсуждение случая конечной температуры.

## **7. Самостоятельная работа аспирантов**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется собеседованием. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

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

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины совпадают с пунктами содержания лекционного курса.

### **8.1. Пример экзаменационного билета**

1. . Статистическая механика одномерных систем и систем на решетке Бете
2.  $O(2)$ -модель и переход Костерлица–Таулеса.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

### **9.1. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

1. Р. Фейнман, "Статистическая механика", М. 2000.
2. Р. Рихтмайер, Принципы современной математической физики, т. 1,2, М., Мир, 1982.
3. И.В. Колоколов, Е.А.Кузнецов, А.И.Мильштейн, Е.В.Подивилов, А.И.Черных, Д.А.Шапиро, Е.Г.Шапиро. Задачи по математическим методам физики. Эдиториал УРСС, Москва, 2009.
4. Березинский В.Л. Низкотемпературные свойства двумерных систем. М.: Физматлит, 2007.
5. А. М. Поляков, Калибровочные поля и струны, Черноголовка, ИТФ им. Л. Д. Ландау, 1995
6. А. М. Цвелик, Квантовая теория поля в теории конденсированного состояния, М., «Физматлит», 2002.
8. Р. Бэкстер, Точно решаемые модели в статистической механике, М. «Мир», 1985.

### **8.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

См. список литературы

### **8.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

On-line доступ к журналам «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Письма в ЖЭТФ», к журналам: Physical Review Journals Published by the American Physical Society, к некоторым публикациям издательств Elsevier и Springer/Nature Publishing Group (из подписки ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН).

### **8.5. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

аудиторный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН;  
ноутбук, мультимедиа-проектор, экран;  
рабочее место с выходом в Интернет;  
библиотечный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН