

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

ОДОБРЕНО
на заседании Ученого совета
ТОИ ДВО РАН, протокол № 12
« 21 » ноября 2019 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОИ ДВО РАН
В.Б. Лобанов
« 02 » декабря 2019 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)
«СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ»

Направление подготовки
03.06.01 **Физика и астрономия (Теоретическая физика)**
Форма подготовки – **очная**

Курс 2, семестры 3, 4
Лекции 54 час.
Практические занятия 36 час.
Лабораторные работы
Всего часов аудиторной нагрузки 90 час.
Самостоятельная работа 18 час.
Контрольные работы (количество)
Курсовая работа/курсовой проект
Зачет 4 семестр
Экзамен

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета ТОИ ДВО РАН, протокол № 12 от «21» ноября 2019 г.

Ученый секретарь
к.г.н.



Н.И. Савельева

Составитель: д.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории нелинейных динамических систем
Д.В. Макаров

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Статистические методы в естественных науках» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Теоретическая физика» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867, учебный план подготовки аспирантов по профилю «Теоретическая физика».

Цель – подготовить аспирантов к научно-исследовательской деятельности по профилю теоретическая физика, к защите научно-квалификационной работы (диссертации) и преподаванию в учреждениях высшего профессионального образования.

Задачи

- систематизировать знания основных законов теории вероятностей, применимых в естественных науках;
- сформировать представление о стохастических процессах в квантовой и волновой физике;
- на основании теоретической и практической подготовки аспирантов сформировать навыки к самостоятельной научной и педагогической деятельности.

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины:

Универсальные компетенции:

Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2).

Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

Общепрофессиональные компетенции:

Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области физики и астрономии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

Профессиональные компетенции:

Способность обобщать и использовать результаты научных исследований для решения практических задач (ПК-6).

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения.

Знать:

– свойства основополагающих случайных процессов (винеровский процесс, пуассоновский процесс, телеграфный процесс, одномерный и двумерный процессы Орнштейна-Уленбека);

– основные условия возникновения хаотического поведения в детерминированных динамических системах;

– современное состояние теории случайных и хаотических динамических процессов.

Уметь:

– построить уравнение Фоккера-Планка для конкретного диффузионного процесса;

– численно решать стохастические дифференциальные уравнения.

Владеть:

- навыками статистической обработки численных данных;
- широким спектром аналитических и численных методов для статистического моделирования случайных процессов.

Интерактивные формы обучения составляют 90 часов и включают в себя 54 часа лекционных занятий (лекция-визуализация), 36 часов практических занятий.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия – 54 часа.

МОДУЛЬ 1. Основы статистического описания динамических систем (16 ч).

Тема 1. Понятия теории вероятностей (4 ч).

События и множества событий. Совместные и условные вероятности. Статистическая независимость. Средние значения и плотности вероятности. Моменты и корреляции. Характеристическая функция. Гауссово и пуассоновское распределения вероятностей.

Тема 2. Методы статистического анализа данных (2 ч).

Корреляционные и регрессионные методы. Спектральный анализ. Вейвлет-анализ. Методы проверки гипотез. Разложение по эмпирическим ортогональным функциям. Оценка погрешностей.

Тема 3. Марковские процессы (2 ч).

Определение марковского процесса. Уравнение Чепмена-Колмогорова. Скачкообразные процессы. Винеровский процесс. Одномерные случайные блуждания. Пуассоновский процесс. Цветные шумы. Процесс Орнштейна-Уленбека. Случайный телеграфный процесс.

Тема 4. Стохастические дифференциальные уравнения (2 ч).

Уравнение Ланжевена. Определения стохастического интеграла по Ито и Стратоновичу. Стохастические дифференциальные уравнения Ито и Стратоновича. Методы численного решения стохастических дифференциальных уравнений.

Тема 5. Уравнение Фоккера-Планка (2 ч).

Вывод уравнения Фоккера-Планка. Граничные условия. Стационарные решения. Метод собственных функций. Детальный баланс.

Тема 6. Немарковские случайные процессы (4 ч).

Общие свойства. Метод замены переменной. Вывод уравнения Фоккера-Планка для немарковского процесса. Аномальная диффузия.

Полеты Леви. Фрактальная кинетика и уравнение Фоккера-Планка в дробных производных.

МОДУЛЬ 2. Статистическое моделирование хаотических динамических систем (10 ч).

Тема 7. Анализ устойчивости (2 ч).

Фазовое пространство динамической системы. Виды особых точек. Характеристическое уравнение. Линейный анализ устойчивости. Бифуркации особых точек. Показатель Ляпунова.

Тема 8. Возникновение хаоса в гамильтоновых системах (4 ч).

Сценарии возникновения хаоса в гамильтоновых системах. Критерий Мельникова. Нелинейный резонанс. Критерий Чирикова. Острова устойчивости. Кинетика в фазовом пространстве и проявления неэргодичности. Перемежаемость и эффект «прилипания». Статистика показателей Ляпунова на конечном временном интервале.

Тема 9. Диссипативный хаос (2 ч).

Бифуркации предельных циклов. Регулярные аттракторы. Грубые гиперболические аттракторы. Квазигиперболические аттракторы. Негиперболические аттракторы. Странные нехаотические и хаотические нестранные аттракторы.

Тема 10. Динамический хаос в присутствии шума (2 ч).

Общие понятия. Статистика времен пребывания. Динамика в фазовом пространстве. Одношаговое отображение Пуанкаре. Статистика показателей Ляпунова на конечном временном интервале.

МОДУЛЬ 3. Квантовые стохастические процессы (16 ч).

Тема 11. Квантовые флуктуации (4 ч).

Происхождение квантовых флуктуаций. Распределение Планка. Флуктуационно-диссипационная теорема. Корреляционные функции.

Спонтанное излучение. Теория Вигнера-Вайскопфа. Стохастическое уравнение Гросса-Питаевского.

Тема 12. Теория матриц плотности (2 ч).

Уравнение Лиувилля-фон Неймана. Гейзенберговское представление и представление взаимодействия. Квантовые марковские процессы. Марковское основное квантовое уравнение.

Тема 13. Локализация Андерсона (2 ч).

Приближение сильной связи. Модель Андерсона: критерий локализации. Локализация в дельта-коррелированных потенциалах. Статистика интенсивности. Проявление локализации в квантовых спектрах. Влияние пространственных корреляций потенциала. Пороги мобильности. Модель Обри-Андре и ее классический аналог. Делокализация в присутствии внешней осциллирующей силы.

Тема 14. Квантовый хаос (4 ч).

Квантовый хаос как проявления классического хаоса в квантовой динамике. Теория случайных матриц. Виды статистических ансамблей случайных матриц. Спектральная теория квантового хаоса. Воспроизводимость и законы ее спада. Квантово-классическое соответствие в условиях хаоса. Функции Вигнера и Хусими. Квантовый пропагатор. Динамическая локализация.

Тема 15. Немарковские квантовые процессы (2 ч).

Происхождение немарковости в открытых квантовых системах. Немарковское кинетическое уравнение. Проекционные операторные методы. Уравнение Накадзимы-Цванцига.

Тема 16. Нелинейная квантовая динамика (2 ч).

Нелинейное уравнение Шредингера и его дискретные аналоги. Солитоны и бризеры. Модуляционная неустойчивость. Режим слабой турбулентности. Динамический хаос в нелинейном уравнении Шредингера.

МОДУЛЬ 4. Статистическое моделирование в акустике океана (12 ч).

Тема 17. Общее представление об акустике океана (2 ч).

Волновое уравнение и уравнение Гельмгольца для звуковых волн. Подводный звуковой канал и его разновидности. Сверхдальнее распространение звука. Факторы стохастичности в акустике океана. Внутренние волны. Нормальные моды. Особенности акустических экспериментов.

Тема 18. Теория волн в случайных средах (4 ч).

Общие сведения о случайных полях. Излучение и дифракция случайных волновых полей. Теория однократного рассеяния волн. Фокусировка поля методом обращения фазы или времени.

Тема 19. Лучевое приближение (2 ч).

Лучевые уравнения. Флуктуации эйконала, углов прихода, боковых смещений луча и группового запаздывания. Флуктуации уровня. Лучи в волноводе. Переменные действие-угол. Лучевой хаос.

Тема 20. Параболические уравнения (4 ч).

Вывод широкоугольного параболического уравнения. Вывод узкоугольного параболического уравнения. Граничные условия. Метод плавных возмущений. Индекс сцинтилляции. Построение пропагатора акустического поля с помощью теории случайных матриц. Волновой хаос.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия – 36 часов.

Тема 1. Численное решение стохастического дифференциального уравнения Ито с цветным шумом (2 ч).

Вывод формулы для приращения, связанного с цветным шумом. Написание программы по решению стохастического дифференциального уравнения. Верификация полученных результатов. Проведение статистического анализа методом Монте-Карло.

Тема 2. Исследование динамики квантового осциллятора с немарковской накачкой (6 ч).

Переход от стохастического интегродифференциального уравнения к системе стохастических дифференциальных уравнений с помощью замены переменной. Преобразование полученных уравнений с помощью подстановки Маделунга. Проведение анализа с помощью качественной теории динамических систем. Построение фазовых портретов.

Тема 3. Исследование хаоса в цепочке квантовых нелинейных осцилляторов с флуктуациями (10 ч).

Вывод системы уравнений движения. Написание программы для численного моделирования. Проведение статистического моделирования. Определение количественных критериев возникновения хаоса. Введение в задачу параметра порядка, характеризующего систему в целом. Построение фазовой диаграммы.

Тема 4. Моделирование динамики атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна с помощью стохастического уравнения Гросса-Питаевского (12 ч).

Постановка задачи и определение характерных значений параметров модели. Написание программы для численного решения стохастического уравнения Гросса-Питаевского. Аналитическая оценка условий для возникновения солитонов, а также их неустойчивости. Проведение

полномасштабного статистического моделирования динамики бозе-конденсата, построение фазовой диаграммы.

Тема 5. Моделирование динамики кольцевого кубита на основе экситон-поляритонов с помощью вычислительного кластера (6 ч).

Построение теоретической модели, определение значений параметров. Разработка схемы для учета флуктуаций. Написание программы, адаптированной для вычислительного кластера. Проведение полномасштабного статистического моделирования, выделение условий, отвечающих замедленной декогеренции кубита.

III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Фонд оценочных средств прилагается.

IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Шиманский-Гайер Л. Динамическое и статистическое описание колебательных систем. М.-Ижевск: НИЦ РХД, 2005. 143 с.
2. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Методы статистической физики. М.: Наука, 1977. 368 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М: Мир, 1989. 540 с.
4. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.Л. Теоретические основы акустики океана. М.: Наука, 2007. 370 с.
5. Бройер Х.-П., Петруччионе Ф. Теория открытых квантовых систем. М.-Ижевск: НИЦ РХД, 2010. 824 с.
6. Вировлянский А.Л. Лучевая теория дальнего распространения звука в океане. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2006. 164 с.
7. Гардинер В.М. Стохастические методы в естественных науках. М.:

Мир, 1986. 528 с.

8. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984. 271 с.

9. Клаудер Дж., Сударшан Э. Основы квантовой оптики. М.: Мир, 1970. 430 с.

10. Кляцкин В.И. Динамика стохастических систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 240 с.

11. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984. 528 с.

12. Льюиселл У. Излучение и шумы в квантовой электронике. М.: Наука, 1972. 398 с.

13. Мета М.Л. Случайные матрицы. М.: МЦНМО, 2012. 648 с.

14. Райхл Л.Е. Переход к хаосу в консервативных классических и квантовых системах. М.-Ижевск: НИЦ РХД, 2008. 756 с.

15. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2. Случайные поля. М.: Наука, 1978. 463 с.

16. Чириков Б.В. Нелинейный резонанс. Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 1977. 82 с.

17. Штокман Х.-Ю. Квантовый хаос: введение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 376 с.

18. Gardiner C.W. Quantum noise. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 364 p.

19. Jensen F.B., Kuperman W.A., Porter M.B., Schmidt H. Computational ocean acoustics. NY: Springer-Verlag, 2011. 794 p.

Дополнительная литература

1. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 232 с.

2. Килин С.Я. Квантовая оптика: поля и их детектирование. М.: Едиториал УРСС, 2003. 176 с.

3. Розанов Ю.А. Случайные процессы. Краткий курс. М.: Наука, 1971. 288 с.