



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**Институт наукоемких технологий и передовых материалов (Школа)**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

(подпись)

Саранин А.А.  
(Ф.И.О. рук. ОП)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента  
Общей и экспериментальной физики

(подпись)

Короченцев А.А.  
(Ф.И.О.)

« 15 » декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Элементы теории фракталов в физике

**Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**  
магистерская программа

«Электроника и нанoeлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)»

**Форма подготовки очная**

курс  2  семестр  3

лекции  -  час.

практические занятия  34  час.

лабораторные работы  34  час.

в том числе с использованием МАО лек.  -  / пр.  -  / лаб.  18  час.

всего часов аудиторной нагрузки  68  час.

в том числе с использованием МАО  18  час.

самостоятельная работа  40  час.

в том числе на подготовку к экзамену  -  час.

контрольные работы (количество)  не предусмотрены

курсовой проект  не предусмотрен

зачет  не предусмотрен

экзамен  3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 22.09.2017 г. №959.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол № 3 от «29» ноября 2021 г.

Директор департамента общей и экспериментальной физики ИНТиПМ: к.ф.-м.н., доцент Короченцев В.В.

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Титов П.Л.

Владивосток

2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента: \_\_\_\_\_

(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента: \_\_\_\_\_

(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация дисциплины «Элементы теории фракталов в физике»**

Учебная дисциплина «Элементы теории фракталов в физике» предназначена для магистрантов 2 курса магистратуры 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерской программы «Электроника и наноэлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)».

Дисциплина «Элементы теории фракталов в физике» входит в часть формируемую участниками образовательных отношений цикла дисциплин образовательной программы, является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.07.01), реализуется на 2 курсе, в 3 семестре, завершается экзаменом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 З.Е. (144 часа). Учебным планом предусмотрены лабораторные занятия (34 час.), практические занятия (34 час.), самостоятельная работа студента (76 час., в том числе 36 час. на подготовку к экзамену).

Язык реализации – русский.

**Цель** изучения дисциплины: получение базовых знаний по основам теории фракталов (и основных научных направлений, в которых она используется), по ее применению для рассмотрения ряда физических задач, а также получение практических навыков по моделированию фрактальных объектов, процессов, систем и расчету их фрактальных характеристик на персональных компьютерах в пакетах математического моделирования.

### **Задачи:**

- изучение основных понятий и терминов теории фракталов;
- ознакомление с классификацией фракталов;
- рассмотрение понятия фрактальной размерности;
- вычисление фрактальной размерности для известных фрактальных объектов;
- обзор современных научных областей, в которых применяется теория фракталов;
- рассмотрение теории фракталов применительно к физическим задачам;

- приобретение навыков моделирования фрактальных объектов, процессов, систем в пакетах математического моделирования;
- приобретение навыков расчета фрактальных характеристик различных естественных и модельных искусственных объектов в пакетах математического моделирования.

Для успешного освоения учебного материала студенты должны пройти курсы «Физики», «Высшей математики», «Информатики». Курс «Физики» необходим для понимания ряда явлений, к которым применяется теория фракталов, их внутренних механизмов. Некоторые разделы «Высшей математики» требуются как при изучении основ теории фракталов, например, при рассмотрении понятий размерности и множества, так и в дальнейшем при моделировании, например, ряды Фурье, используемые для спектрального представления процессов. «Информатика» необходима как базовые знания вычислительной математики и основных конструкций в программировании, которые используются для освоения математических пакетов в части фрактального моделирования.

Изучаемый материал, в свою очередь, является базой для изучения последующих дисциплин физического цикла с уклоном в сторону вычислительного моделирования и дальнейшей профессиональной деятельности.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Тип задач профессиональной деятельности	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-1 Способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и	ПК-1.1 выбирает теоретические и экспериментальные методы исследования изделий микро- и нанoeлектроники
		ПК-1.2 анализирует тенденции и перспективы

	<p>нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способен обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<p>развития электроники и нанoeлектроники, смежных областей науки и техники</p> <p>ПК-1.3 ставит цели и задачи научного исследования в соответствующей области знаний</p>
Научно-исследовательский	ПК-6 Способен планировать и проводить эксперименты по моделированию и практическому определению структуры и свойств материалов, перспективных для электроники и нанoeлектроники	ПК-6.1 демонстрирует знание методов исследования поверхности низкоразмерных структур, основных типов и параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований
		ПК-6.2 осуществляет моделирование и практическое определение структуры и свойств материалов
		ПК-6.3 применяет методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1 выбирает теоретические и экспериментальные методы исследования изделий микро- и нанoeлектроники	Знает способы обоснованного выбора методик экспериментальных исследований; способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи; практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов; методы обработки результатов измерений
	Умеет выбирать методики и средства измерений для экспериментальных исследований параметров узлов электронной техники; проводить измерения различных параметров при контроле производственных процессов; самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с планированием эксперимента и отдельных его этапов при производстве изделий электронной техники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	Владеет навыками составления экспериментальных методик исследований; навыками выбора методики и средств измерений для экспериментальных исследований параметров материалов и приборов при производстве электронной техники; практическими способами контроля заданных параметров при решении измерительных задач в производстве электронной техники, в зависимости от типа исследуемого материала или прибора
ПК-1.2 анализирует тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, смежных областей науки и техники	Знает перспективные направления электроники и нанoeлектроники, в которых используются или могут использоваться электронные измерения на современном оборудовании; современные способы решения научных и инновационных задач, возникающих в конкретной предметной области электроники и нанoeлектроники
	Умеет определять перспективные направления электроники и нанoeлектроники, в которых используются или могут использоваться электронные измерения на современном оборудовании; использовать современные способы решения научных и инновационных задач электроники и нанoeлектроники для достижения конкретного результата
	Владеет способами и навыками, позволяющими определять перспективные направления электроники и нанoeлектроники, в которых активно используются или могут использоваться электронные измерения на современном оборудовании; методиками достижения конкретного результата на основе использования современных способов решения научных и инновационных задач электроники и нанoeлектроники
ПК-1.3 ставит цели и задачи научного исследования в соответствующей области знаний	Знает способы планирования, постановки целей и задач, а также определения основных этапов научного исследования; знает способы обоснованного выбора современных методик научных исследований; способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи
	Умеет планировать научное исследование, ставить цели и задачи, а также выделять основные этапы; знает способы выбора методики и средства измерений для проведения научных исследований; умеет проводить измерения различных параметров; умеет изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с планированием научных

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<p>исследований</p> <p>Владеет навыками постановки целей, задач и составления методик научных исследований; навыками выбора методики и средств измерений для научных исследований различной направленности; владеет практическими навыками контроля заданных параметров при решении измерительных задач с учетом специфики микро- и нанoeлектроники</p>
<p>ПК-6.1 демонстрирует знание методов исследования поверхности низкоразмерных структур, основных типов и параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований</p>	<p>Знает способы выборы методик экспериментальных исследований; устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и нанoeлектроники; практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов; современное состояние достижений, проблем и путей их решения в физике полупроводников</p> <p>Умеет анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений в полупроводниках и соответствующих полупроводниковых приборов; самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами современной физики полупроводников и низкоразмерных систем; умеет выбирать типы и характеристики лабораторных установок для проведения экспериментальных исследований в соответствующей предметной области</p> <p>Владеет способами описания различных механизмов проводимости и явлений в полупроводниках; навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках и их характеристик на основе физических законов; методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников для определения необходимых характеристик приборов, систем, установок различного назначения</p>
<p>ПК-6.2 осуществляет моделирование и практическое определение структуры и свойств материалов</p>	<p>Знает основные физические законы, а также положения теории фракталов и динамического хаоса, пригодные для построения теоретических моделей различных явлений и эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; знает способы составления математических моделей и</p>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<p>вычислительного моделирования для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; знает способы практического определения структуры и свойств материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>
	<p>Умеет определять физические законы, а также положения теории фракталов и динамического хаоса, пригодные для построения теоретических моделей различных явлений и эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; умеет составлять математические модели и проводить вычислительное моделирование для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; умеет определять структуру и свойства материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>
	<p>Владеет навыками определения физических законов и их следствий, а также положений теории фракталов и динамического хаоса, пригодных для построения теоретических моделей различных явлений и эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; владеет различными способами выбора/составления математических моделей и вычислительного моделирования для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; владеет навыками практического определения структуры и свойств материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>
<p>ПК-6.3 применяет методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах</p>	<p>Знает основные идеи и методы теории фракталов и теории динамического хаоса для описания физических процессов; знает основные методы вычислительной физики и математического моделирования различных явлений, процессов, объектов, в том числе в области нанoeлектроники, структур пониженной размерности</p> <p>Умеет использовать основные идеи и методы теории фракталов и теории динамического хаоса для описания физических процессов; умеет анализировать на основе</p>



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<p>физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений, процессов, объектов; умеет самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с вопросами вычислительного моделирования</p> <p>Владеет методологией теории фракталов и теории динамического хаоса для описания физических процессов, в том числе в низкоразмерных структурах; владеет навыками составления алгоритмов для решения физико-математических задач, для моделирования различных явлений, процессов, объектов на основе физических законов; владеет навыками применения полученных знаний и результатов моделирования для решения конкретных практических задач в выбранной предметной области</p>

Для успешного формирования указанных компетенций (элементов компетенций) используются следующие методы активного/интерактивного обучения: проблемное занятие, дискуссия, метод анализа конкретных примеров.

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

**Раздел I. Основы фрактальной геометрии. Классификация фракталов. построение фракталов. Применение теории фракталов для рассмотрения физических задач**

**Тема 1. Основные положения теории фракталов. Классификация и примеры фрактальных объектов**

Введение в теорию фракталов. Основные отличия гладких объектов евклидовой геометрии от природных объектов. Определение фрактала по Б.Мандельброту. Рассмотрение естественных фракталов на примере береговой линии.

Понятие размерности гладких и фрактальных объектов. Классификация фрактальных объектов (математические и физические фракталы, подкатегории). Основные математические фракталы: «пыль» Кантора, «снежинка» Коха, «салфетка» Серпинского, определение их размерности. Нарушение законов евклидовой геометрии на примере соотношения периметров и площадей фрактальных «шестиугольников». Примеры естественных фрактальных объектов.

## **Тема 2. Фракталы в задаче перколяции. Фрактальные структуры в моделях с агрегацией, ограниченной диффузией**

Рассмотрение задачи перколяции на квадратной решетке. Задача перколяции по узлам и по связям. Определение порога перколяции. Появление фрактальных кластеров при достижении порога перколяции. Закон распределения размеров кластеров. Рассмотрение задачи перколяции на решетках различной структуры.

Ограниченная диффузией агрегация. Получение фрактальных структур при случайном блуждании частиц и последующем «прилипании» к уже полученному кластеру. Разновидности, модификации.

## **Тема 3. Способы определения фрактальной размерности множества**

Экспериментальные способы определения фрактальной размерности. Логарифмические оси. Методика Грассбергера-Прокаччо. Информационная размерность. Корреляционная размерность, корреляционный интеграл. Спектр размерностей Реньи. Мультифрактальные множества. Виды фрактальности. Фрактальность геометрическая и фрактальность структурная. Древесные графы как пример объекта со структурной фрактальностью. Фрактальная размерность как отношение энтропий.

## **Раздел II. Нелинейная динамика. Связь фракталов и теории динамического хаоса. Хаотическая динамика нелинейных систем**

### **Тема 4. Связь фрактальной геометрии и теории динамического хаоса. Основы теории динамического хаоса. Понятие аттрактора и фазового пространства**

Основные понятия теории динамического хаоса. Основные свойства хаоса. Нелинейность и детерминированность. Фракталы как результат функционирования нелинейных динамических систем. Понятие о фазовом пространстве. Устойчивость траекторий в фазовом пространстве. Зависимость от начальных условий.

Способы задания поведения хаотических систем (потoki, каскады). Описание динамических систем через системы дифференциальных уравнений. Численное решение системы дифференциальных уравнений. Понятие о традиционных (фокус, цикл, тор) и странных аттракторах.

### **Тема 5. Аттракторы простейших хаотических систем. Электронные генераторы хаотических сигналов**

Классические аттракторы: аттракторы типа устойчивый цикл, фокус, тор. Соответствующие им зависимости от времени. Термин «странный аттрактор». Отображение Эно. Отображение Икеды.

Система Лоренца-Рёсслера и ее аттрактор. Автоколебательная реакция по А.Тьюрингу. Свойства странных аттракторов.

Осциллятор Уеды. Осциллятор Ван-дер-Поля. Осциллятор Дуффинга. Неавтономный автогенератор с жестким возбуждением. Карты динамических режимов.

Электронные генераторы хаотических колебаний и соответствующие им аттракторы. Генератор Кияшко-Пиковского-Рабиновича. Генератор Дмитриева-Кислова. Схема Л.Чуа.

Анализ работы автогенератора при наличии шума. Метод линеаризации. Статистическая динамика фазовой автоподстройки.

Способы описания странных аттракторов и поведения хаотических динамических систем. Сечения Пуанкаре. Показатели Ляпунова.

Влияние шума на форму аттракторов хаотических систем.

## **Тема 6. Описание поведения хаотических систем в зависимости от значений управляющих параметров. Бифуркационные диаграммы. Сценарии перехода к хаосу**

Динамика популяций. Уравнение Ферхюльста. Фазовое пространство, траектория системы, аттрактор. Нарушение устойчивости и переход к хаотическому поведению. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу через бифуркации удвоения периода. Описание поведения динамической системы через точечное отображение. Процедура Кёнигса-Ламерея. Управляющий параметр системы. Типы аттракторов. Бифуркационная диаграмма. Коэффициенты подобия бифуркационной диаграммы по различным осям. Универсалии Фейгенбаума.

Сценарий Рюэля-Такенса перехода к хаосу через разрушение двухчастотных колебаний. Сценарий Помо-Манневиля перехода к хаосу через перемежаемость (за счет увеличения числа хаотических всплесков).

## **Тема 7. Самоподобные случайные процессы с обобщенно-гиперболическим Фурье-спектром**

Самоподобие степенных законов. Самоподобие шумов со спектральной плотностью, подчиняющейся обобщенно-гиперболическому закону. Степень их случайности/неслучайности. Понятие о шумах. Аддитивный белый гауссовский шум. Понятие об автокорреляционной функции. Понятие свёртки. Розовый шум как психоакустический эквивалент белого шума. Интеграл от

броуновского движения (винеровский процесс) – коричневый шум. Спектр мощности кривых изменения цен на фондовом и валютном рынках. Синий шум. Черный шум, соответствующий катастрофическим явлениям. Интерпретация интегрирования и дифференцирования как операций фильтрации. Скорость спада амплитудно-частотной характеристики для фильтров первого порядка.

Оценка степени случайности процесса при помощи показателя Херста ( $H=R/S$ ). Значения показателя, соответствующие различным шумам. Автокорреляционные функции шумов. Связь показателя Херста и степенного показателя спектральной плотности шума.

Математические и физические способы получения шумов с различным спектром.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Лабораторные работы (34 час.)**

**Лабораторная работа №1. Общие способы построения известных фракталов. Построение «пыли» Кантора, «снежинки» Коха, «салфетки» Серпинского и других фракталов (4 час.)**

1. В начале занятия каждый студент выбирает один из фрактальных объектов для последующего самостоятельного построения на компьютере при помощи пакета математического моделирования. Фрактал может быть выбран как самостоятельно, так и вместе с преподавателем.

2. Далее необходимо понять преобразование, которому подвергается каждый элемент фрактала на текущей итерации.

3. Построить вручную несколько итераций (3-4) для выбранного фрактала. На каждой итерации пронумеровать узловые точки фрактала (например, слева направо).

4. Установить зависимость числа узловых точек от номера итерации и характер изменения номеров крайних точек какого-либо элемента при переходе к следующей итерации.

5. Установить, какие новые узловые точки появляются в каждом элементе при переходе к следующей итерации, какими будут их номера.

6. Запрограммировать в цикле полученные зависимости для преобразований элементов фрактала (обычно циклов два: первый – для номера итерации, второй – для прохождения по всем элементам фрактала с целью применения преобразования). Примечание: число итераций не должно быть большим (!). Для начала можно задать 4-5 итераций построения фрактала, и только после отладки работы программы это число можно плавно увеличивать.

7. Вывести результаты всех итераций на экран на одном либо на разных графиках в одном окне. Если все итерации приводятся на одном графике, то необходимо задать соответствующее вертикальное смещение во избежание наложения. Отдельно вывести итоговый результат.

8. Убедиться в том, что это действительно фрактал, при помощи инструмента масштабирования: при увеличении масштаба форма фрактала сохраняется до определенного момента (в зависимости от числа проведенных итераций).

### **Типовое задание №2:**

Построить изображение фрактала Кантора (Канторова «пыль») для заданного числа итераций  $n$ . Не рекомендуется задавать  $n$  больше 7-8 (необоснованно возрастет время вычислений).

### **Типовое задание №3:**

Построить изображение фрактала Коха («снежинка» Коха) для заданного числа итераций  $n$ . Не рекомендуется задавать  $n$  больше 6-7 (необоснованно возрастет время вычислений).

### **Типовое задание №5:**

Построить изображение «ковра» Серпинского для заданного числа итераций  $n$ . Не рекомендуется задавать  $n$  больше 7-10 (необоснованно возрастет время вычислений).

## **Лабораторная работа №2. Анализ логистического отображения. Построение процедуры Кёнигса-Ламерея при различных значениях управляющего параметра (5 час.)**

В начале занятия преподаватель дает основные теоретические сведения о логистическом отображении, описывающем динамику численности популяции, и о методике построения диаграммы Кёнигса-Ламерея.

Затем индивидуально каждому студенту или группе студентов из 2-3 человек даются значения управляющего параметра (3 значения), для которых необходимо графически (без использования численных результатов) реализовать процедуру (в тетради, при помощи художественных средств ПК или на доске).

Следствием графических способов построения являются неизбежные неточности в динамике системы, особенно вблизи точек бифуркации и других характерных точек. В результате чего возникнут противоречия между диаграммами студентов.

Необходимо обсудить возникшие противоречия и прийти к корректному результату, удовлетворяющему всех. На этапе дискуссии пользоваться вычислительными средствами анализа сценария Фейгенбаума запрещается.

После того, как результаты были обсуждены, студенты самостоятельно строят траекторию поведения системы на компьютере для всех заданных значений управляющего параметра при помощи пакета моделирования MathCAD (или аналога). Для этого необходимо:

1. Проанализировать квадратичную зависимость логистического отображения. При условии, что отображение строится в осях  $x_n$  и  $x_{n+1}$  на отрезках от 0 до 1 (единичный квадрат), вычислить максимальную величину управляющего параметра.

2. Реализовать отображение графически на основе вычислений. Для начала необходимо понять, как строятся точки траектории в фазовом пространстве на координатах  $x_n$  и  $x_{n+1}$ . Затем необходимо установить зависимость абсциссы и

ординаты соответствующей точки от одного-двух предшествующих значений.

Примечание: удобнее вычислять точки парами.

3. Запрограммировать установленную зависимость и вывести траекторию системы на графике. На этом же графике показать параболу заданной амплитуды, соответствующую отображению, и прямую  $x_{n+1}=x_n$ .

Далее полученные результаты сверяются с истинными и делаются общие выводы.

### **Лабораторная работа №3. Построение и анализ бифуркационной диаграммы Фейгенбаума. Расчет универсальных констант (5 час.)**

Задачи выполняются в форме компьютерного моделирования с возможностью индивидуального и группового консультирования преподавателем в процессе решения. Предварительно преподаватель дает необходимые теоретические сведения в лекционном курсе, а также непосредственно в начале практического занятия. Знакомит со средой моделирования (MathCAD или аналоги), если у студентов отсутствуют навыки работы с ней.

#### **Типовое задание №1:**

Построить бифуркационную диаграмму Фейгенбаума при следующих заданных входных параметрах:

- а) минимальное значение управляющего параметра;
- б) максимальное значение управляющего параметра;
- в) количество точек по управляющему параметру;
- г) количество циклов (итераций) отображения в каждой точке;
- д) количество отображаемых циклов в каждой точке.

Например:

- а) 3,0;
- б) 3,5;
- в) 100;
- г) 500;

д) 50.

В результате выполнения данного задания в среде MathCAD (или аналоге) должна быть написана небольшая процедура, вычисляющая соответствующие точки бифуркационной диаграммы для заданных параметров.

**Типовое задание №2:**

Определить расстояние (по управляющему параметру) между  $m$ -й и  $n$ -й (считая от нуля) точками бифуркаций с точностью 0,01.

В процессе решения необходимо с заданной точностью определить значение управляющего параметра, при котором происходит резкое изменение поведения системы (это и есть точка бифуркации).

**Типовое задание №3:**

Определить расстояние по ординате от  $m$ -й позиции бифуркации до каждой из двух следующих из нее точек в  $(m+1)$ -й позиции (считая от нуля).

**Типовое задание №4:**

Определить расстояние по ординате от  $m$ -й точки бифуркации до  $(m+1)$ -й и от  $(m+1)$ -й до  $(m+2)$ -й (считая от нуля), если двигаться по верхним ветвям бифуркационной диаграммы.

**Типовое задание №5:**

При каком значении управляющего параметра может наблюдаться цикл с кратностью 8?

**Типовое задание №6:**

Исследуя предел отношения расстояний по управляющему параметру между точками  $m$  и  $(m+1)$ , при  $m \rightarrow \infty$ , определить одно из универсальных чисел Фейгенбаума.

Примечание: для построения бифуркационной диаграммы могут использоваться результаты практического занятия №2. В дополнение к ним необходимо:

1. Понять, что каждая реализация процедуры Кёнигса-Ламерея является одним из сечений бифуркационной диаграммы. Бифуркационная диаграмма



служит инструментом, позволяющим описать поведение системы при различных значениях управляющего параметра и понять, какие значения параметра необходимо выбирать для соответствующей задачи.

2. Для построения бифуркационной диаграммы необходимо задаться интервалом и шагом изменения управляющего параметра, числом итераций и числом отображаемых значений при каждом значении управляющего параметра. Например: интервал параметра 3...4, шаг 0,01, число итераций в точке 1000, из которых отображаются 100 последних значений.

3. Запрограммировать соответствующие вычисления. Вывести бифуркационную диаграмму поточечно на графике. Бифуркационная диаграмма строится в осях: абсцисса – значение управляющего параметра, ордината – асимптотические значения переменной, полученные при многократном итерировании (из которых отображаются 100 последних).

#### **Лабораторная работа №4. Построение и анализ фрактальных аттракторов Эно и Икеды, аттрактора Лоренца-Рёсслера. Анализ влияния шума на форму и устойчивость аттракторов (5 час.)**

Вначале преподаватель разбивает группу студентов на подгруппы из нескольких человек. Каждой из них дается индивидуальное задание – построить один из странных аттракторов: Эно, Икеды, Лоренца-Рёсслера. Могут быть также заданы и другие типы хаотических систем по желанию студента при согласовании с преподавателем.

Каждая группа должна построить в пакете математического моделирования несколько вариантов аттракторов для различных сочетаний управляющих параметров, соответствующих как регулярным, квазипериодическим режимам, так и режимам с различной степенью хаотичности. Сочетания управляющих параметров могут быть как заданы преподавателем, так и выбраны самостоятельно (предварительно, до начала занятия, на основе самостоятельного изучения вопроса).

Далее, в каждый из управляющих параметров при моделировании добавляется контролируемый уровень шума. Целесообразно для простоты использовать генератор случайных чисел с равномерной плотностью – rnd. Постоянная составляющая (сам параметр) и уровень шума (среднее, ширина) выбираются таким образом, чтобы средний уровень величины параметра оставался на прежнем уровне. А полуширина интервала случайной величины выбирается равной последовательно: 10%, 25%, 50%, 75%, 100% от величины суммарного среднего (параметр+шум) значения.

Для всех значений строятся аттракторы и визуально сравниваются. Процедура проводится для всех заданных параметров. Можно также вносить шум в различные параметры одновременно в контролируемой пропорции. Также при наличии времени исследуется влияние шума на режимы с различной степенью хаотичности.

Полученные результаты обсуждаются в группе и делаются выводы о сравнительной устойчивости аттракторов различных систем при наличии шума заданной амплитуды, а также об устойчивости систем по различным параметрам.

**Лабораторная работа №5. Моделирование поведения схемы Л.Чуа в программе MathCAD (или аналоге). Расчет параметров схемы для заданного режима и моделирование в программе ElectronicWorkbench (или аналоге) (5 час.)**

В результате выполнения задания у каждого студента должны быть рассчитаны номиналы элементов, выбраны активные элементы, собрана рабочая схема генератора хаотических сигналов по схеме Л.Чуа в программе Electronic Workbench (Multisim).

В начале занятия преподаватель кратко описывает задание и приводит основные этапы расчета элементов схемы. Частотный диапазон генератора каждый выбирает самостоятельно по согласованию с преподавателем, в

результате чего у каждого из студентов должна быть схема с уникальными значениями параметров элементов.

Студентам предлагается реализовать нелинейный элемент схемы Чуа на конверторах отрицательных сопротивлений, собранных на операционных усилителях. При желании учащиеся могут предложить свою реализацию (обдуманную заранее, до проведения занятия).

Также в процессе работы необходимо установить интервалы значений элементов (хотя бы для одного из регулирующих элементов – какой-либо емкости, индуктивности, сопротивления), в которых наблюдаются различные режимы поведения – стационарный режим (постоянное значение), периодические колебания, хаотические аттракторы различных типов (в частности, аттрактор Double Scroll).

**Лабораторная работа №6. Вычисление размерности фрактального объекта, вложенного в двумерное пространство. Построение случайных и детерминированных фракталов. Вычисление информационной размерности (5 час.)**

Задачи выполняются в форме компьютерного моделирования с возможностью индивидуального и группового консультирования преподавателем в процессе решения. Предварительно преподаватель дает необходимые теоретические сведения в лекционном курсе, а также непосредственно в начале практического занятия. Знакомит со средой моделирования (MathCAD или аналоги), если у студентов отсутствуют навыки работы с ней.

**Типовое задание №1:**

Дано двумерное монохромное (черно-белое) изображение какого-либо фрактального объекта (пример: изображение рек, ветвь дерева, снежинка, фрактальный орнамент, облако, береговая линия, плавучие льдины, карта звездного неба и пр.). Реализовать в вычислительной среде MathCAD (или аналоге) процедуру вычисления фрактальной размерности (ограничение – либо

заданная точность, либо отношение максимального и минимального масштабов рассмотрения).

Для решения задачи изображение дробится на отдельные фрагменты. Если часть объекта попадает в какой-либо фрагмент, то он считается занятым. Далее, подсчитывается число занятых фрагментов как функция от размера фрагмента. Наклон прямой, построенной в двойных логарифмических осях, и будет значением фрактальной размерности. Следует помнить, что в реальных объектах прямая получится только на достаточно ограниченном участке, что нужно учитывать при обработке результатов.

### **Типовое задание №2:**

Построить изображение кривой «дракона» для заданного числа итераций  $n$ . Не рекомендуется задавать  $n$  больше 10-11 (необоснованно возрастет время вычислений).

### **Типовое задание №3:**

Построить изображение «ковра» Серпинского как аттрактивного множества следующего отображения (т.н. «игра в хаос»). Вначале внутри треугольника выбирается произвольная точка. Затем случайно выбирается одна из вершин треугольника. Находится середина отрезка, образованного начальной точкой и выбранной вершиной треугольника. Эта середина является начальной точкой для второй итерации. Далее снова случайным образом выбирается вершина треугольника и процесс повторяется. Для построения достаточно «плотного» изображения необходимо провести несколько тысяч итераций.

**Лабораторная работа №7. Определение спектральных характеристик хаотических и шумовых временных рядов. Идентификация вида шума. Реконструкция аттрактора по временному ряду. Вычисление фрактальных размерностей временных рядов. Использование программы fractan (5 час.)**

Задачи выполняются в форме компьютерного моделирования с возможностью индивидуального и группового консультирования преподавателем в процессе решения. Предварительно преподаватель дает необходимые теоретические сведения в лекционном курсе, а также непосредственно в начале практического занятия. Знакомит со средой моделирования (MathCAD или аналоги), если у студентов отсутствуют навыки работы с ней.

### **Типовое задание №1:**

Дана реализация шумоподобного или хаотического сигнала (например, в виде значений в форме txt-файла). Найти спектральную плотность сигнала, пользуясь известными функциями, встроенными в пакет моделирования. По форме спектра сделать соответствующие выводы о возможной природе сигнала (почти регулярный; шумовой (если шумовой, то какой тип шума); хаотический).

### **Типовое задание №2:**

Дана реализация шумоподобного или хаотического сигнала (например, в виде значений в форме txt-файла). Выбрать фазовое пространство, провести реконструкцию аттрактора, пользуясь теоремой Рюэля-Такенса. На основе полученного аттрактора сделать выводы о природе сигнала (почти регулярный; хаотический; шумовой).

### **Типовое задание №3:**

Дан тип шума (примеры: белый, розовый, коричневый, черный, синий, фиолетовый). Сгенерировать временную реализацию данного типа шума достаточной длины (несколько тысяч значений). Рассчитать для нее показатель Херста. Сравнить с теоретическим значением.

После решения задач и получения первичных навыков работы с временными реализациями сигналов) переходят к обсуждению.

Преподаватель дает студентам 10-20 листов, на каждом из которых отпечатана (с хорошим качеством и разрешением) реализация хаотического,

шумового (с различными степенными показателями спада спектральной плотности, например, 1; 1,25; 1,5; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3,0) или квазипериодического сигнала.

В ходе обсуждения студентам предлагается определить, к какому классу сигналов относится данная реализация; дополнительно для хаотических – к какой из известных систем; дополнительно для шумовых – к какой величине степенного показателя спада спектральной плотности.

После обмена мнениями и согласования студенты выдвигают свои версии, а преподаватель их корректирует, сопровождая комментариями по виду реализаций и соответствующими выводами.

### **Практические занятия (34 час.)**

#### **Практическое занятие №1. Построение Н-фрактала с модификациями (9 час.)**

Фрактал строится следующим образом. Вначале выбирается стартовая точка, от которой происходит рост фрактала. Она является центром, корнем всего будущего объекта. Далее в эту точку помещается конструкция, похожая на букву «Н» таким образом, что точка оказывается на середине горизонтального отрезка. Длину горизонтального отрезка можно выбрать в два раза большей, чем длины вертикальных. На этом шаге образуются 4 новых точки ветвления (это концы вертикальных боковых отрезков). Далее уже в этих точках строятся 4 конструкции, напоминающие букву «Н». Они уменьшены по сравнению с первоначальной конструкцией в некоторое заданное число раз (коэффициент масштабирования).

Построить Н-фрактал до 5 итерации включительно. Коэффициент масштабирования выбрать равным 0,46.

Провести эксперименты с различными коэффициентами масштабирования, как меньшими, так и большими 0,5. Объяснить полученные результаты.

Ввести случайную компоненту при построении каждого из отрезков. Величину случайной составляющей выбрать самостоятельно. Пронаблюдать результат.

Ввести случайную компоненту при выборе коэффициента масштабирования для каждой  $N$ -конструкции. Величину случайной составляющей выбрать самостоятельно. Пронаблюдать результат.

### **Практическое занятие №2. Построение «ковра» Серпинского с модификациями (9 час.)**

Используется методика, известная под названием «игра в хаос». Вначале выбирается некоторая случайная точка, также можно задать ее самостоятельно. Для удобства можно задать ее положение внутри равностороннего треугольника. Случайным образом выбирается одна из трех вершин треугольника (с равной вероятностью). Новая точка строится на середине отрезка, соединяющего первоначальную точку и выбранную вершину. На следующем шаге уже только что полученная точка мысленно соединится отрезком с вновь случайно выбранной вершиной, и на середине этого отрезка строится очередная точка. Данный процесс итеративно повторяется. Предельное множество, получаемое при бесконечном повторении описанного процесса, является «ковром» Серпинского.

Пользуясь данной процедурой, построить «ковер» Серпинского. Число точек вначале выбрать равным 1000, потом 10000, далее 50000.

Построить фрактал, но вместо равностороннего треугольника использовать произвольный треугольник неправильной формы. Пронаблюдать результат.

Модифицировать процедуру построения, сделав выбор вершин неравновероятным. Пронаблюдать полученный результат.

Модифицировать процедуру, изменив коэффициент деления. Вместо середины отрезка (т.е. 0,5) можно взять другие значения, как большие, так и меньшие 0,5. Пронаблюдать полученный результат.

Модифицировать процедуру, взяв вместо правильного треугольника правильный или неправильный выпуклый  $n$ -угольник ( $n$  выбирается самостоятельно). Пронаблюдать полученный результат. Сделать выводы.

### **Практическое занятие №3. Анализ случайных сигналов. Сравнение белого и коричневого шумов (8 час.)**

Истинным шумом является только белый шум, отсчеты которого абсолютно независимы. Он обладает также свойством дельта-коррелированности и равномерным спектром.

Создать массив отсчетов сигнала, представляющего белый шум (не обязательно гауссовский). Построить гистограмму значений белого шума.

Получить коричневый шум, проинтегрировав белый шум. В дискретной версии вычисление коричневого шума сводится к суммированию всех отсчетов белого шума вплоть до текущего момента.

Вычислить спектры шумов при помощи быстрого преобразования Фурье. Вывести спектры белого и коричневого шумов на одном графике сначала в линейных, а затем в логарифмических осях. Определить скорость спада амплитудного спектра коричневого шума в децибелах на декаду.

### **Практическое занятие №4. Анализ случайных сигналов. Получение различных «цветных» шумов (8 час.)**

Создать массив отсчетов сигнала, представляющего белый шум (не обязательно гауссовский).

Продифференцировать белый шум, в результате получится т.н. фиолетовый шум. К какой операции сводится дифференцирование при рассмотрении дискретных сигналов? Вывести временные реализации шумов на одном графике.

Создать временную реализацию розового шума (это т.н. фликкер-шум, шум мерцания) следующим образом. В спектральной области создать амплитудный спектр, компоненты которого убывают обратно пропорционально



корню квадратному из частоты (это равнозначно тому, что спектр мощности спадает как  $1/f$ ). Фазовые компоненты задать случайными в интервале от  $-180$  до  $+180$  градусов. При помощи обратного дискретного преобразования Фурье перевести спектр во временную область.

Продифференцировать розовый шум.

Проинтегрировать белый шум дважды. Получится сильно «черный» шум.

Вычислить спектры всех шумов при помощи быстрого преобразования Фурье. Вывести спектры для всех шумов на одном графике сначала в линейных, а затем в логарифмических осях. Какова скорость изменения амплитудного спектра каждого из шумов, если ее выразить в децибелах на декаду?

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №1	5 час.	(ПР-6), защита отчета
2	4-6 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №2	5 час.	(ПР-6), защита отчета
3	7-9 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №3	6 час.	(ПР-6), защита отчета
4	10-11 недели	Подготовка к занятию и оформление	6 час.	(ПР-6),

		отчета по лабораторной работе №4		защита отчета
5	12-13 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №5	6 час.	(ПР-6), защита отчета
6	14-15 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №6	6 час.	(ПР-6), защита отчета
7	16-17 недели	Подготовка к занятию и оформление отчета по лабораторной работе №7	6 час.	(ПР-6), защита отчета
8	18	Подготовка к экзамену	36 час	Экзамен
Итого			76 час.	

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

#### *Организация самостоятельной работы.*

После изучения плана-графика выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ. Отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Необходимо обратить внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Важно своевременно изучать соответствующие разделы дисциплины и вовремя выполнять самостоятельные задания.

#### *Рекомендации по изучению дисциплины. Работа с источниками.*

В процессе освоения дисциплины необходимо регулярное повторение теоретического материала и своевременное закрепление его на практических занятиях и лабораторных работах. Именно всестороннее изучение предмета или явления как с теоретической, так и с практической точек зрения обеспечивает формирование общей картины на ассоциативном уровне, которая будет дольше сохраняться в памяти.

Как правило, твердое знание теоретического лекционного материала может обеспечить сдачу экзамена (если он предусмотрен программой) как минимум на оценку «4». Для того, чтобы претендовать на оценку «5», необходимо привлечение дополнительных источников информации, среди которых могут быть как учебные пособия и методические указания, составленные ведущим преподавателем, так и классические учебники по соответствующей области знаний.

В связи с этим можно выделить, по крайней мере, два уровня освоения дисциплины и овладения соответствующими навыками. Первый (базовый) уровень можно соотнести с чисто механическим запоминанием информации,

заучиванием некоторых формул с тем, чтобы впоследствии это обеспечило положительную оценку. Данный уровень характеризуется фрагментарным, но при этом достаточно полным знанием лекционного материала, а также умением решать простые типовые задачи из ряда тех, которые решались на практических занятиях.

Второй (более глубокий) уровень достижим, когда появляется интерес к предмету, заинтересованность в дальнейшем совершенствовании в данной области, желание получать дополнительные знания. В данном случае после усвоения лекционного материала в полном объеме можно обратиться к базовой литературе по дисциплине. Желательно использовать несколько источников одновременно, т.к. разные авторы могут заострять внимание на различных аспектах рассматриваемого явления. Чтение нескольких учебников способствует формированию более полной, разносторонней, «многомерной» картины, усвоению различных тонкостей. При этом теоретические знания просто необходимо переносить на практику, иначе они так и останутся теорией. В ряде случаев это может означать привлечение дополнительных источников информации. Например, можно отметить, что существует масса видеоуроков, лекций, практических примеров, гайдов, тьюториалов по различным дисциплинам, наукам на портале YouTube (при этом необходимо упомянуть, что материал, предназначенный для широкой аудитории, следует рассматривать скептически и подвергать критическому анализу), десятки специализированных форумов, на которых специалисты обмениваются знаниями. Из них можно почерпнуть то недостающее звено, которое обеспечит переход от теории к практике. При достижении достаточно высокого уровня понимания предмета в целом, некоторую специализированную информацию можно почерпнуть из периодических изданий (научных и научно-популярных журналов).

#### *Подготовка к экзамену/зачету.*

В первом приближении для подготовки к экзамену/зачету по дисциплине можно пользоваться следующей схемой: в разделе вопросов для промежуточной аттестации выбирается ряд вопросов (рекомендуемое количество – 1-5 вопросов по сходной тематике), затем в разделе основной литературы выбираются 2-3 источника, в которых производится поиск требуемых материалов, затем по ним происходит подготовка. Далее выбирается следующая группа вопросов и вышеописанные действия повторяются. Таким образом можно подготовиться ко всем вопросам промежуточной аттестации.

Не рекомендуется пользоваться лишь одним учебником для подготовки, поскольку различные авторы преподносят один и тот же материал по-разному. В результате студент получает возможность сформировать более целостную

картину рассматриваемого объекта, явления, процесса. Поэтому рекомендуемое число различных учебников начинается от 2-3. При желании получить более глубокие и разносторонние знания можно пользоваться и большим числом источников, а также источниками, указанными в дополнительном списке. Дополнительными источниками также необходимо пользоваться в тех случаях, когда не удастся найти искомые материалы в списке основной литературы. Кроме того, в таких случаях рекомендуется обратиться к преподавателю по указанному адресу электронной почты за консультацией.

Кроме теоретической подготовки, рекомендуется также прорешать типовые расчетные задания по всем разделам курса, если таковые предусмотрены программой. Если по дисциплине в списке основной литературы указан задачник, то его также в обязательном порядке необходимо использовать при подготовке.

Как уже указывалось, подготовка должна проводиться по укрупненным группам вопросов, сгруппированных по темам. К следующей теме необходимо переходить только после того, как появляется твердая уверенность в том, что основные знания по изучаемой в данный момент теме закреплены на достаточном уровне и получены навыки практического решения соответствующих задач.

Для получения первичных знаний по изучаемой теме можно пользоваться любыми информационными материалами, находящимися в свободном доступе, например, материалами онлайн-энциклопедии Wikipedia, различными интернет-статьями и пр. Но при этом к полученным материалам всегда необходимо относиться осторожно и по возможности проверять приводимые в них формулы и количественные данные при помощи сопоставления с другими источниками. Далее полученные знания необходимо углублять при помощи литературы (рекомендуемое число различных учебников – 2-3). Так реализуется многоуровневый ступенчатый процесс самообучения, когда студент может сам решить, на каком уровне углубления в материал можно остановиться. Это решение может быть основано на личных предпочтениях, желаемой потенциальной оценке по дисциплине за промежуточную аттестацию, а также на области профессиональных, творческих интересов.

Одними из основных информационных материалов при подготовке ко всем разделам дисциплины могут стать учебники и/или учебные пособия, а также методические указания по дисциплине (при их наличии), подготовленные ведущим преподавателем. Данные материалы можно получить на выпускающей кафедре либо у ведущего преподавателя.

## **Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки**

### *Рекомендации по оформлению результатов лабораторных работ*

Результаты самостоятельной работы отражаются в письменных работах (отчетах по лабораторным работам).

К представлению и оформлению отчетов по лабораторным работам предъявляются следующие требования.

#### Структура отчета по лабораторной работе

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MS Word.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и/или расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т.д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, состоит из следующих частей:

- Титульный лист – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, оформляется по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться не отдельно, а в общем файле, где представлен текст отчета);

- Исходные данные к выполнению заданий – обязательная компонента отчета, начинается с новой страницы, содержат указание варианта, тему, план работы и т.д.);

- Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т.д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать, исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

- Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);

- Приложения – необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета. Здесь могут

находиться, например, справочные данные по используемым приборам, элементам, материалам. Приложения могут приводиться с целью упростить сверку экспериментально полученных результатов со справочными или с целью сравнения.

#### Оформление отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа относится к категории «письменная работа», оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

#### Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы – левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т.д.).
- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца

блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую сквозную нумерацию страниц работы.

Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экрана («скриншотов»)

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

*Оценивание лабораторных работ проводится по критериям:*

- полнота и качество выполненных заданий;
- владение методами и приемами компьютерного моделирования в исследуемых вопросах, применение специализированных программных средств;
- качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов;
- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников сети Интернет, информации нормативно-правового характера и передовой практики;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

*Критерии оценки лабораторных работ (двухбалльная шкала).*

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент выполняет лабораторную работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения измерений, правильно самостоятельно определяет цель работы; самостоятельно, рационально выбирает необходимое оборудование для получения наиболее точных результатов проводимой работы. Грамотно и логично описывает ход работы, правильно формулирует выводы, точно и аккуратно выполняет все записи, оформляет таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и т.п., умеет обобщать фактический материал. Допускается два/три недочёта или одна негрубая ошибка и один недочёт. Работа соответствует требованиям и выполнена в срок.
«не зачтено»	Студент выполнил работу не полностью, объем выполненной части не позволяет сделать правильные выводы; не определяет самостоятельно цель работы; в ходе работы допускает одну и более грубые ошибки, которые не может исправить, или неверно производит наблюдения, измерения, вычисления и т.п.; не умеет обобщать фактический материал. Лабораторная работа не выполнена.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
	Тема 1	ПК-1.1 выбирает теоретические и экспериментальные методы исследования изделий микро- и нанoeлектроник и	Знает способы обоснованного выбора методик экспериментальных исследований; способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи; практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов; методы обработки результатов измерений	УО-4 дискуссия	вопросы к экзамену 1-5; УО-1 собеседование
			Умеет выбирать методики и средства измерений для экспериментальных исследований параметров узлов электронной техники; проводить измерения различных параметров при контроле производственных процессов; самостоятельно		



		изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с планированием эксперимента и отдельных его этапов при производстве изделий электронной техники		
		Владеет навыками составления экспериментальных методик исследований; навыками выбора методики и средств измерений для экспериментальных исследований параметров материалов и приборов при производстве электронной техники; практическими способами контроля заданных параметров при решении измерительных задач в производстве электронной техники, в зависимости от типа исследуемого материала или прибора	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 1-2; УО-1 собеседование
Тема 2	ПК-1.2 анализирует тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроник и, смежных областей науки и техники	Знает перспективные направления электроники и нанoeлектроники, в которых используются или могут использоваться электронные измерения на современном оборудовании; современные способы решения научных и инновационных задач, возникающих в конкретной предметной области электроники и нанoeлектроники	УО-4 дискуссия	вопросы к экзамену 6-10; УО-1 собеседование
		Умеет определять перспективные направления электроники и нанoeлектроники, в которых используются или могут использоваться электронные измерения на	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 3-4; УО-1 собеседование

			современном оборудовании; использовать современные способы решения научных и инновационных задач электроники и наноэлектроники для достижения конкретного результата		
			Владеет способами и навыками, позволяющими определять перспективные направления электроники и наноэлектроники, в которых активно используются или могут использоваться электронные измерения на современном оборудовании; методиками достижения конкретного результата на основе использования современных способов решения научных и инновационных задач электроники и наноэлектроники	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 3-4; УО-1 собеседование
	Тема 3	ПК-1.3 ставит цели и задачи научного исследования в соответствующей области знаний	Знает способы планирования, постановки целей и задач, а также определения основных этапов научного исследования; знает способы обоснованного выбора современных методик научных исследований; способы выбора средства измерения для решения конкретной измерительной задачи	УО-4 дискуссия	вопросы к экзамену 11-16; УО-1 собеседование
			Умеет планировать научное исследование, ставить цели и задачи, а также выделять основные этапы; знает способы выбора методики и средства измерений для проведения научных	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 5-6; УО-1 собеседование

			исследований; умеет проводить измерения различных параметров; умеет изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с планированием научных исследований		
			Владеет навыками постановки целей, задач и составления методик научных исследований; навыками выбора методики и средств измерений для научных исследований различной направленности; владеет практическими навыками контроля заданных параметров при решении измерительных задач с учетом специфики микро- и нанoeлектроники	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 5-6; УО-1 собеседование
	Тема 4	ПК-6.1 демонстрирует знание методов исследования поверхности низкоразмерных структур, основных типов и параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований	Знает способы выборы методик экспериментальных исследований; устройство полупроводниковых приборов различного назначения; разновидности устройств электроники и нанoeлектроники; практические методики исследования параметров полупроводниковых материалов и приборов; современное состояние достижений, проблем и путей их решения в физике полупроводников	УО-4 дискуссия	вопросы к экзамену 17-21; УО-1 собеседование
			Умеет анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений в полупроводниках и соответствующих полупроводниковых приборов; самостоятельно	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 7-8; УО-1 собеседование

			<p>изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами современной физики полупроводников и низкоразмерных систем; умеет выбирать типы и характеристики лабораторных установок для проведения экспериментальных исследований в соответствующей предметной области</p>		
			<p>Владеет способами описания различных механизмов проводимости и явлений в полупроводниках; навыками составления экспериментальных методик исследований и способами описания физико-математических моделей полупроводниковых приборов, явлений в полупроводниках и их характеристик на основе физических законов; методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников для определения необходимых характеристик приборов, систем, установок различного назначения</p>	<p>ПР-6 лабораторная работа</p>	<p>практические задания к экзамену, тип 7-8; УО-1 собеседование</p>
	Тема 5	ПК-6.2 осуществляет моделирование и практическое определение структуры и свойств	<p>Знает основные физические законы, а также положения теории фракталов и динамического хаоса, пригодные для построения теоретических моделей различных явлений и</p>	<p>УО-4 дискуссия</p>	<p>вопросы к экзамену 22-27; УО-1 собеседование</p>

		<p>материалов</p>	<p>эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; знает способы составления математических моделей и вычислительного моделирования для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; знает способы практического определения структуры и свойств материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>		
			<p>Умеет определять физические законы, а также положения теории фракталов и динамического хаоса, пригодные для построения теоретических моделей различных явлений и эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; умеет составлять математические модели и проводить вычислительное моделирование для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; умеет определять структуру и свойства материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>	<p>ПР-6 лабораторная работа</p>	<p>практические задания к экзамену, тип 9-11; УО-1 собеседование</p>

			<p>Владеет навыками определения физических законов и их следствий, а также положений теории фракталов и динамического хаоса, пригодных для построения теоретических моделей различных явлений и эффектов, возникающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; владеет различными способами выбора/составления математических моделей и вычислительного моделирования для количественной оценки процессов, протекающих в материалах и устройствах микро- и нанoeлектроники; владеет навыками практического определения структуры и свойств материалов и устройств микро- и нанoeлектроники с применением современных методов исследования и автоматизированных средств измерения</p>	<p>ПР-6 лабораторная работа</p>	<p>практические задания к экзамену, тип 9-11; УО-1 собеседование</p>
	Темы 6-7	<p>ПК-6.3 применяет методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах</p>	<p>Знает основные идеи и методы теории фракталов и теории динамического хаоса для описания физических процессов; знает основные методы вычислительной физики и математического моделирования различных явлений, процессов, объектов, в том числе в области нанoeлектроники, структур пониженной размерности</p>	<p>УО-4 дискуссия</p>	<p>вопросы к экзамену 28-32; УО-1 собеседование</p>
			<p>Умеет использовать основные идеи и методы теории фракталов и теории</p>	<p>ПР-6 лабораторная работа</p>	<p>практические задания к экзамену, тип 12-14;</p>

			динамического хаоса для описания физических процессов; умеет анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели различных явлений, процессов, объектов; умеет самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с вопросами вычислительного моделирования		УО-1 собеседовани е
			Владеет методологией теории фракталов и теории динамического хаоса для описания физических процессов, в том числе в низкоразмерных структурах; владеет навыками составления алгоритмов для решения физико-математических задач, для моделирования различных явлений, процессов, объектов на основе физических законов; владеет навыками применения полученных знаний и результатов моделирования для решения конкретных практических задач в выбранной предметной области	ПР-6 лабораторная работа	практические задания к экзамену, тип 12-14; УО-1 собеседовани е

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII («Фонд оценочных средств»).

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Основная литература

1. Махоркин А.В. Математика фракталов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Махоркин А.В., Махоркин В.В. – Электрон. текстовые данные. – Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012. – 156 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23794.html>. – ЭБС «IPRbooks».

2. Тренькин А.А. Введение в теорию фракталов. Математические аспекты и некоторые физические приложения [Электронный ресурс]: учебное издание / Тренькин А.А. – Электрон. текстовые данные. – Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2011. – 40 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60841.html>. – ЭБС «IPRbooks».

3. Нелинейность. От колебаний к хаосу [Электронный ресурс]: задачи и учебные программы / А.П. Кузнецов [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2011. – 188 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16576.html>. – ЭБС «IPRbooks».

4. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физматлит, 2011. – 356 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:15812&theme=FEFU>

5. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова.– М.: Физматлит, 2011.- 496 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2703](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2703)

6. Практикумы по дисциплине Сжатие сигналов с применением теории фракталов [Электронный ресурс] / – Электрон. текстовые данные.– М.: Московский технический университет связи и информатики, 2014. – 36 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61542.html>. – ЭБС «IPRbooks».

7. Поршнева С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете МАТЛАВ: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 726 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:307438&theme=FEFU>

## Дополнительная литература

1. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 128 с. <http://www.iprbookshop.ru/17672>

2. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Либроком, 2011. – 136 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:48864&theme=FEFU>

3. Стратонович Р.Л. Случайные процессы в динамических системах. М.–Ижевск: РХД, 2011. – 592 с. <http://www.iprbookshop.ru/17654>



4. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. – М.: Либроком, 2011. – 395 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:22224&theme=FEFU>

5. Шелухин О.И., Осин А.В, Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: Физматлит, 2011. – 368 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2307](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2307)

### **Интернет-ресурсы**

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства ([www.fepo.ru](http://www.fepo.ru))
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) – Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
6. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) – Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
7. [www.affp.mics.msu.su](http://www.affp.mics.msu.su)
8. Научная библиотека ДВФУ <https://www.dvfu.ru/library/>
9. «eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
10. «ИНТУИТ» Национальный открытый университет <http://www.intuit.ru/studies/courses/3688/930/lecture/16466>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows, пакет программного обеспечения Microsoft Office: Word, Outlook, Power Point, Excel).

2. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине требуется один из пакетов математического моделирования (MathCAD, MATLAB и др.) или их свободно распространяемые аналоги (SMath\_studio, SciLab и др.).

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>

2. Базаданных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

3. База данных полнотекстовых академических журналов Китая <http://oversea.cnki.net/>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Организация работы и планирование времени на изучение учебного материала**

В процессе обучения студент должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы обычно составляет по времени до 25-50% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которыми каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины или на кафедре.

Главное в период обучения своей специальности – это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на следующий день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием как успешной учебы, так и последующей работы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Конспектирование лекционного материала должно производиться кратко, схематично, последовательно. Фиксируются основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечаются важные мысли, выделяются ключевые слова, термины. Термины, понятия проверяются с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Необходимо обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Только если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.

Материал лекций необходимо закреплять самостоятельно. В первую очередь, на следующий день необходимо еще раз проработать материал лекции. Практика показывает, что если не сделать этого в течение двух-трех дней, то большая часть материала забудется. В дальнейшем процесс забывания идет по экспоненте. При изучении материала обязательно использование учебников и других материалов по дисциплине. Необходимо найти контрольные вопросы по соответствующей теме, ответить на них. В случае если по теме есть задачи, то их необходимо решить и сверить с правильными вариантами ответов (при наличии). В случае затруднений необходимо проконсультироваться у преподавателя.

Во всех различных ситуациях, приводящих к ошибочным действиям, некорректным выводам и/или ответам необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков, а следовательно, успешной учебы и работы.

Примерное распределение времени самостоятельной работы, которое студент должен отводить на тот или иной вид занятий: закрепление лекционного материала – 15%, подготовка к практическим занятиям – 30-40%, подготовка к лабораторным работам – 30-40%, подготовка к экзамену/зачету – 5-25%. Тем не менее, учитывая особенности каждого студента и структуру конкретного курса, указанные часы могут варьироваться.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические занятия, задания для самостоятельной работы.

Лекционные занятия предназначены для получения студентами базовых знаний по какому-либо разделу дисциплины. Это фундамент, необходимый для последующей успешной самостоятельной работы студентов и дальнейшего изучения ими учебного материала.

Практические занятия призваны дополнить лекционный курс в части получения студентами практических навыков. Благодаря данному виду занятий теоретический материал связывается с решением типовых примеров, задач, выполнением некоторых заданий и усваивается более полно.

Самостоятельная работа занимает особое место для профессиональной подготовки студентов. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу, анализируют его, выполняют различные задания, учатся самостоятельно мыслить и находить решения проблем. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, приведенными в списке литературы, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Дисциплину рекомендуется изучать по плану занятий и самостоятельной работы. Обучающийся должен своевременно выполнять текущие задания и представлять/защищать их во время занятий или на консультации.

При подготовке к лекционным занятиям обучающийся изучает план лекционного материала, рекомендованную и дополнительную литературу.

Для подготовки к практическим занятиям требуется изучение лекционного материала, уверенное знание ответов на контрольные вопросы для закрепления материала.

К зачету/экзамену обучающийся должен отчитаться по всем практическим занятиям и по всем лабораторным работам, если таковые предусмотрены программой курса. Темы, рассмотренные на лекционных занятиях, но не отраженные в практических занятиях/лабораторных работах, закрепляются обучающимся во время самостоятельной работы.

При подготовке к зачету/экзамену необходимо повторить учебный материал, используя конспект лекций, основную и дополнительную литературу, при необходимости посетить консультации. Экзамен может быть принят в форме ответов на вопросы, в форме теста (который составляется на основе изученного материала), а также может засчитываться по результатам рейтинга.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия проводятся в стандартных лекционных аудиториях лабораторного корпуса (корпус L). Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе (корпус D или корпус L) со стандартным техническим оснащением (компьютеры под управлением ОС Windows, пакет Microsoft Office, один из пакетов MathCAD, MATLAB или их свободно распространяемые аналоги).

### **Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

<b>Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L444, L534	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, Количество посадочных рабочих мест для студентов – 24. Специализированная лаборатория Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий; количество посадочных рабочих мест для студентов - 12	Microsoft Office365/Microsoft/США/Платное ПО  Microsoft Teams/Microsoft/США/Платное ПО

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Для дисциплины «Элементы теории фракталов в физике» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Дискуссия (УО-4)

Письменные работы:

1. Отчеты по лабораторным работам (ПР-6)

### **Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачёту.

Дискуссия (УО-4) – оценочное средство, позволяющее включить обучающихся в процесс обсуждения спорного вопроса, проблемы и оценить их умение аргументировать собственную точку зрения.

### **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Отчет по результатам лабораторной работы (ПР-6) – средство для закрепления и практического освоения материала по определенному разделу.

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Элементы теории фракталов в физике» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – экзамен (3-й, осенний семестр). Перечень тем для подготовки представлен ниже. Вопросы составлены таким образом, чтобы по возможности полно охватить содержание различных разделов дисциплины. Для получения положительной оценки на экзамене необходимо ответить на один теоретический вопрос и выполнить одно практическое задание, примеры

которых рассматриваются на практических занятиях. Также на экзамен студенту необходимо предоставить свой конспект лекций.

### **Методические указания по сдаче экзамена**

Экзамен принимается ведущим преподавателем. Форма проведения экзамена – письменный ответ на теоретический вопрос и выполнение одного практического задания (при необходимости экзамен может быть проведен в форме тестирования). Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, калькуляторами. Для выполнения практического задания требуется использование персонального компьютера/ноутбука. С разрешения преподавателя, проводящего экзамен, возможно использование справочной литературы, учебников, методических указаний, а в некоторых случаях и собственного конспекта лекций.

Вопросы на экзамен охватывают различные разделы дисциплины. Студенты получают варианты вопросов одновременно в начале экзамена. На подготовку ответов выделяется 15-20 минут. Письменные ответы также сдаются студентами одновременно по истечении времени, отведенного на подготовку и написание ответа. После сдачи письменных ответов студенты выполняют практическое задание. Время выполнения – 30-40 минут. Далее преподаватель проверяет работы студентов, степень выполнения практического задания и объявляет оценки. При спорной оценке преподавателем могут быть заданы дополнительные вопросы в рамках изучаемой дисциплины. Дополнительные вопросы могут быть заданы в письменной форме, в устной форме, а также в форме практического задания.

Итоговые оценки вносятся в электронную экзаменационную ведомость.

### **Вопросы к экзамену**

*Форма контроля – собеседование (УО-1)*

1. Определения фрактала по Б.Мандельброту (раннее и позднее). Привести примеры естественных и искусственных фрактальных объектов.
2. Классификация фракталов (по А.Потапову), наиболее известные математические фракталы, их алгоритмы построения, размерности.
3. Размерность Хаусдорфа. Топологическая размерность составляющих фрактал элементов. Размерность пространства вложения. Примеры физических и математических фракталов различных размерностей.
4. Нарушение закономерностей евклидовой геометрии на примере фрактального «шестиугольника». Соотношение периметра и площади.

5. Задача перколяции на квадратной решетке. Задача перколяции по узлам и по связям. Фрактальность кластеров на пороге перколяции.
6. Ограниченная диффузией агрегация. Рост фрактальных ветвей.
7. Экспериментальные способы определения фрактальной размерности. Пример определения длины береговой линии.
8. Корреляционные размерности, информационные размерности. Корреляционный интеграл. Спектр размерностей Реньи.
9. Мультифрактальные множества, их характеристики.
10. Явление динамического (детерминированного) хаоса. Определения, способы описания. Характеристики нелинейных динамических систем, в которых возникают хаотические колебания.
11. Отличия хаоса от шума. Влияние начальных условий на поведение хаотической системы. Понятия фазового пространства и аттрактора.
12. Традиционные и странные аттракторы. Примеры аттракторов. Сечения Пуанкаре. Влияние шума на форму аттракторов хаотических систем.
13. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу через бифуркации удвоения периода. Процедура Кёнигса-Ламерея. Бифуркационная диаграмма. Универсалии Фейгенбаума.
14. Сценарий Рюэля-Такенса перехода к хаосу через разрушение двухчастотных колебаний.
15. Сценарий Помо-Манневиля перехода к хаосу через перемежаемость.
16. Отображение Эно. Аттрактор, временные зависимости.
17. Отображение Икеды. Аттрактор, временные зависимости.
18. Система Лоренца-Рёсслера. Аттрактор, временные зависимости.
19. Осциллятор Уеды. Аттрактор, временные зависимости.
20. Осциллятор Ван-дер-Поля. Аттрактор, временные зависимости.
21. Карты динамических режимов на примере осциллятора Дуффинга.
22. Электронные генераторы хаотических колебаний и соответствующие им аттракторы на примере схемы Л.Чуа. Аттрактор типа «double scroll» («двойной завиток»).
23. Самоподобие шумов со спектральной плотностью, подчиняющейся обобщенно-гиперболическому закону. Классификация.
24. Оценка степени случайности процесса при помощи показателя Херста. Связь показателя Херста и степенного показателя спектральной плотности шума.
25. Автокорреляционные функции шумовых и хаотических сигналов. Сравнение спектральных характеристик хаотических систем в различных режимах и шумовых сигналов.

26. Фрактальные антенны. Перспективные метаматериалы. Отражение волн фрактальными поверхностями.
27. Фрактальные свойства различных сигналов. Современные методы обработки речевых сигналов, изображений. Фрактальное сжатие изображений.
28. Аддитивный белый гауссов шум. Характеристики.
29. Интегрирование белого шума. Винеровский интеграл, винеровский процесс. Коричневый шум. Характеристики.
30. Розовый шум. Черные шумы. Характеристики.
31. Дифференцирование белого шума. Синий шум. Фиолетовый шум. Характеристики.
32. Интерпретация дифференцирования и интегрирования как операций фильтрации. Характеристики данных фильтров.

### **Типы практических заданий для промежуточной аттестации**

Тип 1. Дано квадратичное точечное отображение вида  $x_{n+1} = \lambda \cdot x_n \cdot (1 - x_n)$ . Построить траекторию отображения (реализовать процедуру Кёнигса-Ламерея) в координатах  $(x_{n+1}; x_n)$  (область построения по обеим координатам - от 0 до 1). Начальное значение и величину управляющего параметра выбрать самостоятельно. Объяснить написанный код.

Тип 2. Дано квадратичное точечное отображение вида  $x_{n+1} = \lambda \cdot x_n \cdot (1 - x_n)$ . Построить для него бифуркационную диаграмму. Шаг по управляющему параметру, число итераций при каждом значении параметра, а также начальное значение переменной выбрать самостоятельно. Объяснить написанный код.

Тип 3. На основании результатов выполнения задания №2 определить универсальные числа Фейгенбаума (коэффициенты масштабирования бифуркационной диаграммы по осям абсцисс и ординат). При каких значениях управляющего параметра наблюдается стационарное состояние, цикл кратности 2, 4, 8?

Тип 4. Пользуясь одним из известных алгоритмов, построить кривую «дракона» («дракон» Хартера-Хейтуэя). Объяснить написанный код.

Тип 5. Построить фрактал Кантора (Канторова «пыль»). Объяснить написанный код.

Тип 6. Построить «ковер» Серпинского как реализацию «игры в хаос». Объяснить написанный код.

Тип 7. Построить «снежинку» Коха. Объяснить написанный код.



Тип 8. Построить H-фрактал. Длину вертикальных линий выбрать в два раза меньше горизонтальной. Коэффициент масштабирования при построении следующей итерации выбрать равным 0,45. Объяснить написанный код.

Тип 9. Реализовать один из алгоритмов определения фрактальной размерности заданного множества точек. Исходное множество задано массивом, в котором указаны координаты каждой точки. Приблизительно определить значение фрактальной размерности. Объяснить написанный код.

Тип 10. Задать системы Эно и Икеды с соответствующими параметрами, при которых получаются хаотические режимы. Построить временные зависимости и аттракторы для данных систем. Вычислить спектры временных зависимостей. Вывести полученные результаты на экран. Объяснить полученный код.

Тип 11. Для системы Лоренца-Рёсслера построить аттракторы, соответствующие различным режимам по степени хаотичности. Построить для всех режимов временные зависимости и спектры временных зависимостей. Вывести полученные результаты на экран. Объяснить полученный код.

Тип 12. Исследовать систему Чуа на наличие различных режимов работы. Подобрать значения управляющих параметров, при которых наблюдается аттрактор типа «double scroll» («двойной завиток»). Построить соответствующие аттракторы для различных режимов. Также построить соответствующие временные зависимости. Вывести полученные результаты на экран. Объяснить полученный код.

Тип 13. Создать массив отсчетов сигнала, представляющего белый шум (не обязательно гауссовский). Получить коричневый шум, проинтегрировав белый шум. Вычислить спектры шумов. Вывести кривые для всех шумов на экран. Объяснить написанный код.

Тип 14. Создать массив отсчетов сигнала, представляющего белый шум (не обязательно гауссовский). Продифференцировать белый шум, получить фиолетовый шум. Вычислить спектры шумов. Вывести кривые для всех шумов на экран. Объяснить написанный код.

### **Критерии выставления оценки студенту на экзамене**

К экзамену допускаются обучающиеся, посетившие не менее 80% всех занятий, а также успешно защитившие курсовой проект и отчитавшиеся по всем лабораторным работам.

*Критерии оценивания представлены в таблице.*

Баллы(рейтинговой оценки)	Оценка(стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (дискуссии (УО-4), лабораторных работ (ПР-6)), по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность

выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### Вопросы для дискуссии

1. Классификация и примеры фрактальных объектов.
2. Фракталы в задаче перколяции.
3. Способы определения фрактальной размерности.
4. Основы теории динамического хаоса.
5. Понятие аттрактора и фазового пространства.
6. Фрактальность сечений аттракторов.
7. Аттракторы простейших хаотических систем.
8. Сценарии перехода к хаосу.
9. Бифуркационная диаграмма.
10. Самоподобные случайные процессы.

### Критерии оценивания

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент показал развернутый ответ на вопрос, обнаружил понимание материала, знание основной литературы, обоснованность суждений, неточности в ответе исправляет самостоятельно.
«не зачтено»	Студент обнаруживает незнание вопроса, неуверенно излагает ответ, знания отрывочны и фрагментированы. Требуется значительная помощь студенту в формировании удовлетворительного ответа на вопрос.

### Тематика лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Общие способы построения известных фракталов. Построение «пыли» Кантора, «снежинки» Коха, «салфетки» Серпинского и других фракталов.

Лабораторная работа №2. Анализ логистического отображения. Построение процедуры Кёнигса-Ламерея при различных значениях управляющего параметра.

Лабораторная работа №3. Построение и анализ бифуркационной диаграммы Фейгенбаума. Расчет универсальных констант.

Лабораторная работа №4. Построение и анализ фрактальных аттракторов Эно и Икеды, аттрактора Лоренца-Рёсслера. Анализ влияния шума на форму и устойчивость аттракторов.

Лабораторная работа №5. Моделирование поведения схемы Л.Чуа в программе MathCAD (или аналоге). Расчет параметров схемы для заданного режима и моделирование в программе ElectronicWorkbench (или аналоге).

Лабораторная работа №6. Вычисление размерности фрактального объекта, вложенного в двумерное пространство. Построение случайных и детерминированных фракталов. Вычисление информационной размерности.

Лабораторная работа №7. Определение спектральных характеристик хаотических и шумовых временных рядов. Идентификация вида шума. Реконструкция аттрактора по временному ряду. Вычисление фрактальных размерностей временных рядов. Использование программы fractan.

### Критерии оценки результатов лабораторных работ

Оценка	Требования
<i>«зачтено»</i>	Студент выполняет лабораторную работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности, правильно самостоятельно определяет цель работы; самостоятельно, рационально выбирает необходимое оборудование для получения наиболее точных результатов проводимой работы. Грамотно и логично описывает ход работы, правильно формулирует выводы, точно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и т.п., умеет обобщать фактический материал. Допускается два/три недочёта или одна негрубая ошибка и один недочёт. Работа соответствует требованиям и выполнена в срок.
<i>«не зачтено»</i>	Студент выполнил работу не полностью, объем выполненной части не позволяет сделать правильные выводы; не определяет самостоятельно цель работы; в ходе работы допускает одну и более грубые ошибки, которые не может исправить, или неверно производит наблюдения, измерения, вычисления и т.п.; не умеет обобщать фактический материал. Цель работы не достигнута.