

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Эконофизика. Сложные сети
по направлению:	Прикладная математика и информатика
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра дискретной математики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.В. Леонидов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры дискретной математики 04.03.2022

Аннотация

Цель курса - познакомить студентов с сюжетами из естественнонаучных дисциплин, прежде всего физики, имеющими существенное значение для анализа современных задач в социальноэкономических дисциплинах и компьютерных науках.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по теории функции комплексного переменного и методам решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных и умение использовать эти методы для экономических задач, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания по теории функции комплексного переменного и по уравнениям математической физики;
- формирование у студентов умений и навыков применять полученные знания для решения экономических задач, самостоятельного анализа полученных результатов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области прикладной математики и информатики
ОПК-2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.2 Способен оценить актуальность и практическую значимость прикладных математических исследований в своей профессиональной области
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные базовые модели эконофизики;
- основные понятия и методы уравнений математической физики и теории функций комплексного переменного.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- описывать экономические процессы средствами математической физики;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических и экономических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Комплексное число. Функция комплексной переменной		8		
2	Ряд Лорана		8		
3	Конформные отображения		8		
4	Броуновское движение. Уравнение Ланжевена		8		
5	Устойчивость динамических режимов. Функция Ляпунова. Элементы теории катастроф.		8		
6	Основные понятия статистической физики как вероятностной задачи с ограничениями. Формулировка статистической механики в терминах теории информации. Статистическая сумма. Элементы теории больших отклонений.		8		
7	Модель случайных энергий. Стекольный фазовый переход.		8		30
8	Статистическая физика и оптимизация		2		
9	Основные понятия квантовой механики.		2		
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Комплексное число. Функция комплексной переменной

Комплексное число. Формы представления. Операции с комплексными числами. Комплексно сопряженное число. Комплексная плоскость. Последовательность комплексных чисел. Предел последовательности. Необходимое и достаточное условие сходимости. Критерий Коши сходимости последовательности. Функция комплексной переменной. Производная. Необходимое и достаточное условие существования производной. Геометрический смысл производной. Аналитическая функция. Необходимое и достаточное условие аналитичности. Сопряженная функция. Гармоническая функция. Интеграл. Необходимое и достаточное условие существования интеграла. Теорема Коши. Функция Коши.

2. Ряд Лорана

Числовой ряд. Сходимость ряда. Критерий сходимости Коши. Абсолютно сходящийся ряд. Признак сходимости Коши. Признак сходимости Даламбера. Функциональные ряды. Сходимость. Равномерная сходимость. Признак Вейерштрасса. Критерий Коши. Степенные ряды. Теорема Абеля. Коэффициенты сходящегося степенного ряда. Радиус сходимости ряда. Теорема Тейлора. Ряд Лорана. Область сходимости. Классификация особых точек.

3. Конформные отображения

Основные свойства конформных отображений. Отображение квадратичной функцией и обратной. Отображение степенной функцией и обратной. Отображение дробно-линейной функцией. Отображение экспоненциальной функцией и обратной. Функция Жуковского и обратная функция.

4. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена

Математические аспекты. Общее уравнение Ланжевена.

5. Устойчивость динамических режимов. Функция Ляпунова. Элементы теории катастроф.

Функции Ляпунова и теорема Ляпунова об устойчивости

6. Основные понятия статистической физики как вероятностной задачи с ограничениями. Формулировка статистической механики в терминах теории информации. Статистическая сумма. Элементы теории больших отклонений.

Фазовый переход в модели Изинга на полном графе. Статическое описание.

Динамическое описание модели Изинга в рамках глауберовской кинетики

Игра Изинга на полном графе. Статическое равновесие и динамическое описание.

Модель Изинга в случайном магнитном поле. Гистерезис.

Модель Изинга в случайном магнитном поле как универсальная метафора социоэкономической динамики.

7. Модель случайных энергий. Стекольный фазовый переход.

Физика неупорядоченных систем в рамках теории случайных матриц. Самоорганизованная критичность. Модель песочной горки. Режимы возникновения самоорганизованной критичности. Спиновые стекла. Общие свойства.

8. Статистическая физика и оптимизация

Метод Монте - Карло. Метод стимулированного отжига. Статистическая физика и машинное обучение: обзор сюжетов

9. Основные понятия квантовой механики.

Квантовые вычисления. Основная идея и методы реализации. Квантовые компьютеры: современное состояние и перспективы

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Стандартная учебная аудитория.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература на кафедре:

1. Введение в эконофизику. Корреляция и сложность в финансах. Мантенья Р., Стенли Ю. , М.: Либроком, 2009. - 192 с.
2. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / М. Ю. Романовский, Ю. М. Романовский ; под ред. Д. С. Чернавского .— М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исследований, 2007 .— 280 с.

Дополнительная литература

Литература на кафедре:

1. Современная физика в поисках экономической теории. Харитонов В.В., Ежов А.А. , М: МИФИ, 2007. - 624 с.
2. Основы физической экономики. Современная физика в поисках экономической теории.- М: Радио и связь, 1999.- 184 с.
3. S. Karmi, "Generating Function Method"
4. M. Jackson, "Social and economic networks"
5. S.N. Dorogovtsev, J.F.F. Mendes, "Evolution of networks"

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

Не используются

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, MATLAB, Maple и др.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

1. Рекомендуется успешно сдавать контрольные работы, так как это упрощает итоговую аттестацию по предмету.
2. Для подготовки к итоговой аттестации по предмету лучше всего пользоваться материалами лекций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладная математика и информатика
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра дискретной математики
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Леонидов, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области прикладной математики и информатики
ОПК-2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.2 Способен оценить актуальность и практическую значимость прикладных математических исследований в своей профессиональной области
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экофизика. Сложные сети» обучающийся должен:

знать:

- основные базовые модели экофизики;
- основные понятия и методы уравнений математической физики и теории функций комплексного переменного.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- описывать экономические процессы средствами математической физики;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических и экономических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры заданий к курсу:

1. Показать, что уравнение Ван-дер-Поля имеет по крайней мере один предельный цикл
2. Вычислить показатель Ляпунова для треугольного отображения
3. Показать, что прирост информации реализует функцию Ляпунова для мастер - уравнения в кинетической теории
4. Вычислить двухточечный коррелятор скорости для уравнения Ланжевена
5. Построить решение уравнения Фоккера-Планка методом итераций
6. Описать механизм рыночного краха с использованием уравнения Ланжевена для ценовой динамики
7. Описать концентрацию фрактальной меры для мультипликативного процесса
8. Вычислить скорость выделения упругой энергии вблизи критической точки в модели волокон (fiber bundle)
9. Описать фазовый переход в модели Изинга на полном графе во внешнем поле
10. Вывести уравнение эволюции для двухточечного коррелятора в глауберовской ди-

намике. Описать поведение этого коррелятора вблизи критической точки.

11. Описать игру Изинга на полном графе в терминах популяционной динамики

12. Вычислить вероятность образования четырехспиновой лавины в модели Изинга в случайном внешнем поле

13. Вычислить индекс Херфиндаля в модели случайных энергий

14. Вычислить восприимчивость спинового стекла в приближении среднего поля для гауссового ансамбля случайных матриц с использованием спектра Вигнера

15. Вычислить ошибку обобщения для обучения перцептрона с одним входным паттерном

16. Пояснить эквивалентность задач распознавания и управления для Калмановского фильтра

17. Описать формулировку задачи квантового стимулированного отжига для задачи минимизации пробок в дорожном движении

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

I. Введение. Фазовые переходы и их влияние на свойства материалов. Примеры фазовых переходов (изменение агрегатного состояния; магнитные переходы; переход в сверхпроводящее состояние; мартенситные переходы).

II. Термодинамика фазовых переходов.

1. Фазовый переход как состояние неполного равновесия. Параметр порядка.

2. Связь состояний частичного и полного равновесия системы. Минимизация термодинамического потенциала в состоянии частичного равновесия.

3. Гетерофазное состояние системы. Вероятность образования зародыша. Вклад гетерофазных флуктуаций в термодинамический потенциал. Фазовый переход как особая точка термодинамических величин.

4. Классификация фазовых переходов.

III. Фазовые переходы I рода. Фазовые равновесия.

1. Условия равновесия фаз.

2. Критическая точка. Спинодали.

3. Модельная система с фазовым переходом I рода.

4. Правило фаз Гиббса.

5. Равновесие фаз в слабых растворах.

6. Выделение тепла и изменение объема при растворении.

IV. Фазовые переходы II рода. Теория Ландау.

1. Примеры фазовых переходов II рода. Изменение симметрии при переходе.

2. Микроскопическая модель фазового перехода II рода: система спинов в решетке. Вид термодинамического потенциала при малой степени поляризации.

3. Параметр порядка. Разложение термодинамического потенциала по степеням параметра порядка. Условия на коэффициенты разложения.

4. Изменение термодинамических величин при переходе. Уравнения Эренфеста.

5. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Обобщенное поле. Восприимчивость.

6. Флуктуации параметра порядка и их корреляционная функция.

7. Эффективный гамильтониан.

8. Флуктуационная поправка к теплоемкости при фазовом переходе II рода. Границы применимости теории Ландау.

V. Фазовые переходы II рода. Флуктуационная область.

1. Термодинамические величины во флуктуационной области.

2. Критические индексы. Области слабого и сильного обобщенного поля. Универсальность критических индексов.

3. Соотношения между критическими индексами. Критические индексы, отвечающие теории Ландау.

4. Масштабная инвариантность. Приближенные значения критических индексов.

5. Масштабные размерности. Вычисление масштабных размерностей термодинамических величин.
 6. Построение разложений термодинамического потенциала в областях слабого и сильного поля.
 7. Нахождение термодинамических величин в произвольной точке плоскости температура–поле. Параметрическое уравнение состояния во флуктуационной области.
- VI. Кинетика фазовых переходов.
1. Фазовые переходы I рода. Вероятность образования зародышей другой фазы.
 2. Кинетика роста уединенных зародышей.
 3. Взаимодействие зародышей. Стадия коалесценции.
 4. Фазовые переходы II рода. Зависимость времен релаксации от размера неоднородности.
- VII. Необычные фазовые переходы. Фазовые переходы 2.5-рода.

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.