

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в теорию нелинейных диссипативных систем
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.В. Губернов, д-р физ.-мат. наук

А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 10.02.2020

Аннотация

Дисциплина предназначена для студентов второго курса МФТИ и имеет своей целью ознакомление студентов с задачами и методами современной физики нелинейных диссипативных систем. В частности, студенты получают представление об основных моделях, понятийном аппарате, методах анализа и исследования динамики нелинейных систем, используемых в данной области физики. Это позволит им в будущем применять полученные ранее знания в области теоретической и математической физики к описанию нелинейных диссипативных систем. Целью дисциплины является формирование знаний и умений, необходимых для проведения междисциплинарных исследований с использованием методов современной теоретической физики, построения моделей сложных систем и их анализа.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

ознакомление студентов с задачами и методами современной физики нелинейных диссипативных систем. В частности, студенты получают представление об основных моделях, понятийном аппарате, методах анализа и исследования динамики нелинейных систем, используемых в данной области физики. Это позволит им в будущем применять полученные ранее знания в области теоретической и математической физики к описанию нелинейных диссипативных систем. Целью дисциплины является формирование знаний и умений, необходимых для проведения междисциплинарных исследований с использованием методов современной теоретической физики, построения моделей сложных систем и их анализа.

Задачи дисциплины

Получение у студентов знаний о современных задачах, решаемых в теории нелинейных диссипативных систем;
обучение студентов методам физики нелинейных диссипативных систем;
формирование умений и навыков применять полученные знания для решения задач в смежных областях науки — химической физике, биофизике и т.д.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований и	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок

математические методы исследования, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

1. Основные задачи физики нелинейных диссипативных систем;
2. Основные понятия курса: устойчивость решений систем дифференциальных уравнений, автомодельные решения, бифуркация, показатели Ляпунова, динамический хаос, классификация аттракторов систем дифференциальных уравнений;
3. Смысл применяемых в курсе методов.

уметь:

1. Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач физики нелинейных диссипативных систем.

владеть:

1. Теоретическим и понятийным аппаратом физики нелинейных диссипативных систем.

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	Основные понятия физики нелинейных диссипативных систем	4	2		4

2	Бифуркации в многомерных системах	2	1		4
3	Примеры пространственно-временных структур в нелинейных распределенных системах	4	2		4
4	Пространственно-временные структуры в физических и химических системах и соответствующие модели	4	2		4
5	Теоретическое описание сложных биохимических процессов и популяционной динамики	2	1		4
6	Моделирование популяционной динамики с учетом пространственной структуры	2	1		4
7	Многокомпонентные популяционные модели со сложной пространственной структурой	2	1		4
8	Динамика нелинейных осцилляторов, некоторые примеры	2	1		4
9	Решения в виде бегущих волн. Модель асимптотически тонкого фронта реакции	2	1		4
10	Устойчивость бегущих волн на примере волны горения	2	1		4
11	Нелинейная динамика фронтов реакции	4	2		5
Итого часов		30	15		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 4 (Весенний)

1. Основные понятия физики нелинейных диссипативных систем

Основные понятия. Открытые системы. Неравновесность. Нелинейный осциллятор, возбудимая среда, автоволны, диссипативные структуры.

Элементы качественной теории динамических систем. Диссипативные системы. Фазовый портрет, траектория, основные типы бифуркаций на плоскости.

Устойчивость, характеристические показатели Ляпунова. Понятие аттрактора.

2. Бифуркации в многомерных системах

Бифуркации в многомерных системах. Странные аттракторы.

Отображение Пуанкаре. Теория одномерных гладких отображений.

Хаос в динамических системах и сценарии (пути) его возникновения.

Фрактальные структуры и их размерность.

3. Примеры пространственно-временных структур в нелинейных распределенных системах

Примеры пространственно-временных структур в нелинейных распределенных системах. Автоволновые режимы в средах с диффузией. Уравнение Фишера-Колмогорова-Петровского-Пескунова. Волны перемещения. Бегущие импульсы. Спиральные волны. Ведущие центры. Стационарные неоднородные структуры, бифуркация Тьюринга.

4. Пространственно-временные структуры в физических и химических системах и соответствующие модели

Пространственно-временные структуры в физических и химических системах и соответствующие модели. Модель Пригожина-Лефевра-Николиса («брюсселятор»). Тепловые волны и неоднородные стационарные состояния в системе $\text{Fe}+\text{H}_2$. Механизм эффекта баретирования.

5. Теоретическое описание сложных биохимических процессов и популяционной динамики

Теоретическое описание сложных биохимических процессов и популяционной динамики: ферментативный катализ – уравнение Михаэлиса-Ментен, модели популяционного роста с учетом ограничения емкости, модели структурированные по параметру; модель конкурирующих популяций, модель Жакоба и Моно; моделирование системы хищник-жертва, модель Лотки-Вольтерры.

6. Моделирование популяционной динамики с учетом пространственной структуры

Моделирование популяционной динамики с учетом пространственной структуры; связь теория-эксперимент, размерность параметрического пространства; ресурсное ограничение, диффузионный транспорт; реакционно-диффузионные уравнения; автоволновые решения – волна переключения, выбор скорости.

7. Многокомпонентные популяционные модели со сложной пространственной структурой

Многокомпонентные популяционные модели со сложной пространственной структурой; уравнение непрерывности, описание пространственной динамики 1-D и 3-D – параболические, гиперболические и эллиптические уравнения; конкуренция за ресурс, влияние пространственной динамики на композиционный состав; связь с простыми не распределенными системами.

8. Динамика нелинейных осцилляторов, некоторые примеры

Динамика нелинейных осцилляторов; не изохронность, сепаратриса, связь с решениями в виде бегущих волн, хаотическая динамика нелинейных колебаний.

9. Решения в виде бегущих волн. Модель асимптотически тонкого фронта реакции

Решения в виде бегущих волн. Модель распространения волн горения. Элементы асимптотического анализа структуры и скорости фронта реакции. Модель фронта реакции со свободной границей.

10. Устойчивость бегущих волн на примере волны горения

Задача линейной устойчивости решений в виде бегущих волн на примере модели фронта реакции со свободной границей. Классификация типов неустойчивости, дисперсионные соотношения.

11. Нелинейная динамика фронтов реакции

Решения, возникающие при потере устойчивости бегущих волн горения. Модель распространения волны горения с цепным механизмом реакции. Сценарий Фейгенбаума рождения хаотических режимов распространения волн горения.

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

Для занятий требуется аудитория, оборудованная доской, экраном и проектором.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в синергетику [Текст] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. учеб. пособие для вузов - М.Наука,1990
2. Биофизика [Текст] : в 2 т. Т. 1 : учебник для вузов. Теоретическая биофизика / А. Б. Рубин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МГУ : Наука, 2004 .— 448 с.
3. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях [Текст] = Lectures on nonlinear-differential-equation models in biology/Дж. Марри, -М., Мир, 1983
4. Регулярная и стохастическая динамика [Текст], [монография]/А. Лихтенберг, М. Либерман , -М., Мир, 1984
5. Автоволновые процессы [Текст]/В. А. Васильев, Ю. М. Романовский, В. Г. Яхно , -М., Наука, 1987
6. Математическая биофизика [Текст]/Ю. М. Романовский, Н. В. Степанова, Д. С. Чернавский, -М., Наука, 1984
7. А.И. Чуличков. Математические методы нелинейной динамики.- М.: Физматлит, 2000
8. Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическим моделям в биологии (изд. 2-е, испр. и дополн.) Издательство РХД, 2011 <http://mathbio.ru/>

Дополнительная литература

1. В.Эбелинг. Образование структур при необратимых процессах. М.:Мир, 1979.

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

www.arxiv.org

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

Не предусмотрены.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой - научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.В. Губернов, д-р физ.-мат. наук
А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в теорию нелинейных диссипативных систем» обучающийся должен:

знать:

1. Основные задачи физики нелинейных диссипативных систем;
2. Основные понятия курса: устойчивость решений систем дифференциальных уравнений, автомодельные решения, бифуркация, показатели Ляпунова, динамический хаос, классификация аттракторов систем дифференциальных уравнений;
3. Смысл применяемых в курсе методов.

уметь:

1. Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач физики нелинейных диссипативных систем.

владеть:

1. Теоретическим и понятийным аппаратом физики нелинейных диссипативных систем.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Провести бифуркационный анализ модели «Брюсселятор».
2. Доказать, что сумма показателей Ляпунова равна усреднённой по траектории дивергенции векторного поля.
3. Построить Канторово множество, имеющее фрактальную размерность $\log 7/4$.
4. Чему равна фрактальная размерность трёхмерного ковра Серпинского?
5. Вычислить два первых бифуркационных параметра последовательности Фейгенбаума для логистического отображения.
6. В чём суть эффекта баретирования? Оценить диапазон напряжения, в котором ток, протекающий через баретор, остаётся постоянным.
7. Вывод уравнения Михаэлиса-Ментен

Примеры контрольных заданий:

1. Найти скорость установившейся волны (автомодельного решения) для уравнения $\square x / \square t = \alpha(a-x)(b-x)(c-x) + \square^2 x / \square r^2$, где $a < b < c$.
2. Вывести условия бифуркации Тьюринга для распределённой модели «Брюсселятор».
3. Бифуркационный анализ модели конкурирующих популяций при различном наборе параметров: $dx_1/dt = a_1 * x_1 - b_1 * x_1 * x_2$; $dx_2/dt = a_2 * x_2 - b_2 * x_1 * x_2$.
4. Бифуркационный анализ стандартной и расширенной моделей Лотки-Вольтерры: $\{dx/dt = a * x - b * x * y; \quad dy/dt = -c * y + d * x * y\}$, $\{dx/dt = a * x - b * x * y / (1 + p * x) - E * x; \quad dy/dt = -c * y + d * x * y / (1 + p * x) - M * y\}$.
5. Автоволновое решение в системе:
 $dx/dt = Bx - P(y)x + d^2 x / dr^2$
 $dy/dt = -Axy / (y + C) + D * d^2 x / dr^2$
 $P(y) = 3B\theta(y_0 - y)$ (функция Хэвисайда)

Критерии оценивания

отлично 10 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы

отлично 9 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы, возможны затруднения в ответе на дополнительные вопросы, самостоятельно устраняемые студентом

отлично 8 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы, возможны затруднения в ответе на дополнительные вопросы

хорошо 7 возможны затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые после подсказки преподавателя

хорошо 6 возможны затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые после нескольких подсказок преподавателя

хорошо 5 затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые только с серьезной помощью преподавателя

удовлетворительно 4 затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые только с серьезной помощью преподавателя; неспособность ответить на дополнительный вопрос по другой теме

удовлетворительно 3 неспособность ответить на вопросы билета, однако ответ на дополнительные вопросы из списка экзаменационных

неудовлетворительно 2 неспособность ответить на вопросы билета и на дополнительные вопросы из списка экзаменационных

неудовлетворительно 1 неспособность ответить на вопросы билета и на любой дополнительный вопрос из списка экзаменационных

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 1 час времени на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также любой литературой и вычислительной техникой.