Минобрнауки России

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра радиофизики и электроники

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«Б1.Д.В.Э.8.1 Динамика нелинейных систем в лазерной, химической и биологической физике»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
03.03.02 Физика
(код и наименование направления подготовки)

Медицинская физика
(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Год набора 2024

Рабочая программа дисциплины «*Б1.Д.В.Э.8.1 Динамика нелинейных систем в лазерной, химической и биологической физике*» рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

Кафедра радиофизики и электроники
наименование кафедры

протокол № 6 от "22" 02 2024 г.

Заведующий кафедрой
Кафедра радиофизики и электроники — подпись — А.П. Русинов
наименование кафедры *подпись* *расшифровка подписи*

Исполнители:

Профессор — подпись — М.Г. Кучеренко
должность *подпись* *расшифровка подписи*

ст. преподаватель — подпись — С.А. Пеньков
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Председатель методической комиссии по направлению подготовки
03.03.02 Физика — личная подпись — В.Л. Бердинский
код наименование *личная подпись* *расшифровка подписи*

Заведующий отделом формирования фонда и научной обработки документов
личная подпись — Н.Н. Бигалиева
личная подпись *расшифровка подписи*

Уполномоченный по качеству факультета
личная подпись — А.Д. Стрекаловская
личная подпись *расшифровка подписи*

№ регистрации _____

© Кучеренко М.Г., 2024
© Пеньков С.А., 2024
© ОГУ, 2024

2

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель (цели) освоения дисциплины:
Целью освоения дисциплины «Динамика нелинейных систем в лазерной, химической и биологической физике» является формирование у студентов отчетливого понимания основных закономерностей и свойств, присущих нелинейным системам различной природы, знания границ применимости линейных вариантов теорий, предназначенных для описания этих свойств, овладение теми физическими идеями и понятиями, которые являются общими для систем физической, химической и биологической природы.

Задачи:
Получить представление о качественных методах исследования свойств решений нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих динамическую систему, приобрести навыки построения фазовых портретов точечных динамических систем. Изучить методы решения уравнений динамических систем автоколебательного типа, и уравнений параболического типа для распределенных диссипативных динамических систем.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к дисциплинам (модулям) по выбору вариативной части блока Д «Дисциплины (модули)»

Пререквизиты дисциплины: *Б1.Д.Б.15 Механика*

Постреквизиты дисциплины: *Отсутствуют*

3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК*-2 Способен проводить научные исследования в избранной экспериментальной или теоретической области с применением современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК*-2-В-1 Знает основные методы проведения теоретического и экспериментального исследования в сфере профессиональной деятельности ПК*-2-В-2 Умеет решать профессиональные задачи с применением современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта ПК*-2-В-3 Владеет навыками работы с современным приборным оборудованием, методами обработки и анализа полученных данных	**Знать:** основы физики твердотельных и газовых лазеров, физические принципы работы приборов твердотельной электроники. **Уметь:** применять полученные теоретические знания к решению практических задач и экспериментальной работе с приборами твердотельной и

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
		квантовой электроники. **Владеть:** навыками работы с приборами твердотельной и квантовой электроники и современной измерительной техники.

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 академических часа).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов		
	7 семестр	8 семестр	всего
Общая трудоёмкость	**72**	**72**	**144**
Контактная работа:	**60,25**	**43,25**	**103,5**
Лекции (Л)	30	22	52
Практические занятия (ПЗ)	30	20	50
Консультации		1	1
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	0,25	0,25	0,5
Самостоятельная работа: *- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;* *- изучение разделов курса в системе электронного обучения;* *- подготовка к практическим занятиям;* *- подготовка к коллоквиумам;* *- подготовка к рубежному контролю и т.п.)*	**11,75**	**28,75**	**40,5**
Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)	**зачет**	**экзамен**	

Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Консервативные динамические системы. Гамильтонов формализм.		8	8		4
2	Интегрируемость гамильтоновых систем. КАМ – теорема. Хаос в гамильтоновых системах		11	11		4
3	Диссипативные динамические системы и их аттракторы. Теория устойчивости Ляпунова		11	11		4

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
	Итого:	72	30	30		12

Разделы дисциплины, изучаемые в 8 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
4	Странные аттракторы диссипативных динамических систем. Бифуркации. Типичные сценарии перехода к хаосу.		7	4		12
5	Нелинейные волны в активных средах. Распределенные системы – как динамические системы с бесконечным числом степеней свободы.		8	6		12
6	Основные уравнения распределенных диссипативных систем и анализ их решений.		7	4		12
	Итого:	72	22	14		36
	Всего:	144	52	44		48

4.2 Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
1	2	3
1	Консервативные динамические системы. Гамильтонов формализм.	Введение. Определение динамических систем (ДС). Число степеней свободы ДС. Качественная теория систем ОДУ. Автономные ДС. Фазовое пространство. Гамильтоновы системы. Функции Лагранжа и Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Фазовое пространство гамильтоновой системы. Свойства фазовых портретов гамильтоновых систем. Сохранение фазового объема. Гиперповерхность постоянной энергии. Канонические преобразования.
2	Интегрируемость гамильтоновых систем. КАМ –теорема. Хаос в гамильтоновых системах	Канонические преобразования к переменным «действие-угол». Понятие интегрируемых систем. Системы с одной степенью свободы. Фазовое пространство переменных «действие-угол». Система двух гармонических осцилляторов. 2-тор. Периодическое и условно- периодическое движение на торе. n степеней свободы. Резонансные и нерезонансные торы. Теорема Пуанкаре. Отображение Пуанкаре. Модель Хенона-Хейлеса. Хаотические слои. Системы близкие к интегрируемым. Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера. Случай систем с двумя степенями свободы. Диффузия Арнольда. Паутина Арнольда. Образование стохастического слоя. Динамика вблизи сепаратрисы. Разрушение сепаратрисы. Исчезновение границы между захваченными и пролетными тра-

		екториями. Маятник с подвижной точкой подвеса. Эргодичность и перемешивание. Временные и фазовые средние. Заполнение фазового пространства траекториями ДС. «Разбегание» траекторий. Корреляторы. Расцепление корреляторов в асимптотике для перемешивающих систем.
3	Диссипативные динамические системы и их аттракторы. Теория устойчивости Ляпунова	Понятие аттрактора. Классификация регулярных и хаотических систем по типу аттрактора. Уменьшение фазового объема диссипативных систем. Анализ устойчивости. Особые точки ДС – состояния равновесия. Понятие устойчивости по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость стационарной точки. Анализ устойчивости на основе линеаризации уравнений ДС. Теорема Ляпунова об устойчивости. Анализ устойчивости системы с одной степенью свободы. Узел. Фокус. Седло. Центр. Поведение фазовых траекторий вблизи особых точек. Разбиение фазовой плоскости на области, различающиеся типом особой точки. Устойчивые и неустойчивые предельные циклы. Анализ свойств нелинейного одномерного осциллятора. Фазовые траектории и их поведение в окрестности особых точек. Осциллятор Ван-дер-Поля. Графики и фазовые портреты генераторов квазигармонических, несинусоидальных и релаксационных колебаний. Трехмерное фазовое пространство. Устойчивый и неустойчивый узел и фокус. Седло-фокус и седло-узел. Седловое периодическое движение. Фокусное стремление траекторий к предельному циклу. Аттракторы нулевой размерности и аттракторы – предельные циклы. Инвариантные торы – как многомерные аттракторы.
4	Странные аттракторы диссипативных динамических систем. Бифуркации. Типичные сценарии перехода к хаосу.	Понятие странного аттрактора. Неустойчивость движения на странном аттракторе. Глобальное сжатие фазового объема и локальная неустойчивость фазовых траекорий. Квазиаттракторы. Сочетание знаков показателей Ляпунова ДС с тремя степенями свободы и тип аттрактора. Автокорреляционная функция ДДС. Спектральные разложения. Примеры спектральных разложений для периодического, условно-периодического и хаотического движения. Скейлингова структура и фрактальная размерность странных аттракторов. Динамическая модель лазера Лоренца-Хакена. Физический смысл параметров модели. Термоконвекционная модель Лоренца. Параметры модели. Эквивалентность моделей. Стационарные точки модели Лоренца. Качественное поведение фазовых траекторий. Точечные отображения. Одномерные отображения. Неподвижные точки. Диаграммы Ламерея. Условие устойчивости неподвижной точки. Двумерные отображения Эно. Мультипликаторы. Кратные устойчивые циклы. Бифуркации. Однопараметрическое квадратичное отображение. Переход к хаосу. Универсальность Фейгенбаума. Типичные сценарии перехода к хаосу. Бифуркация Андронова-Хопфа. Мягкая потеря устойчивости. Жесткая потеря устойчивости. Рождение двумерного тора из теряющего устойчивость предельного цикла. Возникновение торов возрастающей размерности. Сценарий турбулентности Ландау-Хопфа. Реализуемость сценария Ландау-Хопфа. Сценарий перехода к турбулентности Рюэля-Такенса. Последовательность бифуркаций удвоения периода. Сценарий Помо-Манневиля – переход к хаосу через перемежаемость.
5	Нелинейные волны в активных средах. Распределенные системы – как динамические си-	Нелинейные волны в активных средах. Распределенные системы – как ДС с бесконечным числом степеней свободы. Фурье-разложение – как метод построения решения. Сведение к системе ОДУ. Параметры порядка. Расцепление ОДУ для линейных систем. Системы ОДУ для не-

	стемы с бесконечным числом степеней свободы.	линейных диссипативных систем. Релаксация высоких гармоник. Квазистационарный режим и адаиабатическое приближение. Три типа активных сред. Система бистабильных элементов. Система возбудимых (мультивибраторных) элементов. Система автоколебательных элементов. Волны переключения (бегущий фронт). Волны возбуждения (бегущий импульс). Фазовые волны. Диссипативные структуры. Типичные вид уравнения распределенной диссипативной системы с диффузионным и сносовым операторами и нелинейными слагаемыми.
6	Основные уравнения распределенных диссипативных систем и анализ их решений.	Уравнение Колмогорова-Петровского-Пискунова. Анализ стационарных точек точечной системы. Построение решений в окрестности особых точек и исследование устойчивости. Фазовые портреты. Дисперсионное уравнение. Автомодельное решение. Волна переключений фазы. Энергия системы. Уравнения распределенных ДДС с нелинейной структурой диффузионного оператора. Нелинейности степенного вида. Режимы с обострением. Локализация температурного поля. Распространение фронта нелинейной температурной волны. Диффузионные связи в точечной многокомпонентной системе. Возникновение неустойчивости, обусловленное наличием процессов переноса. Диффузионные неустойчивости тьюрингового и автоколебательного типа. Автоволны и диссипативные структуры в активных средах. Сверхрешетки экситонной плотности в молекулярных кристаллах. Сносовый поток, вызванный эффективной Ван-дер-ваальсовой силой. Автоколебания температуры и плотности экситонов, вызванные аннигиляцией и тепловыделением. Волновое уравнение и уравнение Римана. Опрокидывание фронта волны. Учет диссипации. Уравнение Бюргерса. Решение в виде волны переключения (фазового перехода). Ширина переходной области ударной волны. Решение Коула-Хопфа. Уравнения типа «реакция-диффузия». Двухкомпонентная система − бимолекулярная реакция. Автомодельное решение. Распространение волны концентрации. Волны переключения в активированных 2-х и 3-х уровневых средах. Модель Харциева-Овчинникова для прохождения монохроматического излучения через резонансно-поглощающую среду. Некогерентное насыщение поглощения. Кинетика в трехуровневой системе с метастабильным состоянием. Явление термодиффузии в двухкомпонентной газовой смеси. Газ Лоренца. Термодиффузионная постоянная. Лазерный нагрев газовых сред с термодиффузией. Возникновение осцилляционного режима в химически инертной двухкомпонентной газовой смеси (тонкая цилиндрическая кювета). Температурная зависимость сечения поглощения.

4.3 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	1	Примеры нелинейного осциллятора: маятник, колебательный контур с нелинейной индуктивностью, нелинейные колебания плазмы.	4
2	2	Нелинейный маятник, колеблющийся в вертикальной плоско-	5

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
		сти, колебания в прямоугольной яме.	
3	2	Бильярды с совместным существованием хаотической и регулярной динамики. Перемешивание (запутывание) траекторий скользящих электронов. Динамические бильярды: бильярды Синая, Гадамарда, Артина, Стадион Бунимовича. Нелинейная динамика лучей.	5
4	3	Пример автоколебательных систем: ламповый генератор Ван дер Поля.Автогенератор на активном элементе с отрицательной дифференциальной проводимостью. Химические колебания. Брюсселятор.	5
5	3	Изучение процессов самоорганизации на следующих примерах: динамика популяций хищников-жертв, химические осцилляции в реакции Белоусова-Жаботинского (химические часы), динамический хаос при вынужденных колебаниях диссипативного нелинейного осциллятора.	5
6	4	Исследование хаоса: турбулентность в модели Лоренца и Реслера, задача о конвекции в подогреваемом снизу слое, конвекция Диссипативный осциллятор с инерционной нелинейностью.	4
7	4	Пример системы с хаотическим аттрактором: генератор с инерционной нелинейностью (генератор Анищенко-Астахова). Обобщение уравнения Ван дер Поля на случай трехмерного пространства.	4
8	5	Решение нелинейных уравнений теплопроводности. Термодиффузионные задачи.	4
9	5	Решение нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных численными методами.	4
10	6	Уравнение Бюргерса, ударные волны, опрокидывание волны, волна уплотнения. Автомодельные решения.	4
		Итого:	44

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1. Волощенко, А. П. Нелинейные волновые процессы : учебное пособие : [16+] / А. П. Волощенко, С. П. Тарасов, П. П. Пивнев ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 114 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612323 (дата обращения: 14.03.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9275-3572-9. – Текст : электронный.

2. Пилипенко, А. М. Основы анализа сложных и нелинейных цепей : учебное пособие : [16+] / А. М. Пилипенко ; Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2022. – 113 с. : ил., табл. – Режим

доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=700241 (дата обращения: 22.04.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9275-4216-1. – Текст : электронный.

5.2 Дополнительная литература

Олегин, И. П. Введение в численные методы : учебное пособие : [16+] / И. П. Олегин, Д. А. Красноруцкий ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – 115 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576444 (дата обращения: 14.03.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3632-5. – Текст : электронный.

5.3 Периодические издания

1. Журнал «Успехи физических наук», http://ufn.ru/.

2. Журнал экспериментальной и теоретической физики. http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index

5.4 Интернет-ресурсы

https://openedu.ru/course/ - «Открытое образование», Каталог курсов, МООК: «Системы автоматизированного проектирования аддитивных технологий»;

https://www.coursera.org/learn/python - «Coursera», МООК: «Programming for Everybody (Getting Started with Python)»;

https://universarium.org/catalog - «Универсариум», Курсы, МООК: «Общие вопросы философии науки»;

https://www.lektorium.tv/mooc - «Лекториум», МООК: «Дискретная математика»

5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

На кафедре радиофизики и электроники для аспирантов организована лаборатория математического моделирования физических процессов укомплектованная современными персональными компьютерами и вычислительным узлом. В этой лаборатории аспиранты имеют возможность моделировать различные физические процессы в таких программных комплексах, как Wolfram Mathematica, MathCad, Multisim.

6 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютеры, проекторы. Электронные презентации по лекционным темам. Пакет прикладных программ для вычислений спиновой динамики и релаксации молекулярных систем во внешнем магнитном поле, программа расчета эффективности энергообмена в донор-акцепторной молекулярной систем с сильным межмолекулярным взаимодействием.

К рабочей программе прилагаются:

- Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине;
- Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.