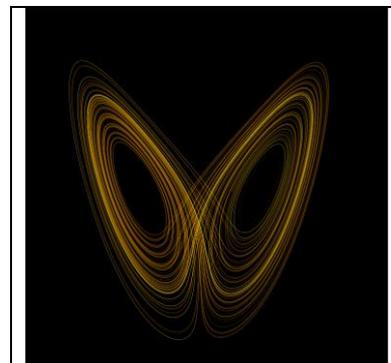


# Нелинейные колебания и волны

## Nonlinear oscillations and waves

1. Название: Нелинейные колебания и волны  
Course title: Nonlinear oscillations and waves

2. Лектор: Грешневиков Константин Владимирович  
Ассистенты: -  
Lecturer: Greshnevikov Konstantin Vladimirovich  
Assistants: -



3. Краткая аннотация (500-700 символов, на простом и доступном языке):

Курс Нелинейные колебания и волны посвящен целому классу явлений, описание которых не сводится к привычным соотношениям физики. Традиционно считающиеся побочными, при некоторых условиях такие эффекты могут выходить на передний план, что приводит к поведению системы, на первый взгляд, удивительному и необъяснимому. Более сложные и тонкие, они могут как возникать самопроизвольно, так и создаваться с целью решения тех или иных технических задач. Современный специалист в области радиофизики должен знать признаки нелинейных процессов в наблюдаемых им системах, уметь описывать и анализировать их, владеть способами их практического применения. Как наиболее яркие примеры нелинейных процессов, в курсе также затрагиваются вопросы перехода детерминированных систем к хаосу и самоорганизации открытых систем.

Short annotation (500-700 characters, in plain and simple language):

5. Название программы и семестр: магистратура «Радиофизика», 3й семестр  
Study program and semester:

6. Детальное описание курса с разбиением по лекциям/семинарам/практикам:

	Тема	Тип занятий
Часть I. Динамические системы и их изучение посредством фазового пространства		
1	Основные определения. Классификация динамических систем. Динамические системы. Стационарное решение. Условие устойчивости.	Лекция
2	Общее рассмотрение устойчивости состояния равновесия автономной системы. Процедура линеаризации.	Лекция
3	Понятие фазового пространства. Особые точки фазового портрета линейной автономной системы второго порядка: седло, узел, центр, фокус; сводная диаграмма.	Лекция
4	Устойчивость состояний равновесия маятника.	Семинар
5	Достаточные условия устойчивости периодического решения (теоремы Ляпунова и Андронова-Витта).	Лекция
6	Отрезок (поверхность) без контакта. Функция последования. Неподвижная точка отображения Пуанкаре.	Лекция

7	Устойчивость неподвижной точки одномерного отображения. Диаграммы Кенигса-Ламерея ("лесенки Ламерея"). Теорема Кёнигса.	Лекция
8	Устойчивость предельного цикла автономной нелинейной системы 2-го порядка.	Семинар
9	Устойчивые и неустойчивые многообразия особых точек, периодических и квазипериодических решений динамических систем. Размерности многообразий	Лекция
10	Устойчивые и неустойчивые (в том числе седловые) состояния равновесия, периодические и квазипериодические движения. Тороидальные интегральные многообразия.	Лекция
Часть II. Бифуркации динамических систем		
11	Понятие бифуркации. Бифуркационные диаграммы. Седло-узловая бифуркация. Бифуркация типа вил. Бифуркация Андронова-Хопфа (рождение предельного цикла). Бифуркация удвоения периода цикла.	Лекция
12	Туннельно-диодная схема: основные соотношения, состояния равновесия, их бифуркации и исследование их устойчивости.	Семинар
13	Теорема Пуанкаре-Бендиксона. Получение и анализ фазового портрета туннельно-диодной схемы, обоснование наличия в ней предельного цикла. Предельный цикл при малой ёмкости. Томсоновские и релаксационные колебания.	Лекция
14	Неподвижные точки, мультипликаторы и области значений параметра, соответствующие устойчивым циклам различных периодов. Бифуркации тороидальных интегральных многообразий.	Лекция
Часть III. Приближенные методы анализа динамических систем		
15	Общие положения и условия применимости. Четыре метода. Метод гармонического баланса – идея метода.	Лекция
16	Исследование установившихся колебаний квазилинейного осциллятора Рэлея методом гармонического баланса.	Семинар
17	Осциллятор Дуффинга. Механическая модель. Исследование воздействия гармонической силы методом гармонического баланса.	Лекция
18	Метод малого параметра – идея метода. Резонанс второго рода: понятия и определения.	Лекция
19	Анализ свободных колебаний маятника без потерь методом малого параметра.	Семинар
20.	Общие черты процедуры метода Ван дер Поля для квазилинейной системы 2-го порядка	Лекция
21	Метод медленно меняющихся амплитуд. Идея метода, предварительные процедуры, составление укороченных уравнений	Лекция
22	Процессы установления и устойчивость установившихся колебаний автономного LC–генератора	Семинар
23	Резонансное воздействие источника гармонических колебаний на LC – генератор (главный резонанс). Двухконтурный генератор.	Лекция
Часть IV. Фазовые пространства и точечные отображения в случае неавтономных		

систем		
24	Линейные системы, находящиеся под воздействием периодической силы. Неавтономный линейный осциллятор.	Лекция
25	Нелинейный осциллятор. Гомоклиническая структура. Гетероклиническая структура. Неустойчивость по Ляпунову и устойчивость по Пуассону. Понятие «странного» аттрактора.	Лекция
26	Переход к хаосу через последовательность удвоений периода колебаний (временные диаграммы, фазовые портреты, спектрограммы). Система Рёсслера и её аттрактор.	Лекция
27	Сценарий перехода к хаосу через перемежаемость. Другие механизмы стохастизации динамических систем.	Лекция
Часть V. Размерность стохастических множеств		
28	Понятие фрактальной размерности (по Колмогорову-Хаусдорфу). Канторово множество, кривая Хельге фон Коха. Размерность ломаной, аппроксимирующей береговую линию.	Семинар
29	Масштабная инвариантность ("самоподобие") канторова множества. "Канторовость" структуры странных аттракторов. Фрактальная размерность аттрактора Лоренца	Лекция
Часть VI. Регулярные и хаотические колебания в распределенных системах		
30	Нелинейная распределенная система без потерь и дисперсии. Решение в виде ударной волны: исходные соотношения и допущения, анализ возможных решений.	Лекция
31	Генерация второй гармоники при распространении света в нелинейной среде. Турбулентность как динамический хаос в распределенной системе.	Лекция
Дополнительная тема: Механизмы самоорганизации в открытых системах		
32	Системы большого числа частиц. Определение самоорганизации. Закрытые и открытые системы. Интегральный лагранжиан механической системы без трения. Системы с сильным трением. Понятие динамической работы. Динамические структуры: механизм рождения, старения и гибели. Динамический хаос как предел эволюции динамических систем. Распространение принципов на биологические и социальные объекты. Возникновение и эволюция живых форм. Дерево бифуркаций.	Семинар

Detailed content and structure with sectioning of lectures/seminars:

7. Рекомендованная литература:

1. Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : рек. НМС по теор. механике в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов физ.-техн. вузов / Г. Т. Алдошин .— Изд. 2-е, стер. — СПб. [и др.] : Издательство "Лань", 2013 .— 311, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Библиогр.: с. 307 .— ISBN 978-5-8114-1460-4.
2. Мартынов Б. А., Бочков В. В. Введение в стохастическую динамику. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. — 92 с.
3. Усыченко, В. Г. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи : курс лекций / В. Г. Усыченко .— СПб. [и др.] : Издательство "Лань",

2010 .— 235 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Библиогр. в конце ч. — ISBN 978-5-8114-0997-6.

4. Кузнецов А. П., Кузнецов С. П., Рыскин Н. М. Лекции по теории колебаний и волн. Нелинейные колебания – Учебное пособие для студентов ВУЗов физических специальностей – Саратов, 2011. – 314 с.

5. Конторович М. И. Нелинейные колебания в радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1973. – 320 с.

6. Кузнецов С. П. Динамический хаос. – М.: Физматлит. 2006. – 356 с.

7. Мартынов Б. А. Теория колебаний. Математические модели динамических систем: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – 63 с.

8. Мартынов Б. А. Теория колебаний. Приближенные методы анализа нелинейных систем: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 60 с.

9. Мартынов Б. А. Теория колебаний. Колебательные процессы в распределенных системах: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 52 с.

Textbooks:

8. Предварительно пройденные курсы, необходимые для изучения предмета:  
Волновые процессы

Course prerequisites:

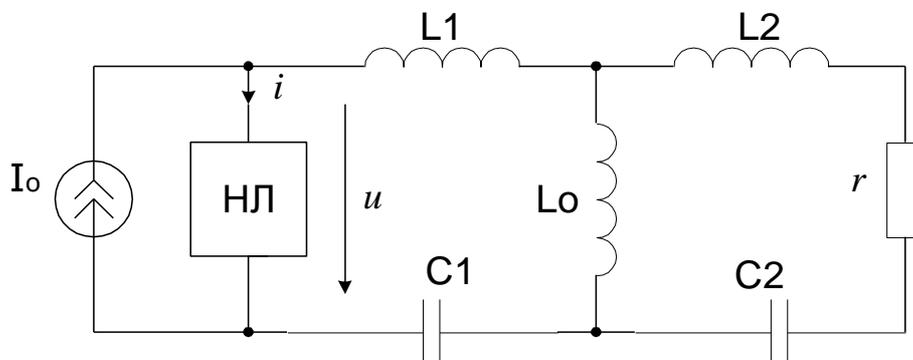
9. Тип самостоятельных заданий (пожалуйста, приложите также несколько примеров):

Задача 1. В одном из колебательных контуров двухконтурной системы с автотрансформаторной связью сопротивление потерь заменено параллельным соединением нелинейного двухполюсника с S-образной вольтамперной характеристикой (ВАХ) и генератора постоянного тока  $I_0$ . ВАХ двухполюсника аппроксимирована кубическим полиномом:

$u(i) = Ri(i^2 - i_s^2)/i_s^2$ , где  $i_s = 20$  мА,  $R = 100$  Ом;

$L_1 = 3,5$  мГн,  $L_2 = 0,5$  мГн,  $C_1 = 1$  нФ,  $C_2 = 4$  нФ,  $L_0 = 0,5$  мГн,  $r = 5$  Ом,

Считая систему квазилинейной, проведите анализ ее стационарных режимов.



Задача 2. Генератор образован присоединением пассивного линейного двухполюсника, имеющего операторный адмиттанс

$$Y(p) = \frac{pC}{(pL + r)pC + 1},$$

к активному нелинейному двухполюснику, связь между напряжением на зажимах которого  $u$  и током  $i$  задается соотношением

$$u = \left( \frac{i^2}{i_0^2} - 1 \right) Ri + L_A \frac{di}{dt},$$

где  $L=30\text{мкГн}$ ,  $C=50\text{пФ}$ ,  $L_A=20\text{мкГн}$ ,  $r=20\text{ Ом}$ ,  $R=40\text{ Ом}$ .

Считая систему квазилинейной, проведите анализ ее стационарных режимов.

Задача 3. К параллельному резонансному контуру, состоящему из емкости  $C=10\text{нФ}$  и нелинейной индуктивности подключен источник синусоидальных колебаний, амплитуда ЭДС которого  $E=1,5\text{В}$ , а внутреннее сопротивление  $R=10\text{кОм}$ . Ампер-веберная характеристика индуктивности аппроксимирована полиномом 5-ой степени:

$$i(\psi) = (1 + \psi^4 / \psi_0^4) \psi / L_0,$$

где  $L_0=10\text{мГн}$ ,  $\psi_0=10\text{мкВб}$ .

При помощи метода гармонического баланса и метода медленно меняющихся амплитуд проанализируйте стационарный режим вынужденных колебаний напряжения на контуре.

Assignments (please, attach a couple of examples):

10. Как оценивается успеваемость по курсу:

Grading policy:

11. Дополнительные комментарии:

Additional comments: