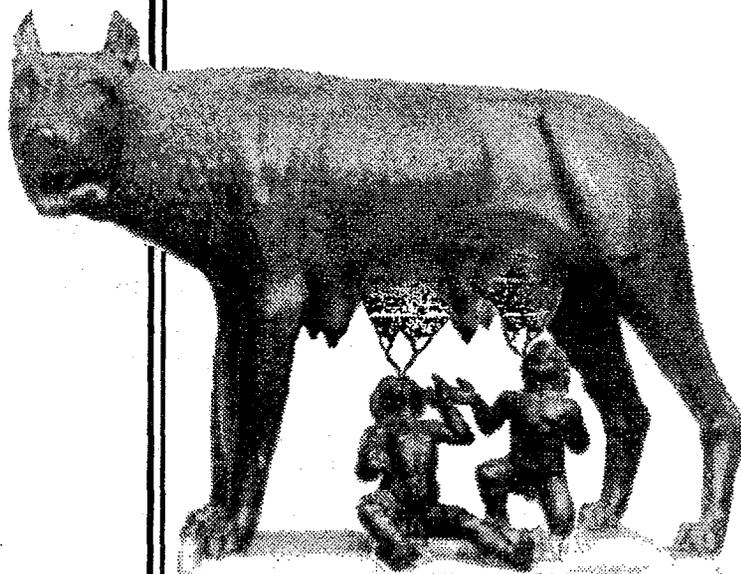


Трикладная Нелинейная Динамика



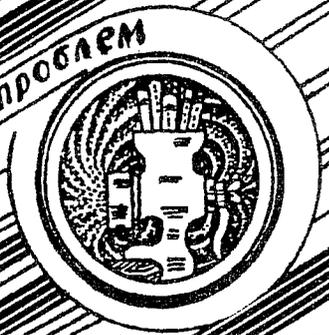
4
1997

Нелинейная динамика в образовании

ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



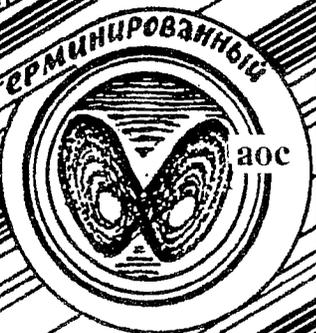
Бифуркации
в динамических
системах различной природы



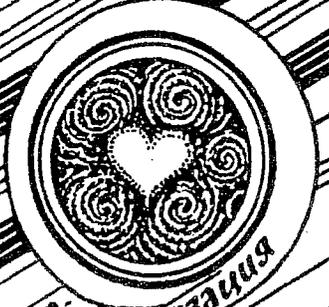
Обзоры актуальных проблем
нелинейной
динамики



Конференции, семинары, симпозиумы



Детерминированные
хаос



Автоволны, самоорганизация

Прикладные
нелинейные
теории
колебаний
и волн



Нелинейная
динамика
в лицах. История персонаlio

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю.В. Гуляев, академик РАН, Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Д.И. Трубецков, член-корреспондент РАН, Саратовский государственный университет

Д.А. Усанов, академик МАНВШ, Саратовский государственный университет

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Б.П. Безручко, профессор, Саратовский государственный университет, ведущий научный сотрудник, Сф ИРЭ РАН

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

В.С. Анципенко, профессор, Саратовский государственный университет

Ю.А. Данилов, старший научный сотрудник, Курчатовский научный центр, Москва

Б.А. Калинин, профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

В.И. Кринский, профессор, Институт экспериментальной и теоретической биофизики, Пуццано

С.П. Кузнецов, профессор, ведущий научный сотрудник, Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН

П.С. Ланда, профессор, Московский государственный университет

Ю.М. Романовский, профессор, Московский государственный университет

Л.А. Островский, профессор, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Э.Е. Сон, профессор, Московский физико-технический институт, Долгопрудный

В.В. Тучин, профессор, Саратовский государственный университет

В.Д. Шалфеев, член-корреспондент Академии инженерных наук РФ, Нижегородский государственный университет

В.К. Юлатов, старший научный сотрудник, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Нелинейная динамика в образовании

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ

<i>Трубецков Д.И.</i> Университетский колледж прикладных наук – первые пять лет	3
<i>Трубецков Д.И., Левин Ю.И., Рыскин Н.М.</i> Физика волн: учебная программа	13
<i>Кузнецов А.П., Кузнецов С.П.</i> Нелинейные колебания, катастрофы, бифуркации, хаос: учебные программы	19
<i>Кузнецов А.П.</i> Нелинейные колебания, катастрофы и бифуркации: задачи	29
<i>Рыскин М.И.</i> «Стихи живые сами говорят...»: заметки о гуманитарном образовании в физико-математических лицеях	44
<i>Анищенко В.С.</i> Размышления о нелинейной динамике: к вопросу об учебных планах подготовки специалистов по нелинейной динамике	59
<i>Климонтович Ю.Л.</i> Физика открытых систем: проект программы междисциплинарного курса лекций	65
<i>Романовский Ю.М.</i> Автоволновые процессы: программа специального курса для биофизиков и радиофизиков	72
<i>Малинецкий Г.Г.</i> «Историческая механика» и нелинейная динамика	76
<i>Неймарк Ю.И.</i> О курсе «Математические модели естествознания и техники»	89
<i>Пойзнер Б.Н.</i> Основы синергетики: программа курса	96
<i>Стромберг А.Г.</i> Опыт изложения синергетики в учебнике физической химии	99
<i>Пойзнер Б.Н.</i> Нелинейная динамика учебника: эскиз	102
<i>Качак В.В., Мчедлова Е.С.</i> Модель взаимодействия и эволюции двух научных направлений	110

КНИЖНАЯ ПОЛКА СТУДЕНТА

<i>Трубецков Д.И.</i> Колебания и волны для гуманитариев: учебное пособие	120
<i>Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н.</i> Лазерная модель творчества: от теории доминанты – к синергетике культуры	135

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Discrete Dynamics in Nature and Society: an International Multidisciplinary Research and Review Journal	137
---	-----

КОНФЕРЕНЦИИ. СЕМИНАРЫ. СИМПОЗИУМЫ. ШКОЛЫ

Нелинейная динамика и новые методы образования в области фундаментальных наук. Саратов, 7–12 октября 1997	141
Международный центр – фонд перспективных исследований в Нижнем Новгороде (МЦФПИН)	143

CONTENTS

Nonlinear dynamics in education

METHODICAL PAPERS ON NONLINEAR DYNAMICS

University's College of Applied Sciences – the first five years. <i>D.I. Trubetskov</i> . . .	3
Wave theory: educational program. <i>D.I. Trubetskov, Yu.I. Levin, N.M. Ryskin</i> . . .	13
Nonlinear oscillations, catastrophes, bifurcations, chaos: educational programs. <i>A.P. Kuznetsov, S.P. Kuznetsov</i>	19
Nonlinear oscillations, catastrophes and bifurcations: problems. <i>A.P. Kuznetsov</i> . .	29
«Those living poems tell themselves...»: some notes on humanitarian education at the physical-mathematical schools. <i>M.I. Ryskin</i>	44
Reflections on nonlinear dynamics: educational programs in training specialists on nonlinear dynamics. <i>V.S. Anishchenko</i>	59
Physics of opened systems: project of interdisciplinary lecture course program. <i>Yu.I. Klimontovich</i>	65
Autowave processes: program of special course for biophysicists and radio- physicists. <i>Yu.M. Romanovsky</i>	72
«Historical mechanics» and nonlinear dynamics. <i>G.G. Malinetskii</i>	76
On the course «Mathematical models in natural science and engineering». <i>Yu.I. Neimark</i>	89
Basis of synergetics: program of course. <i>B.N. Poizner</i>	96
Experience of synergetic account in textbook of physical chemistry. <i>A.G. Strom- berg</i>	99
Nonlinear dynamics of a textbook: sketch. <i>B.N. Poizner</i>	102
The model of development and interaction of two scientific directions. <i>V.V. Kachak, F.S. Mchedlova</i>	110

STUDENT'S BOOKSHELF

Oscillations and waves for humanitarians. <i>D.I. Trubetskov</i>	120
Laser model of creative work: from the dominant theory to synergetics of culture. <i>E.A. Sosnin, B.N. Poizner</i>	135

FROM BOOKS AND JOURNALS

Discrete Dynamics in Nature and Society: an International Multidisciplinary Re- search and Review Journal	137
--	-----

CONFERENCES. MEETINGS. SYMPOSIUMS. SCIENTIFIC SCHOOLS

Scientific school «Nonlinear dynamics and new methods of education in funda- mental sciences». Saratov, October 7–12, 1997	141
The International Center for Advanced Studies in Nizhny Novgorod	143



УНИВЕРСИТЕТСКИЙ КОЛЛЕДЖ ПРИКЛАДНЫХ НАУК – ПЕРВЫЕ ПЯТЬ ЛЕТ

Д.И. Трубецков

Доктор Р. Фейнман в непревзойденных лекциях по физике воспел иерархическое дерево познания, на корнях и ветвях которого разрослись разнообразные разновзгладовые, разноподходовые культуры. Спрашивается – возможно ли в принципе нам – людям – охватить целиком («широкоугольно») все на свете, включая нас самих...

М.А. Миллер

Каждый человек, особенно в детстве, хочет понять окружающий мир, а позднее свое место в нем. Увы, как показывают исследования, школа часто отбивает охоту познавать мир. Известный русский мыслитель Д.И. Писарев в работе «Наша университетская наука» еще в 1863 году писал, что система образования того времени отличалась следующим: «... различные предметы не связываются в общий цикл знаний, не поддерживают друг друга, а стоят каждый сам по себе, стараясь вытеснить своего соседа... Каждый предмет бывает то победителем, то побежденным; история их постоянных раздоров составляет историю умственной жизни каждого гимназиста; мозг ученика – вечное поле сражения, а пора экзаменов – время самых истребительных войн между отдельными предметами». Прошло более ста лет, но ситуация в целом мало в чем изменилась и в средней, и в высшей школе. Несмотря на привычную приговорку о междисциплинарных связях, чаще всего изучение отдельных предметов никак не уживается друг с другом. Откуда тогда взяться тому, что называется картиной мира? Да, и одна ли она? Пожалуй, можно говорить, по крайней мере, о трех таких полотнах, написанных учеными-художниками разных стилей: естественно-научной картине мира, социальной картине мира и религиозной. Но, если первая, как правило, не зависит от того, в какой стране вы живете, то две других зависят от этого. Впрочем, они зависят часто и друг от друга. В нашей стране вместе со старым порядком рухнула старая социальная картина мира. Как пишет А.С. Панарин в статье «Политология на рубеже культур», подобное крушение «... означает разрыв с той лапласовской вселенной, в которой до последнего времени пребывала наша социальная философия». Любопытны и его дальнейшие рассуждения. «В самом деле, если существуют непреложные исторические закономерности, предопределяющие ход истории в заранее заданном (к коммунизму) направлении, то что же остается на долю политики? Выполнять предначертания «исторического разума». Если история – эскалатор, который

вывезет наверх, в светлое будущее, то в политике нет реального выбора и реального риска. Все ее противостояния основаны на недоразумении, на незнании или злостном сопротивлении «реакционных классов» логике единственно возможного. Политическая борьба есть, таким образом, не более чем лицедейство истории, которое ее высший разум почему-то терпит до поры до времени, хотя победители ему изначально известны. Естествознание давно уже покончило с этими лапласовскими представлениями, открыв сложность, нелинейность, неопределенность. Соответствующий переворот в социальной картине мира у нас заставил себя ждать до последнего времени.» Та часть естествознания, которая покончила с лапласовскими представлениями, выделилась в самостоятельное междисциплинарное направление – синергетику (или нелинейную динамику), претендующее на новое научное мировоззрение. Поиск общего в разном – вот смысл этого мировоззрения, а ключевыми понятиями являются колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры. Синергетику определяют по-разному. Одно из последних и удачных определений принадлежит Ю.Л. Климонтовичу: «Синергетика – не самостоятельная научная дисциплина, но новое междисциплинарное научное направление; цель синергетики – выявление общих идей, общих методов и общих закономерностей в самых разных областях естествознания, а также социологии и даже лингвистики; более того, в рамках синергетики происходит кооперирование различных специальных дисциплин»[1]. Уже из определения следует, что синергетика вполне может претендовать на роль подходящего инструмента для решения двух важных проблем сегодняшнего образования: 1) проблемы плавного перехода среднего образования в высшее и 2) проблемы постепенного создания в мыслях каждого молодого человека картины современного окружающего мира¹.

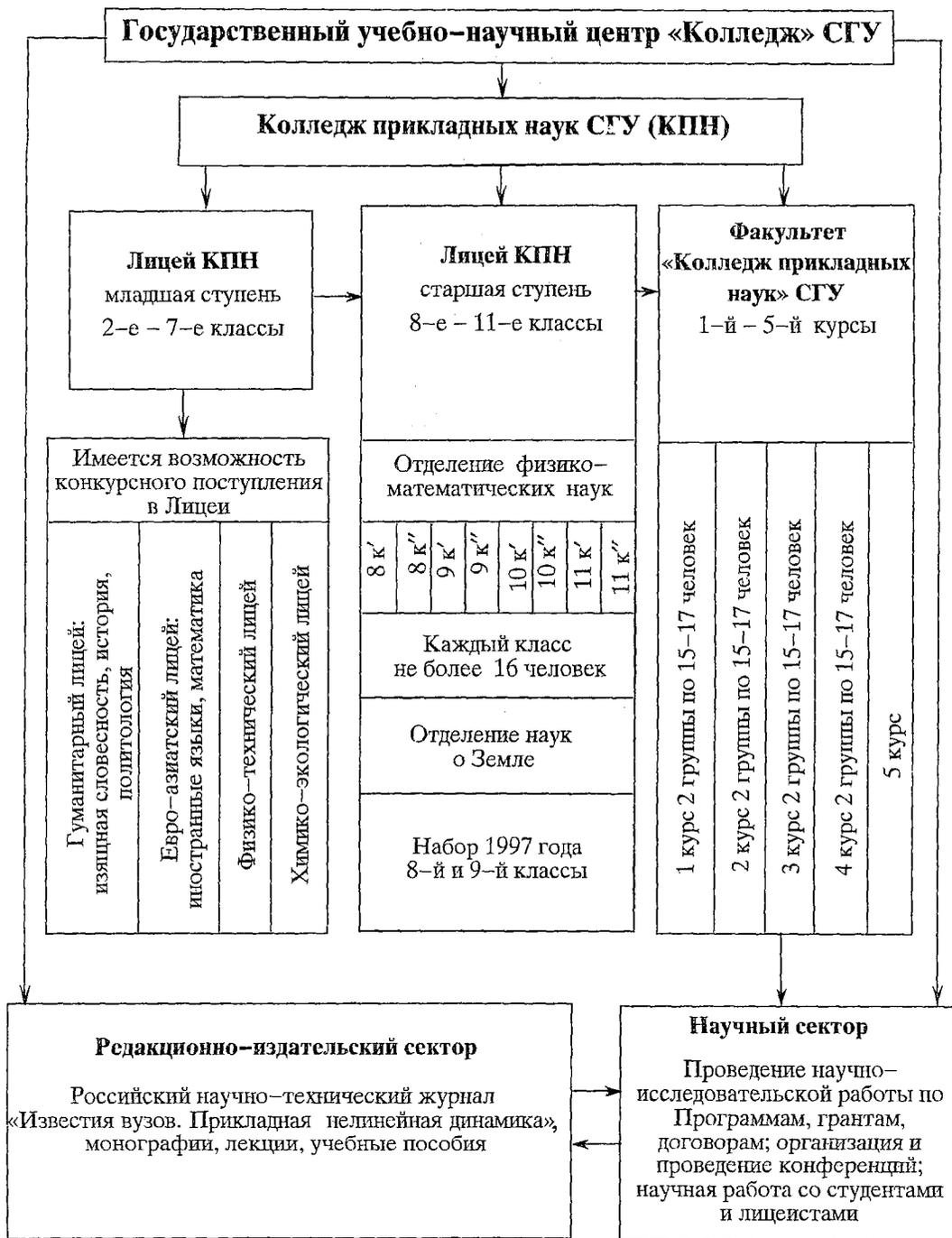
В Саратовском государственном университете в 1992 году была создана новая учебная структура – Колледж прикладных наук (КПН), имеющая статус факультета и входящая в состав Государственного учебно-научного центра «Колледж» (ГосУНЦ «Колледж»). Учебный процесс в КПН построен на идеях синергетики. Структура ГосУНЦ и КПН представлена на схеме². КПН существует пять лет. За это время было два выпуска Лицея КПН (ЛКПН). На университетском факультете четыре курса. Несоответствие числа выпусков и курсов объясняется тем, что два курса были набраны по конкурсу из абитуриентов города и области. Цель – как можно раньше начать отработку университетских курсов в синергетическом ключе. Конечно, здесь были трудности, поскольку поступившие не прошли «школьную синергетику», и многому пришлось учить заново.

Одна из основных целей КПН – создание атмосферы творчества и духовной свободы детей, начиная с младшей ступени ЛКПН. На этой ступени, конечно, никакой предопределенности в выборе дальнейшего направления учебы нет: совсем не обязательно идти на старшую ступень ЛКПН, можно на конкурсной основе поступать в другие университетские лицеи (см. схему), в другие городские учебные заведения. На этой ступени просто хорошо учат, и это главное.

После окончания младшей ступени лицейст, решивший продолжить учебу на старшей ступени ЛКПН, или абитуриент-семиклассник из другой общеобразовательной школы обязаны сдавать вступительные экзамены в *трех турах*. *Первый тур* – домашний. Газета «Саратовский университет» печатает задания по математике и физике (задания достаточно трудны, выполнение их требует фантазии выхода за рамки скромных знаний по физике ученика седьмого класса). На этом этапе отсеиваются те, кто либо случайно участвует в конкурсе,

¹ Заметим, что неологизм «синергетика», введенный в обиход немецким физиком Германом Хакеном, происходит от греческого «синергия» – сотрудничество, содружество. Хакен подчеркивал, что этот термин акцентирует внимание на согласованности взаимодействия частей при образовании структуры как единого целого. Если вспомнить, что латинское *universitas* – объединение, то легко понять, что синергетический подход буквально создан для университета.

² В статье речь пойдет о физико-математическом отделении ЛКПН, поскольку отделение наук о Земле создано лишь в этом году.



либо переоценил свои возможности, либо пошел за компанию вместе с другими. Желавших на этом этапе много: рекордная цифра однажды была 700 человек на 32 места. Однако ко *второму туру*, состоящему из двух письменных экзаменов – по математике и физике – остается человек 200–250. Практически мы допускаем ко второму туру всех, выполнивших домашнее задание. Особенность экзамена по физике в том, что в него входит сочинение по физике, которое проверяют преподаватели физики и литературы. Из тем сочинений прошлых лет у детей пользовались популярностью следующие: «Пропало трение. Что будешь кричать: «Ура!» или «Караул!»?»; «Я – молекула»; «Отчего деревья не растут до неба?» Кстати, на последнем уроке этого года в 11-ом классе ответ на последний вопрос

был дан уже с высоты знаний оканчивающего старшую ступень ЛКПН. На вступительных экзаменах в мае 1997 года восьмиклассникам были предложены темы: «Физические законы в русских народных сказках»; «Простые механизмы в старинных войнах»; «Я – Архимед, а он – Паскаль»; «Взаимодействия бывают разные – в физике весьма разнообразны». Кроме того были даны две задачи на выбор (кроме двух стандартных): 1. Оцените выталкивающую силу, действующую на человека со стороны воздуха в комнате; 2. Оцените скорость воздуха, с которой можно выдувать его ртом через трубку. Наконец, *третий тур* – собеседование, на котором надо отобрать всего 32 человека³. На собеседовании речь идет обо всем – и о математике, и о физике, и о литературе; проверяется уровень знаний иностранного языка.

На *старшей ступени* ЛКПН все дисциплины можно условно разбить на *четыре цикла*.

Цикл 1. Математика, физика, информатика, включая спецкурсы «Аналитическая геометрия», «Как решать задачи по физике», «Математические методы естествознания». В настоящее время два последних спецкурса естественным образом «размещены» в соответствующих местах курса физики.

Цикл 2. Естественные науки (биология с экологией, география, химия).

Цикл 3. Гуманитарные науки (русский язык и литература, история, человек и общество), включая специальные курсы русской и мировой поэзии, изобразительного искусства, музыки, театра и двух иностранных языков (английский и немецкий)⁴.

Цикл 4. Колебания, волны, синергетика (с экзаменом в 11-ом классе, включающим доклад на избранную тему).

Последний цикл является ключевым для реализации синергетического подхода при построении современной картины мира, поэтому остановимся подробно на его программе. В 9-ом классе курс длится лишь одно полугодие (второе) и включает лекции, семинары по решению задач и выполнению курсовой работы. Лекционную часть курса составляют следующие разделы (именно в таком виде они выносятся в программу заключительного экзамена в 11-ом классе)⁵.

9 класс

Раздел 1. Основные положения теории размерностей и подобия (определение размерности физической величины; выражение размерности физической величины через размерности, принятые за основные; подобие физических систем). Определение математического маятника с помощью анализа размерностей. Дополнение Хантли (пример: зависимость длины свободного пробега молекулы от размера молекул и их концентрации).

Раздел 2. П-теорема. Определение периода колебаний цесфенд.

Раздел 3. Линейный осциллятор – основная модель линейной теории колебаний. Вывод уравнения гармонического осциллятора на примере маятника. Груз на пружине с учетом трения – пример линейного осциллятора.

Раздел 4. Химический, экологический и экономический осцилляторы.

Параллельно с лекциями решается большое число задач, что позволяет учащимся к концу полугодия свободно владеть анализом размерностей, некоторыми методами оценок и понять общность модели линейного осциллятора. Каждый из учащихся ЛКПН выполняет в этом полугодии и *курсовую работу* на одну из следующих тем.

³ В дальнейшем из 32 человек формируются два класса по 16 учащихся. На некоторых семинарских занятиях (например, на уроках иностранного языка) класс делится на две группы по 8 человек.

⁴ Изложению идеологии построения гуманитарного цикла посвящена отдельная статья этого номера, написанная М.И. Рыскиным.

⁵ Этим разделам предшествует популярное изложение основных идей синергетики и обоснование того, что для их глубокого понимания нужно пройти долгий путь. Так построен весь курс: каждой из частей предпослано синергетическое введение, посвященное отдельной, но крупной проблеме.

- Анализ размерностей и задачи кинематики.
- Анализ размерностей в задачах астрофизики.
- Анализ размерностей и «маятники» разной природы.
- Анализ размерностей и задачи гидродинамики.
- **Дополнение Хантли** и его использование в задачах кинематики.
- Математический маятник, U-образная трубка, вертикально плавающий в жидкости цилиндр, цефеиды – это просто разные маятники (доказательство с точки зрения анализа размерностей).
- Анализ размерностей и задачи о вязкой жидкости.
- О подобии физических систем (критерии подобия на примере конкретных задач).
- Анализ размерностей и разные задачи о колебаниях.
- Анализ размерностей и задачи механики.

В качестве дополнительной к лекциям литературы лицеистами используются книги [1–6]. Лучшие работы докладываются на студенческой конференции физического факультета СГУ на секции первокурсников.

Программы лекционных частей курса в 10–ом и 11–ом классах приведем целиком.

10 класс

1. Синергетика – новый взгляд на мир. Хаос и структуры (вводный очерк). О содержании второй части курса.

2. Математическое отступление: Интеграл. Определение пути по скорости движения и площадь под кривой. Связь между интегралом и производной. Интеграл от производной. Неопределенный интеграл. Свойства интегралов. Средние значения. Простейшие интегралы.

3. Что такое динамическая система? Понятие о фазовом пространстве. Фазовый портрет гармонического осциллятора. Линейная система с отталкивающей силой.

4. Математическое отступление. Комплексные числа. Основные свойства комплексных чисел. Сопряженные комплексные числа. Тригонометрическая форма комплексного числа. Возведение в мнимую степень. Формулы Эйлера и Муавра. Логарифмы и корни.

5. Описание гармонических колебаний с помощью показательной функции мнимого аргумента. Электрический контур.

6. Гармонический осциллятор с сухим трением. Гармонический осциллятор с линейным трением. Обобщение на осцилляторы любой природы. Карта фазовых портретов «обобщенного» осциллятора. Квантовый осциллятор.

7. Математические модели в синергетике. Динамическая система – основная модель синергетики. Плоский маятник. Игра «Жизнь».

8. Резонанс. Резонанс в гармоническом осцилляторе. Аналитическое решение, демонстрирующее неограниченный рост амплитуды под действием гармонической силы. Влияние затухания на резонанс. Примеры резонанса: солдаты шагают по мосту; резонатор Гельмгольца и ... домовый, колдун, глиняные или бронзовые сосуды в античном театре; тяжелый колокол; «поющий камень»; осциллятор атмосфера Земли и другие глобальные резонансы; клистрон – столонларовая идея братьев Вариян.

9. Линейные волны. Оценки для гравитационных и капиллярных волн на основе анализа размерностей.

10. Голубое небо и Нобелевская премия по физике за 1930 год (от Леонарда Эйлера к Рэлею, Мандельштаму, Смолуховскому, Эйнштейну, вновь к Мандельштаму, Раману и к современной теории рассеяния).

11. Неустойчивость в системах различной природы. Струна, нагруженная одинаковыми телами, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга. Волновое уравнение. Пространственный резонанс (примеры – сверхвысоко-частотные лампы бегущей и обратной волны).

Литература к программе представлена в ссылках [5,7–9].

Третья часть курса состоит из двух больших разделов.

11 класс

Раздел 1. Нелинейные колебания и волны. Хаос и образование структур.

1.1. Синергетика (нелинейная динамика) и образование XXI века. Экология и синергетика. Цивилизация потребления, экологический кризис и исходы из него. О неолитическом кризисе. Каким должен быть новый кризис? Какое образование нужно для выхода из него? Разрушение стереотипов в нелинейной динамике. Некоторые положения нелинейной динамики, важные для стратегии перехода к новой цивилизации. Социально-экономические дисциплины и синергетика. Синергетика искусства? Может быть... О чем третья часть курса.

1.2. Нелинейные колебания. Колебания в консервативных системах. Начнем с воспоминаний: гармонический осциллятор; фазовая плоскость и фазовый портрет гармонического осциллятора. Отталкивающий гармонический потенциал. Нелинейный осциллятор – основная модель нелинейной теории колебаний. Частица в ящике. Потенциал $U(x) = -\frac{1}{2}kx^2 - \frac{1}{4}ax^4$ (яма конечной глубины). Фазовый портрет одномерного движения. Солдаты опять идут по мосту – фазовая группировка нелинейных осцилляторов. Мазеры и гиротрон. Нелинейный маятник – модель в теории лазера на свободных электронах. Неконсервативные колебания. Гармонический осциллятор с сухим трением. Гармонический осциллятор с линейным трением. Карта фазовых портретов обобщенного осциллятора $\ddot{x} + \beta\dot{x} + \gamma x = 0$. Движение под действием потенциальной силы при наличии линейного трения.

1.3. Автоколебания. Общие свойства автоколебательных систем. Гюйгенс и часы. Автоколебания в часовом механизме. Ламповый генератор. Стационарное состояние и условие возникновения колебаний. Параметры колебаний при ступенчатой характеристике лампы. Предельные циклы и их свойства. Пуанкаре, Ван-дер-Поль, Мандельштам, Андронов и их роль в теории автоколебаний. Магнетрон спасает Великобританию от гитлеровской авиации (по Чарльзу Сноу).

1.4. Нелинейные волны. Поток невзаимодействующих частиц и нелинейные волны. Что такое простая волна? Опрокидывание волны на спектральном языке. Ударные волны. Землетрясение – сильный точечный подземный взрыв (опять анализ размерностей). Проблема Ферми – Паста – Улама и солитон. Скотт Рассел: «... потерял его в извилинах канала». Почему возможен солитон (объяснение на спектральном языке). Как получать уравнения нелинейных волн феноменологически? Уравнение Кортевега – де Вриза. Нелинейный осциллятор и солитон. Солитоны в физике и биологии.

1.5. О хаосе и об образовании структур. «Хаос больше не бранное слово!» (немного истории от Пуанкаре до Эдварда Лоренца и др.) Как возникает случайность в динамической системе. Детерминированный хаос. Странный аттрактор. Алгоритмическое объяснение хаоса. А все началось с модели Лоренца. Турбулентность и переход к хаосу по сценарию Фейгенбаума. К хаосу ведет много путей (о разных сценариях возникновения хаоса в динамических системах). Фракталы и их связь с детерминированным хаосом. Самоорганизация и образование структур. Классификация структур. Структуры Тьюринга и проблемы морфогенеза. Ячейки Бенара. Автоструктуры. Автоволны: пожар тушат пожаром; «Свеча горела на столе, свеча горела»; бегущий фронт; ведущий центр; ревербератор и др.

1.6. Сложность (о связи хаоса и структур).

Литература к этой части курса представлена в ссылках [5,10].

Раздел 2. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику, социальные науки и медицину.

2.1. Модели развития и взаимодействия в экологии (модель Мальтуса и ее обобщение Ферхюльстом, модель Вольтерра – Лотки). Детерминированный хаос в модели «хищник–жертва–пища».

2.2. Странный феномен логистического уравнения. Не слишком ли много оно описывает (эволюция популяции в экологии, эволюция научной продукции,

деятельность «Красных бригад» в Италии, развитие готического стиля в архитектуре и др.)

2.3. Современные модели народонаселения.

2.4. Нелинейные модели в экономике и социальных науках. Циклы Кондратьева в экономике. Модели Гудвина цикла капиталистической экономики.

2.5. Математическая модель Ю.И. Неймарка сосуществования производителей и управленцев.

2.6. Нелинейные модели Вольфганга Вайдлиха и их применение к экономическим и социальным задачам (взаимодействие народа и правительства, перестройка по Горбачеву, взаимодействие старой и новой отраслей промышленности, эволюция модного ресторана).

2.7. Хаос и структуры в социально-экономических моделях (развитие системы образования в условиях конкуренции, формирование общественного мнения, эволюционирующий рынок).

2.8. Динамические болезни. Общее понятие о динамических болезнях. Гольдбергер и др.: «Остановка сердца представляет собой бифуркацию от фрактальной, хаотической динамики нормальных сердцебиений к патологическим ритмам умирающего сердца». Так ли это? Какой должна быть терапия, если хаос – норма?

Литература к этой части курса представлена в ссылках [11,12].

Как уже указывалось, параллельно с чтением курса проводятся семинарские занятия по решению задач (главным образом по первой и второй частям курса). В начале учебного года в 11-ом классе предлагаются темы докладов для публичного выступления на заключительном экзамене. В качестве отправной точки для доклада рекомендуются статьи из журналов «В мире науки» и «Природа». Среди выбираемых тем выделим следующие.

- Самоорганизованная критичность (ВМН, 1991, № 3, с. 16–24).
- Перемешивание жидкостей. Струи, вихри, турбулентность (ВМН, 1988, № 3, с. 34–44; Природа, 1989, № 11, с. 33–37).
- Фрактальный рост (ВМН, 1985, № 3, с. 36–45).
- Компьютер в роли музыкального инструмента (ВМН, 1987, № 4, с. 72–80).
- Физические процессы в органичных трубах (ВМН, 1983, № 3, с. 60–70). Звуки мышц (ВМН, 1984, № 5, с. 62–69).
- Отчего у леопарда пятна на шкуре (ВМН, 1988, №5, с. 46–54).
- Физики задумываются над механизмом работы мозга (Природа, 1987, № 3, с. 15–26) и др.

С выходом Соросовского журнала появилась возможность «освежить» тематику докладов. Разумеется, выбранная статья лишь определяет контуры доклада, потому требуется использовать много дополнительной литературы и консультироваться с преподавателем.

Выше подробно описан синергетический курс. Однако важно, что идеи синергетики вводятся и другие курсы. В курсе информатики предлагаются задачи нелинейной динамики, которые требуют использования компьютера. В частности, лицеисты в процессе занятий понимают, что открытие детерминированного хаоса и развитие фрактальной геометрии стали возможны только благодаря компьютерам. Поучительным для них является, например, повторение пути Митчела Фейгенбаума, когда он открыл сценарий возникновения хаоса, названный впоследствии его именем, исследуя отображение $x_{k+1} = \lambda x_k(1 - x_k)$, где λ лежит в интервале $0 \leq \lambda \leq 4$.

На занятиях по английскому языку лицеистам предлагаются для перевода простые статьи по нелинейной динамике из соответствующих научно-популярных и научных журналов.

На уроках химии они экспериментально изучают периодические химические реакции.

В новом учебном году предполагается введение спецкурса по дискретной

математике, где определенное место отводится последовательному изучению отображений.

На уроках биологии рассматриваются процессы взаимодействия хищников и жертв, проблемы морфогенеза и некоторые аспекты самоорганизации.

Пока лишь на уровне обсуждения находится введение синергетических идей в преподавание географии (хотя очевидно, что здесь они естественно входят, например, в разделы, связанные с погодой на Земном шаре и океаническими волнами, с образованием и разрушением гор, с землетрясениями и т.п.) и в гуманитарные дисциплины. Правда, в последнем случае делаются попытки обращения к работам [13–15], с идеями которых далеко не во всем можно согласиться. Поэтому речь идет скорее о критическом обсуждении той или иной идеи.

Выпускные экзамены в ЛКПН проводятся преподавателями лицея совместно с соответствующими приемными комиссиями СГУ и являются одновременно вступительными на университетскую ступень КПН. Сдаются следующие экзамены как вступительные: математика (письменно и устно), русский язык и литература (сочинение), физика (устно), английский язык (устно). Кроме того, учитывается результат экзамена по курсу «Колесания, волны, синергетика». Поскольку у ЛКПН нет интерната, с этого года открыто заочное отделение, которое позволит школьникам области и других городов России поступать на университетскую ступень КПН.

Следует подчеркнуть еще раз, что отличительная черта КПН в том, что он вписан в структуру университета как *факультет*. Окончившие ЛКПН не «растворяются» в разных факультетах СГУ, а продолжают учебу двумя группами, перешедшими из ЛКПН. Лишь единицы окончивших лицей выбирают другие вузы. Из выпускников 1997 года один поступил в знаменитый Физтех без экзаменов как победитель зональной республиканской олимпиады по физике⁶, еще двое – в не менее знаменитую Бауманку, несколько человек поступили в другие вузы Саратова.

На *университетской ступени* обучение ведется по специальности «Физика» со специализациями «Физика нелинейных динамических систем» и «Биофизика». Занятия проходят не только в университете, но и в Институтах РАН: в Саратовском филиале Института радиотехники и электроники РАН создана учебная лаборатория нелинейной динамики, а в Институте биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН организована базовая кафедра биофизики.

Фундаментальные курсы (вынесенные на лицевую часть учебного плана) в основном совпадают с теми, которые изучают студенты специальности «Физика» физических факультетов университетов. Отличие состоит в том, что часть вопросов курсов общей физики, математического анализа и аналитической геометрии уже изучены в ЛКПН⁷. Это позволяет повысить уровень преподавания этих дисциплин в университете и расширить круг изучаемых вопросов. В математический цикл включен четырехсеместровый курс «Математические методы в естествознании». В цикле «Общая физика» сильно отличаются от традиционных курсы «Физика колебаний» (182 ч.) и «Физика волны» (186 ч.). Каждый из них состоит из двух частей: линейные и нелинейные колебания (2-ой и 4-ый семестры); линейные и нелинейные волны (3-ий и 5-ый семестры). Курсы содержат лекции и семинары по решению задач. В цикле «Теоретическая физика» выделены в самостоятельные курсы «Теория конденсированного состояния вещества» и «Основы механики сплошных сред». Продолжается изучение двух иностранных языков с увеличенным по отношению к обычной норме объемом часов. Остановимся подробнее на дисциплинах специализаций.

⁶ Список побед лицейств на конкурсах разного уровня по многим дисциплинам обширен. Особенно много побед на олимпиадах по физике и математике, но есть победы и на олимпиадах по биологии, русскому языку, английскому языку и др.

⁷ В дальнейшем предполагается большую часть университетского практикума по общей физике выполнять еще при учебе в лицее.

Специализация «Физика нелинейных динамических систем»

Спецкурсы: Теория катастроф. Динамические системы и бифуркации. Детерминированный хаос. Самоорганизация в открытых системах. Математическое моделирование. Приближенные и качественные методы в теории динамических систем. Взаимодействие нелинейных колебаний и волн. Компьютерные методы исследования динамических систем.

Специализация «Биофизика»

Спецкурсы: Молекулярная биология. Биофизика. Биофизические методы исследований.

Студентам предлагаются также следующие курсы по выбору:

- Нелинейная динамика в химии. Нелинейная динамика в социальных и экономических науках.
- Статистическая радиофизика. Биологические методы исследования.
- Колебания и волны в активных средах. Специальные главы биологии.

Кроме того, для всех студентов 1–4–х курсов включена в план дисциплина «Колебания, волны, синергетика», в рамках которой кроме семинаров выполняются индивидуальные курсовые работы, а на 2–ом и 4–ом курсах предусмотрены типовые, связанные с читаемыми курсами лекций. Программы некоторых курсов опубликованы в этом номере журнала. Легко заметить, что дисциплины специализаций формально совпадают с разделами лицейского курса «Колебания, волны, синергетика». Таким образом, естественно–научная картина мира, сложившаяся у лицеиста, дополняется, расширяется и углубляется на университетской ступени. И главное, что с помощью курсовых работ и самостоятельных изысканий студент начинает чувствовать себя одним из создателей этой картины.

В настоящее время в КПН несколько Соросовских студентов. Один из студентов третьего курса едет на стажировку в Великобританию как победитель Межвузовской олимпиады. Некоторые имеют публикации в периодической печати и участвовали в конференциях. В ГосУНЦ «Колледж» важную роль играет научный сектор, в котором проводятся исследования в рамках программы «Университеты России», программы поддержки научных школ и грантов РФФИ и Министерства общего и профессионального образования РФ. Большую часть исследований проводят преподаватели ЛКПН и КПН, которые привлекают к этим исследованиям студентов.

Велика роль для КПН и редакционно–издательского сектора ГосУНЦ «Колледж», где издается этот журнал и уже издано довольно много монографий, курсов лекций и учебных пособий по нелинейной динамике (они рекламировались в журнале). Кстати, в журнале есть специальный раздел «Дебют», где публикуются первые статьи молодых авторов.

Пройденный КПН пятилетний путь позволяет сделать вывод о достаточно высоком уровне подготовки его студентов, что в свою очередь позволяет надеяться, что многие из них могут продолжить учебу в аспирантуре.

Кем будут работать выпускники КПН? Они смогут проявить себя как физики–исследователи, как специалисты по компьютерному моделированию, они смогут преподавать в высшей школе, в лицеях и гимназиях, стать менеджерами в научных учреждениях, сотрудниками систем управления фирмами и государственными учреждениями. Во всяком случае учеба в КПН организована так, чтобы исследование и творчество стали главными в жизни его выпускника, чтобы он смог работать в ведущих научных центрах мира, чтобы, говоря словами М.А. Миллера (см. эпиграф), он смог «... охватить целиком («широкоугольно») все на свете...», включая самого себя.

Литература

1. *Климонтович Ю.Л.* Введение в физику открытых систем // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 8. С. 111.

2. Коган Б.Ю. Размерность физической величины. М.: Наука, 1968.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.
4. Хантли Г. Анализ размерностей. Пер. с англ. М.: Мир, 1970.
5. Трубецков Д.И. Колебания, волны, электроны. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 1993.
6. Дибай Э.А., Каплан С.А. Размерности и подобие астрофизических величин. М.: Наука, 1976.
7. Зельдович Я.Б. Высшая математика для начинающих и ее приложения к физике. М.: Наука, 1960.
8. Фадеев Д.К., Никулин М.С., Соколовский И.Ф. Элементы высшей математики для школьников. М.: Наука, 1987. Гл. 7.
9. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1972. Гл.V. С. 144–163.
10. Неймарк Ю.И. Математические модели естествознания и техники. Цикл лекций. Вып. 2. Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1996.
11. Неймарк Ю.И. Математические модели естествознания и техники. Цикл лекций. Вып. 1. Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1994.
12. Короновский А.А., Трубецков Д.И. Нелинейная динамика в действии. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995.
13. Евин И.А. Синергетика искусства. М., 1993.
14. Коваленко В.В. Бифуркации в религиозной философии, естествознании и общественном развитии. СПб.: Гидрометеиздат, 1994.
15. Ласло Эрвин. Век бифуркации. Постигание изменяющегося мира // Путь. 1995. № 7. С. 3–129.

Саратовский государственный
университет
Лицей Колледжа прикладных наук СГУ

Поступила в редакцию 29.08.97



Трубецков Дмитрий Иванович родился в Саратове в июне 1938 года. Окончил физический факультет Саратовского государственного университета (1960). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в СГУ (1965) и доктора физико-математических наук в СГУ (1978) в области радиофизики. Ректор СГУ, заведующий кафедрой электроники и волновых процессов СГУ, профессор, член-корреспондент Российской Академии наук, заслуженный деятель науки РФ. В Саратовском государственном университете в разное время подготовил и прочитал общие курсы лекций «Основы электроники сверхвысоких частот», «Квантовая электроника», «Методы математической оптимизации», «Теория волновых процессов», а также специальные курсы «Введение в специальность (радиофизика и электроника)», «Теория СВЧ электронных приборов О и М-типа», «Вакуумная микроэлектроника», «Высокочастотная релятивистская электроника», «Хаос и структуры», «Линейные волны», «Нелинейные волны». Некоторые из спецкурсов читал в Санкт-Петербургском государственном техническом университете и Ростовском государственном университете. Научный руководитель Колледжа прикладных наук СГУ. Соросовский профессор (1994, 1995). Автор учебных пособий «Введение в теорию колебаний и волн» (М.: Наука, 1984; The Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1989; М.:Наука, 1992; совместно с М.И. Рабиновичем); «Нелинейная динамика в действии» (Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995; совместно с А.А. Короновским) «Колебания, волны, электроны» и «Лекции по сверхвысокочастотной вакуумной микроэлектронике» (Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1996; совместно с А.Г. Рожневым и Д.В. Соколовым).



ФИЗИКА ВОЛН

Учебная программа

Д.И. Трубецков, Ю.И. Левин, Н.М. Рыскин

Введение

Представленная учебная программа лекционного курса по физике волн читается студентам младших курсов Колледжа прикладных наук (на правах факультета) Саратовского государственного университета. Этот двухсеместровый лекционный курс, также как и курс по физике колебаний, входит в блок, который в учебных планах физических специальностей обычно называется «общая физика».

Нильсу Бору принадлежат слова: «Язык Ньютона и Максвелла останется языком физиков на все времена». Понятия (идеи) материальных частиц и волн играют в физике ключевую роль и имеют «недвусмысленное поле применения», и оба «языка» необходимы в равной степени не только при изучении физики, но и других разделов естествознания. Однако в традиционных учебных программах по дисциплинам, входящим в блок общей физики, обычно «языку материальных частиц» отводится значительно больше места, чем «языку волн», и даже такой курс как оптика не устраняет этого неравноправия; только на старших курсах обучения, как правило, появляется теория волн и (или) другие специальные дисциплины, в которых «языку волн» уделяется должное внимание.

Нам представляется важным уже на ранней стадии обучения (на 1–3 курсах), когда наиболее интенсивно идет формирование в умах обучаемых общей естественно-научной картины мира и проблемы специализации еще не ставятся во главу угла, физике колебаний и волн предоставить больше места, чем это делается традиционно. При этом можно напомнить меткое замечание Л.И. Мандельштама о том, что язык колебаний, а можно добавить и волн, является «интернациональным» языком науки.

Технология обучения в Колледже прикладных наук (КПН) основана на идеях синергетики (нелинейной динамики), и это привело нас к необходимости ввести в блок «общая физика» такие дисциплины, как физика колебаний и физика волн.

Лекционный курс «Физика волн» состоит из двух разделов: линейные волны (читается в 3-ем семестре) и нелинейные волны (5-ый семестр). При рассмотрении этого курса следует учесть, что он рассчитан на студентов КПН, которые на первой (школьной) ступени уже получали представления об идеях синергетики.

Лекции по физике волн сопровождаются практическими занятиями, где решается большое число конкретных задач из акустики, гидродинамики,

электроники, физики плазмы и т.д. Кроме того в КПН и на кафедре электроники и волновых процессов создается совместный учебный план по физике волн, который будет состоять из двух разделов: физический эксперимент и компьютерное моделирование.

1. Линейные волны

1.1. Введение в курс. Волны вокруг нас, основные представления о волновых процессах в различных системах. Изоморфизм волновых явлений. О различных определениях понятия волны. Распространяющиеся и конвективные волны, маятники Рейнольдса. Не линейность (линейность) – «дикий частный случай» по А.А. Андронову и принцип Гильберта. Мир линейных волн.

Волновое уравнение. Стационарные волны. Классическое волновое уравнение и рамки его применимости. Уравнение Кортевега – де Вриза. Линейное волновое уравнение; волновая терминология.

1.2. Скорость волн. Трудности определения скорости волны. Монохроматическая волна и ее роль в теории волн. Фазовая скорость. Групповая скорость (на основе разложения Фурье). Формула Релея. Положительная, нулевая и отрицательная групповые скорости. Парадоксы Л.И. Мандельштама, которые возникают, если неправильно пользоваться понятием скорости волны. Рамки, в которых понятия фазовой и групповой скоростей имеют физический смысл.

1.3. Колебания упорядоченных структур и переход к одномерной сплошной среде. Дисперсия. Колебания упорядоченных структур на примере системы из набора связанных маятников. Предельный переход к сплошной среде, приводящий к уравнению Клейна – Гордона. Общее линейное уравнение; дисперсионное соотношение. С чем связано существование дисперсии в среде? Пространственная и временная дисперсия (существование в среде собственных пространственных и временных масштабов; нелокальная связь физических величин; зависимость диэлектрической проницаемости от частоты и волнового числа).

1.4. Линейные диспергирующие волны. Дисперсионное соотношение (полиномиальное и трансцендентное). Общий способ получения дисперсионного уравнения для радиотехнических цепочек, моделирующих различные среды. Цепочки – модели сред с различными законами дисперсии.

Понятие моды. Общее решение волновой задачи в виде интеграла Фурье, волновой пакет. Асимптотическое представление решения – метод стационарной фазы. Локальная частота и волновое число, их связь с фазовой и групповой скоростями. Скорость распространения энергии. Групповая скорость с точки зрения кинематической теории.

Дисперсионные характеристики; их графическое представление. Положительная и отрицательная, нормальная и аномальная дисперсии. Прямая и обратная волна.

Волны в одномерном резонаторе. Влияние граничных условий. О квазичастицах. Пространственно–временная аналогия.

Существуют ли линейные тепловые волны? О связи процессов теплопроводности и диффузии.

1.5. Линейные волны в гидродинамике. Вывод основных уравнений гидродинамики – уравнения непрерывности и уравнения Эйлера. Дисперсионные уравнения для звуковых волн в воде.

Описание волновых процессов в океане с учетом вращения Земли и стратификации. Основное уравнение акустики океана.

Гравитационные волны в несжимаемой жидкости. Дисперсионное уравнение для «мелкой» и «глубокой» воды (анализ размерностей и точное решение). Интеграл Коши – Лагранжа, уравнение Бернулли.

Капиллярные волны. Дисперсионное уравнение (анализ размерностей и точное решение). Фазовая и групповая скорости капиллярных волн. О связи капиллярных волн с моделью атомного ядра. Гравитационно-капиллярные поверхностные волны.

Гироскопические (инерционные) волны. Влияние вращения Земли на дисперсию гравитационных волн. Волны Россби. Внутренние волны в безграничной среде и в волноводе.

Волны от мгновенного точечного источника. Круговые волны на воде. Система волн на воде за движущимся источником.

1.6. Линейные волны в плазме. Общие сведения о плазме. Гидродинамическое описание плазмы (основные уравнения плазменной гидродинамики). Дисперсионное уравнение для плазменных ленгмюровских колебаний и анализ важных частных случаев. О затухании Ландау. Дисперсия волн в двухжидкостной гидродинамике; ионно-звуковые волны.

1.7. Введение в теорию устойчивости и неустойчивости волновых систем. Отличие задач об устойчивости и неустойчивости в сосредоточенных и распределенных системах. Виды неустойчивости в распределенных волновых системах. Неустойчивость Джинса. Абсолютная неустойчивость на примере задачи о двух взаимодействующих встречных электронных потоках. Анализ плазменно-пучковой неустойчивости. Конвективная неустойчивость на примере системы двух взаимодействующих попутных электронных потоков. О гидродинамических волновых неустойчивостях (неустойчивость Гельмгольца). Диффузионная неустойчивость по Тьюрингу.

1.8. Энергия и импульс волн. Уравнение эволюции волнового вектора во времени и в пространстве. Об одном способе вычисления плотности энергии электромагнитного поля в среде с дисперсией (по М.Л.Левину). Уравнение переноса энергии для волнового пакета в прозрачной среде. Импульс волнового пакета.

1.9. Волны с отрицательной энергией. Связанные волны. Качественное объяснение существования волны с отрицательной энергией. Волны с положительной и отрицательной энергией в электронике, физике плазмы и гидродинамике. Связанные волны (аналогия со связанными колебаниями). Метод связанных волн и его применение.

1.10. Введение в теорию распространения волн в средах с периодически изменяющимися параметрами. О волнах в средах с медленно меняющимися параметрами. Нерезонансные параметрические процессы. Анализ случая, когда скорость изменения параметра (частоты) много меньше собственной частоты осциллятора. Приближение Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна (ВКБ) и адиабатический инвариант. Распространение плоских гармонических волн в плавно неоднородных средах. Приближение геометрической оптики. Выход за рамки геометрической оптики – задача о переходном слое.

2. Нелинейные волны

2.1. Основные принципы распространения нелинейных волн. Об эвристическом подходе к нелинейным волновым уравнениям. Эталонные уравнения теории нелинейных волн. Нелинейные волны в среде без дисперсии. Уравнение простой волны. Укручение и опрокидывание волн. Среда с диссипацией: уравнение Бюргерса. Ударные волны. Среда с высокочастотной дисперсией: уравнение Кортевега – де Вриза (КдВ). Уединенные волны и солитоны. Среда с дисперсией в области низких частот: нелинейное уравнение Клейна – Гродона. Среда с дисперсией и диссипацией: уравнение КдВ – Бюргерса. Распространение огибающей волнового пакета: нелинейное уравнение Шредингера. Солитоны огибающей. Нелинейные волны в средах с неустойчивостью. Уравнение

Гинзбурга – Ландау. Неустойчивое уравнение Клейна – Гордона. Обобщение на неоднородный случай. Уравнения Хохлова – Заболоцкой и Кадомцева – Петвиашвили.

2.2. Нелинейные волны в средах без дисперсии. Простые волны.

Уравнение простой волны. Решение методом характеристик. Переменные Эйлера и переменные Лагранжа. Поток невзаимодействующих частиц. О группировке электронов в пролетном клистроне. Решение Римана. Графический анализ опрокидывания профиля волны. Распространение гармонического сигнала. Спектр опрокидывающейся волны: решение Бесселя – Фубини.

Образование разрывов в простой волне. Определение координаты разрыва. Граничное условие на разрыве. Слабые разрывы. Центрированная волна разрежения. Динамика амплитуды разрыва. пилообразная волна и ее спектр. Распространение треугольного импульса. Распространение биполярного импульса. N -волна. Волны от движущегося источника. Взаимодействие разрывов.

2.3. Общий случай системы гиперболических уравнений.

Критерий гиперболичности. Примеры гиперболических систем. Простые волны в газовой динамике. Инварианты Римана. Уравнения «мелкой воды». Задача о разрушении плотины. Ионный звук в плазме. Волны в автомобильном потоке. Граничные условия на разрыве в общем случае и их связь с законами сохранения. Законы сохранения уравнений «мелкой воды». Диссипация энергии на разрыве.

2.4. Нелинейные волны в диссипативных диспергирующих средах. Ударные волны.

Уравнение Бюргерса. Стационарная ударная волна. Преобразование Коула – Хопфа. Распространение периодического сигнала. Решение Хохлова и его спектр (решение Фэя). Некоторые точные решения уравнения Бюргерса (одиночный горб, N -волна). Слияние ударных волн. Автомодельные решения.

Примеры ударных волн. Задача о сильном точечном взрыве в атмосфере и ее решение при помощи метода размерностей. Об ударных волнах в космосе.

2.5. Нелинейные волны в диспергирующих средах.

Проблема Ферми – Пасты – Улама (ФПУ). Ее связь с уравнениями Буссинеска и Кортевега – де Вриза. Солитоны и работа Забуски и Крускала. Возвращаемость ФПУ.

Уравнение КдВ. Стационарные решения: кноидальные волны и солитоны. Взаимодействие солитонов. Солитонные решения других эталонных уравнений (модифицированное уравнение КдВ, уравнения Буссинеска, Син–Гордона). Бризеры. Примеры стационарных волн: ионно–акустические и ленгмюровские волны в плазме, электромагнитные волны в нелинейной диэлектрической среде.

Редуктивная теория возмущений – метод получения «длинноволновых» уравнений. Примеры получения уравнения КдВ. Волны на поверхности мелкой воды. Ионно–акустические волны в плазме. Волны в нелинейных линиях передачи. Газовая динамика и уравнение Бюргерса.

Нелинейные волны в среде с диссипацией и дисперсией. Уравнение КдВ – Бюргерса. Решение в виде стационарной ударной волны. Бесстолкновительные ударные волны в плазме.

2.6. Точные методы решения нелинейных волновых уравнений.

О методе обратной задачи рассеяния. Бесконечное число законов сохранения. Преобразование Миуры – Гарднера. Задача рассеяния для уравнения Шредингера. Потенциал в форме $\operatorname{sech}^2 x$. Дискретный и непрерывный спектр собственных значений. Обратная задача: уравнение Гельфанда – Левитана – Марченко. Понятие о полной интегрируемости нелинейных уравнений в частных производных.

Обратная задача рассеяния в формулировке Лакса. Иерархия интегрируемых уравнений. Задача рассеяния Абловица – Каупа – Ньюэлла – Сигура. Другие точные методы решения солитонных уравнений: метод Хироты и многосолитонные решения; преобразования Бэклунда.

2.7. Модулированные волны в нелинейных средах. Теория Уизема. Нелинейное дисперсионное соотношение. Законы сохранения волнового числа и волнового действия. Критерий Лайтхилла. Модуляционная неустойчивость (неустойчивость Бенджамена – Фейра). Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ). Неустойчивость пространственно-однородного решения. Решение в виде солитона огибающей. «Светлые» и «темные» солитоны. Самофокусировка света.

Получение НУШ при помощи метода многих масштабов. Примеры: ленгмюровские волны в плазме; электромагнитные волны в нелинейном диэлектрике. Взаимодействие высокочастотных волн с низкочастотными. Взаимодействие ионно-звуковых и ленгмюровских волн в плазме: уравнения Захарова. Коллапс ленгмюровских волн. Волны в молекулярных цепочках. Уравнения Давыдова.

Трехволновый резонанс в квадратично-нелинейной среде. Уравнения трехволнового взаимодействия. Распадная (параметрическая) неустойчивость. Взрывная неустойчивость. Пример: взаимодействие электронного пучка с плазмой.

2.8. Нелинейные волны в активных средах. Два типа неустойчивостей. Уравнение Гинзбурга – Ландау. Модуляционная неустойчивость. Метод многих масштабов для неустойчивых систем. Конвекция Релея – Бенара. Взаимодействие волн с положительной и отрицательной энергией. Распространение электромагнитных импульсов в среде из двухуровневых частиц. Уравнения Максвелла – Блоха. Самоиндуцированная прозрачность. Предел неподвижных атомов: уравнение Sin^2 -Гордона. Автомодельное решение и π -импульс. Неоднородное уширение и теорема площадей.

Волны в нелинейной активной линии передачи. Влияние диссипации. Стационарные бегущие фронты. Уравнения типа «реакция – диффузия». Модель Колмогорова – Петровского – Пискунова. Об автоколебаниях в распределенных системах.

Литература

1. Уизем Дж. Линеинные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984 (первое издание), 1992 (второе издание).
3. Бхатнагар П. Нелинейные волны в одномерных дисперсионных средах. М.: Мир, 1984.
4. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972.
5. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1979.
6. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. М.: Сов. Радио, 1977.
7. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988.
8. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.
9. Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975.
10. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988.
11. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир, 1989.
12. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М.: Наука, 1973.

Саратовский государственный
университет
Колледж прикладных наук

Поступила в редакцию 24.09.97



Левин Юрий Иванович – родился в Саратове в январе 1942 года. Окончил физический факультет Саратовского государственного университета (1965). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в области радиофизики (1974). Декан Колледжа прикладных наук (на правах факультета) СГУ, директор Государственного учебно-научного центра «Колледж», доцент кафедры электроники и волновых процессов СГУ. Подготовил и прочитал лекционные курсы по общей физике (механика, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, квантовая физика), а также специальные курсы «Введение в теорию колебаний и волн», «Волны в электронных потоках», «Приборы СВЧ электроники», «Моделирование физических процессов», «Математические методы естествознания», «Линейные волны». Имеет более 80 научных публикаций.



Рыскин Никита Михайлович – родился в 1966 году в Саратове. Окончил физический факультет Саратовского университета (1991). Работал в НИИ механики и физики СГУ. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «радиофизика» в СГУ (1996). Доцент Колледжа прикладных наук СГУ (1997). Читает курс «Нелинейные волны» студентам третьего курса КПН. Область научных интересов – нелинейные явления в распределенных системах, содержащих электронные потоки и магнитные поля, вакуумная микроэлектроника. Автор и соавтор 25 научных работ.



НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, КАТАСТРОФЫ, БИФУРКАЦИИ, ХАОС Учебные программы

А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов

Представлены учебные программы по курсам «Нелинейные колебания», «Катастрофы и бифуркации», «Динамический хаос». Учебные программы взаимосвязаны друг с другом, образуя единый комплекс, нацеленный на раннее формирование нелинейного мышления.

Введение

Современное естествознание пронизано идеями нелинейности. Такие ключевые слова как «колебания», «катастрофы», «бифуркации», «аттракторы», «хаос» обнаруживаются в работах по математике, физике, химии, биологии. Для современного исследователя эти обобщающие понятия стали элементами фундаментальных представлений о природе. К сожалению, схемы образования более консервативны, нежели живая наука. Поэтому современные концепции обычно проникают лишь на вершину «пирамиды» образовательной системы. Например, на физическом факультете Саратовского госуниверситета лекции по нелинейной теории колебаний читаются студентам четвертого курса. В этом случае трудно говорить о раннем воспитании фундаментального «нелинейного» мышления. Опыт преподавания в Колледже прикладных наук Саратовского госуниверситета свидетельствует о том, что серьезное знакомство с нелинейными колебаниями можно начать уже на втором курсе.

В этой статье мы предлагаем программу комплекса из трех учебных курсов: «Нелинейные колебания», «Катастрофы и бифуркации», «Динамический хаос». Данному циклу должен предшествовать курс «Линейные колебания», в рамках которого вводятся понятия динамической системы, фазового пространства, дается классификация особых точек на фазовой плоскости и т.д.

Курс «Нелинейные колебания» (4-ый семестр) знакомит с основными ключевыми понятиями нелинейной динамики, в основном на эвристическом уровне. Последовательность рассмотрения диктуется внутренней логикой предмета и не всегда отражает историческую последовательность формирования рассматриваемых идей и представлений.

Серьезное внимание уделено теории катастроф (5-ый семестр), которая приобретает статус одного из краеугольных камней всей формируемой картины. Материал теории катастроф, представляющей собой далеко идущее обобщение исследования функций на экстремум, с одной стороны, хорошо усваивается студентами, а с другой – позволяет ввести такие важные понятия как типичность,

коразмерность, универсальность и тем самым перскинуть «мостик» к более сложным вопросам теории бифуркаций и динамического хаоса.

Третьей, завершающей компонентой комплекса служит курс введения в теорию динамического хаоса (6-ой или 7-ой семестр). Поскольку эта область знания находится в состоянии бурного развития, отбор материала ориентирован на то, чтобы ознакомить аудиторию с уже установившимися идеями и представлениями и вывести на уровень, достаточный для самостоятельной работы с литературой по данному предмету.

Для адекватной организации учебного процесса по нелинейным колебаниям, катастрофам и бифуркациям необходимы семинарские занятия, а по курсу «Динамический хаос» желателен компьютерный практикум. Семинары не только дают навыки решения задач, но и, в конечном итоге, делают возможным усвоение предлагаемых программ (см. статью А.П. Кузнецова в настоящем выпуске). В качестве литературы можно рекомендовать монографии и учебники [1–17].

Конечно, раннее знакомство со многими тонкими вопросами нелинейной динамики в полном объеме не всегда оказывается возможным, хотя бы из-за отсутствия необходимого числа часов в учебном плане. Поэтому некоторые существенные вопросы опущены (например, взаимодействие нелинейных колебаний, нелинейная параметрическая неустойчивость и т. д.). Соответствующие пробелы можно восполнить в более поздних спецкурсах, используя сформированные основы нелинейного мышления. Желательно иметь и основательный математический курс теории бифуркаций, который дополнил бы предлагаемое введение, носящее скорее физический характер.

Авторы выражают глубокую благодарность член-корреспонденту РАН, профессору Д.И. Трубецкову за возможность реализации учебных курсов в Колледже прикладных наук и профессору В.С. Анищенко за возможность предварительного прочтения некоторых аналогичных курсов на кафедре радиофизики Саратовского госуниверситета.

1. Нелинейные колебания

Нелинейность. Колебания малой и большой амплитуды, линейные и нелинейные. Нелинейность как естественное свойство физических систем. Нелинейность математического маятника. Нелинейность при упругих деформациях, нелинейность пружин. Нелинейная емкость, нелинейная индуктивность и их характеристики. Нелинейные колебательные системы. Нелинейный маятник. Различные варианты колебательного контура (с нелинейной емкостью, нелинейной индуктивностью, нелинейным сопротивлением).

Нелинейность на микроскопическом уровне. Нелинейные среды. Ферромагнетик как пример нелинейной среды. Оптические нелинейные среды.

Слабая и сильная нелинейность. Слабая нелинейность как малое возмущение линейной системы. Типы нелинейных характеристик (квадратичная, кубичная). Сильная нелинейность. Физические примеры систем со слабой и с сильной нелинейностью.

Особенности спектров нелинейных систем. Преобразование гармонических сигналов нелинейным элементом со степенной характеристикой. Гармоники и комбинационные частоты. Физические примеры нелинейного преобразования спектра: нелинейность уха, генерация второй гармоники в оптике и др.

Мультистабильность и гистерезис. Объяснение мультистабильности с помощью модели «шарик в потенциальной яме». Примеры систем, демонстрирующих мультистабильность (маятник из железа, колеблющийся вблизи магнита, туннельный диод в схеме с регулируемым ЭДС и резистором, резонатор

Фабри – Перо с нелинейной средой). Гистерезис и его объяснение с помощью модели «шарик в потенциальной яме». Понятие о катастрофах и бифуркациях.

Нелинейные динамические системы. Представление уравнений нелинейных колебательных систем в «стандартной» форме теории динамических систем (№ дифференциальных уравнений первого порядка). Геометрическая интерпретация нелинейной динамики в фазовом пространстве. Диссипативные и консервативные системы – классификация, основанная на свойствах эволюции облака изображающих точек в фазовом пространстве. Как определить, является ли данная система консервативной или диссипативной? Критерий, основанный на вычислении дивергенции векторного поля и примеры его использования.

Консервативные нелинейные системы и их фазовые портреты. Примеры консервативных систем второго порядка, описываемых уравнением $\ddot{x}+f(x)=0$. Потенциальная функция и интеграл энергии. Стратегия построения и исследования фазового портрета нелинейной системы: график потенциальной энергии и его связь с элементами фазового портрета, особые точки и области линейных движений в фазовом пространстве, сепаратрисы, типичные траектории в фазовом пространстве.

Диссипативные нелинейные системы и их фазовые портреты. Введение диссипации. Системы второго порядка, описываемые уравнением $\ddot{x}+\alpha\dot{x}+f(x)=0$. Энергия системы как функция Ляпунова, ее эволюция во времени и использование для обоснования устойчивости состояний равновесия. Понятие аттрактора. Бассейны притяжения аттракторов. Модификация сепаратрис при введении диссипации. Роль сепаратрис в диссипативной системе как границ раздела бассейнов притяжения.

Уравнение математического маятника (осциллятор с нелинейностью синуса). Математический маятник, контакт Джозефсона, аналогия Кирхгофа (задача об изгибе упругого стержня). Потенциальная функция и фазовый портрет. Определение периода колебаний математического маятника через эллиптический интеграл. Зависимость периода колебаний от амплитуды. Решение уравнения математического маятника, отвечающее движению по сепаратрисе. Исследование закона движения вблизи сепаратрисы. Оценка периода колебаний для движения вблизи сепаратрисы. Спектр колебаний при движении вблизи сепаратрисы: случаи ротационных и колебательных движений.

Консервативный осциллятор с кубической нелинейностью. Осциллятор с кубической нелинейностью как универсальная модель теории колебаний. Физические примеры. Потенциальная функция и фазовый портрет. Асимптотические методы в случае колебаний с умеренными амплитудами. Неизохронность и ангармоничность колебаний осциллятора с кубической нелинейностью: вычисление поправки к частоте и амплитуды третьей гармоники. Сравнение приближенного и точного решений.

Консервативный осциллятор с квадратичной нелинейностью. Осциллятор с квадратичной нелинейностью как универсальная модель теории колебаний. Физические примеры. Потенциальная функция и фазовый портрет. Возникновение нулевой и второй гармоник в спектре. Неизохронность во втором порядке теории возмущений.

Метод медленно меняющихся амплитуд. Применение метода медленно меняющихся амплитуд на примере диссипативного осциллятора с кубической нелинейностью. Определение комплексной амплитуды, процедура усреднения, переход к укороченным уравнениям и их решение. Условия применимости метода медленно меняющихся амплитуд.

Быстрые и медленные движения. Исследование динамики осциллятора с кубической нелинейностью и с нелинейностью синуса в случае сильной диссипации под действием начального импульсного толчка. Сведение к уравнению с малым параметром перед высшей производной и парадокс недостаточного количества начальных условий, возникающий при пренебрежении этим членом. Более аккуратный анализ: фаза быстрого и медленного движений, оценка их характерной длительности. Уравнения для описания быстрого и медленного движений и их решение. Сшивание решений, отвечающих быстрой и медленной стадиям. Быстрые и медленные движения на фазовой плоскости. Общие замечания об уравнениях с малым параметром перед высшей производной.

Автоколебания. Примеры автоколебательных систем различной физической природы. Основные черты автоколебательных явлений. Предельный цикл как образ автоколебаний в фазовом пространстве. Предельные циклы как аттракторы диссипативных систем.

Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Радиотехнический генератор и его описание с помощью уравнения Ван-дер-Поля. Механическая система с нелинейной зависимостью силы трения от скорости и ее описание с помощью уравнения Релея. Связь уравнений Релея и Ван-дер-Поля. Результаты численного решения уравнения Ван-дер-Поля: зависимости динамической переменной от времени и фазовые портреты. Затухающие, квазигармонические и релаксационные колебания.

Квазигармонические колебания и бифуркация Хопфа. Исследование квазигармонических автоколебаний в уравнении Ван-дер-Поля. Анализ методом энергетического баланса. Анализ методом медленно меняющихся амплитуд. Укороченное уравнение Ван-дер-Поля и его решение. Бифуркация Хопфа в уравнении Ван-дер-Поля и ее описание с помощью укороченного уравнения. Универсальная зависимость амплитуды автоколебаний от управляющего параметра при малой надкритичности (закон квадратного корня).

Релаксационные автоколебания. Сведение уравнения Релея при больших значениях параметра к дифференциальному уравнению с малым параметром перед старшей производной. Выделение быстрых и медленных движений. Представление релаксационных колебаний, описываемых уравнением Релея, на фазовой плоскости.

Автоколебания с жестким возбуждением. Построение модельного уравнения, описывающего автогенератор с жестким возбуждением. Анализ этой системы методом энергетического баланса. Решение модельного уравнения методом медленно меняющихся амплитуд. Фазовый портрет и его эволюция при изменении параметров. Бифуркации в системе.

Метод сечений Пуанкаре. Идея метода сечений Пуанкаре. Нахождение точечного отображения численными методами и с помощью метода медленно меняющихся амплитуд на примере уравнения Ван-дер-Поля и автогенератора с жестким возбуждением. Простейшие свойства одномерных отображений: неподвижные точки и их устойчивость. Диаграммы Ламерея.

Нелинейный резонанс. Вынужденные колебания нелинейного осциллятора как пример динамической системы с трехмерным фазовым пространством. Фазовое пространство на цилиндре. Нелинейный осциллятор под периодическим внешним воздействием и его исследование методом медленно меняющихся амплитуд. Бистабильность и гистерезис при нелинейном резонансе. Точка сборки и линия складки на плоскости амплитуда – частота воздействия. Нелинейный резонанс на гармониках и субгармониках. Возможность сложных колебательных режимов – хаоса.

Синхронизация. Периодическое внешнее воздействие на автоколебательную систему. Понятие синхронизации. Нечестные часовщики и Гюйгенс. Осциллятор Ван-дер-Поля под периодическим внешним воздействием. Режимы захвата и биений. Языки синхронизации (языки Арнольда) и их расположение на карте динамических режимов. Задача о синхронизации автогенератора периодическими импульсами и отображение окружности. Карта динамических режимов отображения окружности.

2. Катастрофы и бифуркации

Аппроксимации в математике и физике и стратегия конструирования многопараметрических моделей. Идея аппроксимации в математике и физике. Ряд Тейлора и его использование для конструирования многопараметрических моделей. Полнота и универсальность моделей, получаемых при помощи тейлоровских аппроксимаций.

Типичность по Пуанкаре и связанные с ней понятия. Интуитивное представление о типичности. Случаи общего положения и вырожденные случаи. Метод «малых шевелений» параметров. Классификация вырожденных ситуаций по коразмерности. Примеры ситуаций различной коразмерности. Стратегия Пуанкаре исследования динамических систем по возрастающей коразмерности. Понятие грубых (структурно устойчивых) систем.

Катастрофы и бифуркации. Примеры систем с катастрофами: материальная точка в одномерном и двумерном потенциальном поле, нагруженная балка, остойчивость судов и др. Машина Зимана и качалки. Связь и отличия теории катастроф и теории бифуркаций.

Критические точки функций одной переменной. Критические точки и их роль при исследовании катастроф и бифуркаций. Некоторые простейшие критические точки функций одной переменной. Исследовательская схема теории катастроф (выявление существенных параметров, роль замен переменных, классификация критических точек по коразмерности) на примере анализа простейших полиномов. Понятие конечной определенности функций.

Критические точки функций двух переменных. Графическое представление функций двух переменных с помощью линий уровня. Примеры: горизонталь и карты, эквипотенциалы, фазовые портреты. Критические точки функций двух переменных. Матрица Гессе и примеры ее использования для различения вырожденных критических точек. Квадратичные формы и их классификация. Кубики и их классификация. Возможна ли классификация квартик? Типичные критические точки на картах. Случай n -переменных и определение морсовской критической точки (морсовского седла).

Математические основы теории катастроф. Лемма Морса. Лемма расщепления. Классификационная теорема Тома. Ростки и возмущения. Полнота и универсальность моделей теории катастроф.

Катастрофа складки. Схема исследования катастроф на примере складки (многообразие катастрофы, бифуркационное множество, трансформации потенциальной функции). Примеры систем, демонстрирующих катастрофу складки.

Катастрофа сборки. Исследование катастрофы сборки. Двойственные сборки. Примеры катастрофы сборки: критическая точка газа Ван-дер-Ваальса, туннельный диод в схеме с регулируемым сопротивлением и ЭДС. Другие примеры катастрофы сборки. Катастрофа сборки и теория гладких отображений Уитни.

Катастрофа «ласточкин хвост». Исследование катастрофы ласточкин хвост. Пример колебательной системы, демонстрирующей катастрофу ласточкин хвост.

Каспидные катастрофы в двумерных системах. Катастрофа складки в двумерной системе на примере задачи о «выкатывании» шарика из лунки. Эволюция потенциального рельефа, линий уровня и сепаратрис при катастрофе складки в двумерной системе. Физически различимые типы катастроф сборки в двумерных системах, примеры. Эволюция линий уровня и сепаратрис при катастрофе сборки. Поиск каспидных катастроф в двумерных системах и особенности их приведения к канонической форме (возможность катастрофы сборки в случае кубического потенциала).

Нелокальное бифуркационное множество. Трансформации потенциального рельефа и линий уровня в двумерных системах при простейшей нелокальной бифуркации коразмерности один. Почему нелокальные бифуркации не относятся к катастрофам? Понятие нелокального бифуркационного множества. Пример системы, характеризующейся нелокальным бифуркационным множеством.

Омбилические катастрофы. Катастрофа «пирамида» (эллиптическая омбилика) и ее анализ. Нелокальное бифуркационное множество катастрофы пирамида. Пример колебательной системы, демонстрирующей катастрофу пирамида. Катастрофа «кошелек» (гиперболическая омбилика) и ее исследование.

Физические приложения теории катастроф. Задача о выпучивании упругого стержня. Как описать задачу о выпучивании стержня с помощью конечномерной потенциальной функции? (Метод Релея – Ритца). Вырожденная катастрофа сборки в задаче о выпучивании стержня. Степенные законы изменения параметров в окрестности точки катастрофы. Влияние асимметрии. Бифуркационные диаграммы в случаях симметричного и несимметричного выпучивания. Выпучивание стержня в многомодовом приближении.

Фазовые переходы и катастрофы. Теория Ландау фазовых переходов второго рода: термодинамический потенциал и параметр порядка, разложение термодинамического потенциала в ряд по параметру порядка. Вырожденная катастрофа сборки и фазовые переходы второго рода. Законы изменения термодинамических функций в окрестности точки катастрофы. Фазовые переходы во внешнем поле и полная катастрофа сборки. Сведения о более сложных вариантах зависимости термодинамического потенциала от параметра порядка.

Каустики и особенности волновых фронтов. Понятие каустики. Каустики и точки сборки. Примеры каустик и сборок в оптике (опыты с чашкой кофе, прохождение лазерного луча через неоднородную каплю, сферическая абберация, радуга и др.) Гигантские океанские волны и их каустики и сборки. Возникновение особенностей при распространении волновых фронтов. Какие «катастрофы» наиболее опасны? Понятие о современной теории катастроф. Работы Арнольда.

Смягчение мод и уравнение продемпфированного осциллятора. Поведение частоты в зависимости от параметров системы. Феномен смягчения моды. Увеличение характерных масштабов времени при приближении к точке бифуркации (катастрофы). Уравнение продемпфированного осциллятора. Понятие об универсальности моделей теории бифуркаций.

Бифуркации в одномерных системах. Простейшие бифуркации положений равновесия коразмерности один, два и три. Бифуркация седло–узел. Транскритическая бифуркация, ее связь с бифуркацией седло–узел. Бифуркация типа вилки. Снятие вырождения для бифуркации типа вилки.

Системы с двумерным фазовым пространством и их простейшие бифуркации. Примеры зависящих от параметров динамических систем с двумерным фазовым пространством (модель хищник–жертва, бросселятор и др.). В каком случае динамические системы приводятся к градиентным системам? Распирение классификации положений равновесия и бифуркаций по сравнению с градиентными системами. Бифуркация Хопфа. Обобщенное укороченное уравнение для бифуркации Хопфа, общеколебательное значение бифуркации Хопфа. Бифуркация рождения цикла из сгущения фазовых траекторий.

Системы с трехмерным фазовым пространством и их простейшие бифуркации. Система Лоренца. Вывод системы Лоренца для задачи о термоконвекции в кольце. Система Лоренца и динамика лазера. Система Реслера. Бифуркация рождения тора, бифуркация удвоения периода и касательная бифуркация. Вид сечений Пуанкаре в случае этих типов бифуркаций. Исследование бифуркаций циклов с помощью метода сечений Пуанкаре. Примеры аналитического построения отображений Пуанкаре для неавтономных систем в случае импульсного воздействия. Понятие о численном построении отображений Пуанкаре.

Бифуркации и катастрофы одномерных дискретных отображений. Универсальные модели одномерных отображений. Неподвижные точки и циклы дискретных отображений и их исследование на устойчивость с помощью мультипликаторов. Бифуркации коразмерности один: касательная бифуркация, бифуркация удвоения периода, жесткий переход через мультипликатор -1 . Производная Шварца. Бифуркации коразмерности два: точки сборки, «флип–бифуркации» коразмерности два. Карты динамических режимов дискретных отображений.

Бифуркации двумерных отображений. Матрица монодромии. Мультипликаторы двумерных отображений. Области устойчивости двумерного отображения. Устойчивое и неустойчивое многообразие. Касательная бифуркация и бифуркация удвоения периода для двумерных отображений. Бифуркации коразмерности два. Бифуркации циклов. Удвоения периода в двумерных отображениях. Карты динамических режимов.

Универсальность моделей теории бифуркаций. Возможность редукции к системам меньшей размерности. Нормальные формы Пуанкаре. Теорема о центральном многообразии. «Мир» бифуркаций. Понятие о нелокальных бифуркациях. Понятие о современной математической теории бифуркаций.

3. Динамический хаос

Хаос на эвристическом уровне. Открытие хаоса как режима динамики в нелинейных системах с размерностью фазового пространства три и выше. Признаки хаоса в эксперименте и при компьютерном моделировании. Реализации хаотических сигналов. Возвраты Пуанкаре и их нерегулярность. Спектры хаотических сигналов. Корреляционная функция и ее особенности в хаотическом режиме. Странные аттракторы диссипативных динамических систем. Примеры компьютерных портретов странных аттракторов: система Лоренца, система Реслера, нелинейный осциллятор под гармоническим воздействием.

Хаос в системах с дискретным временем – отображениях. Сечение Пуанкаре и хаотические аттракторы систем с непрерывным временем. Хаотические аттракторы отображений (примеры: отображение Хенона, система Икеды и др.). Когда возможна редукция описания динамики к одномерному отображению? О возможности хаоса в одномерных необратимых отображениях. Логистическое отображение как простейшая модельная система,

демонстрирующая хаос. Природа хаоса в логистическом отображении по Уламу – фон–Нейману: представление динамики в терминах бинарных символических последовательностей и сдвига Бернулли.

Неустойчивость и хаос. Чувствительная зависимость от начальных условий как атрибут хаоса. Как можно наблюдать чувствительную зависимость от начальных условий в эксперименте? Ляпуновские характеристические показатели. Спектр ляпуновских показателей и его сигнатура. Классификация аттракторов по сигнатуре спектра ляпуновских показателей для автономных систем с непрерывным временем и для отображений.

Возвращаемость. Возвращаемость фазовых траекторий как второе существенное условие динамического хаоса. Возвращаемость в логистическом отображении. Подкова Смейла. Возвращаемость в аттракторе Пиковского – Рабиновича.

Критерии возникновения хаоса. Теорема Шильникова. Критерий Мельникова.

Геометрия странных аттракторов. Возникновение сложных структур при складывании. Понятие о фракталах. Примеры фракталов: канторово множество, снежинка Коха. Компьютерные иллюстрации фрактальной структуры странных аттракторов систем с непрерывным временем и двумерных отображений. «Потеря» поперечной фрактальной структуры аттрактора при описании в терминах одномерных отображений. Хаусдорфова размерность фракталов. Размерность странных аттракторов.

Сценарии перехода к хаосу. Постановка задачи о переходе от регулярного поведения к хаотической динамике. Сценарий возникновения турбулентности по Ландау и по Рюэлю – Такенсу. Три варианта потери устойчивости цикла и три сценария перехода к хаосу.

Удвоения периода в логистическом отображении. Каскад бифуркаций удвоения периода в логистическом отображении. Бифуркационное дерево. Критическая точка. Фрактальная структура аттрактора в критической точке. График ляпуновского показателя. Хаотические режимы логистического отображения. Понятие о сложной структуре закритической области. Порядок Шарковского. Тонкое устройство окон периодичности – возможности каскадов удвоения на базе различных циклов. Бифуркации слияния полос.

Теория Фейгенбаума. Закон сходимости бифуркаций удвоения периода и константа Фейгенбаума δ . Универсальность Фейгенбаума для отображений с квадратичным экстремумом. Приближенный ренормгрупповой анализ удвоений периода и объяснение универсальности. Уравнение Фейгенбаума – Цвитановича и его решение. Вторая константа Фейгенбаума α . Понятие о скейлинге. Иллюстрации скейлинга на бифуркационных деревьях и графиках ляпуновских показателей.

Нефейгенбаумовские каскады удвоений. Сценарий Фейгенбаума как случай «общего положения». Возможность нефейгенбаумовских каскадов удвоения периода и их классификация по коразмерности. Множество решений уравнения Фейгенбаума – Цвитановича и его связь с нефейгенбаумовскими каскадами удвоения периода. Карты динамических режимов одномерных отображений. Фейгенбаумовские и нефейгенбаумовские каскады, критические линии и точки на картах.

Трансформации торов. Проблема бифуркаций торов. От динамики на торе к отображению кольца и отображению окружности. Число вращения и классификация динамических режимов на его основе. Переход от

квазипериодического режима к хаосу для числа вращения, задаваемого золотым сечением. Устройство языка синхронизации отображения окружности (удвоения периода, критические точки коразмерности два, хаос. Логистическое отображение под квазипериодическим воздействием. Бифуркации удвоения торов, потеря гладкости тора, странный нехаотический аттрактор.

Переमेжаемость. Эвристическое описание перемежаемости. Ламинарная и хаотические фазы. Перемежаемость вблизи точки касательной бифуркации отображения. Статистика ламинарных периодов. Перемежаемость в модели Лоренца. Три типа перемежаемости по Помо – Маневиллю.

Хаос в гамильтоновой динамике. Проблема Ферми – Паста – Улама. Стохастическое ускорение Ферми. Нелинейный резонанс и стандартное отображение. Общее представление о структуре фазового пространства, теория Колмогорова – Арнольда – Мозера, эргодический слой, диффузия Арнольда. Критерий Чирикова.

Квантовый хаос. Описание динамики в квантовой и классической механике. Принцип соответствия. Функция Вигнера и функция распределения. Проблема квантового хаоса. Простейшие модели: бильярды, отображения пекаря и кота Арнольда, ротатор. Характерные времена квантовой динамики. Ротатор: феномен локализации. Структура собственных функций. «Шрамы». Как проявляется хаос в структуре энергетических уровней?

При разработке курсов «Нелинейные колебания», «Катастрофы и бифуркации», «Динамический хаос» использовались результаты научных исследований, поддержанных грантами РФФИ № 97–02–16414 и № 96–15–96921.

Литература

1. *Мандельштам Л.И.* Лекции по теории колебаний. М.: Наука, 1972.
2. *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
3. *Рабинович М.И., Трубецков Д.И.* Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
4. *Анищенко В.С.* Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990. 312 с.
5. *Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А.* Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1976.
6. *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980.
7. *Постон Т., Стюарт И.* Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980. 608 с.
8. *Гилмор Р.* Прикладная теория катастроф. Кн. 1. М.: Мир, 1984. 350 с.
9. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
10. *Арнольд В.И., Варченко А.Н., Гусейн-Заде С.М.* Особенности дифференцируемых отображений. М.: Наука, 1982. 304 с.
11. *Томпсон Дж. М.Т.* Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
12. *Crawford J.D.* Intoduction to bifurcation theory // Rev. Mod. Phys. 1991. Vol. 63, № 4. P.991.
13. *Берже П., Помо И., Видаль К.* Порядок в хаосе. О детерминистическом подходе к турбулентности. М.: Мир, 1991. 368 с.
14. *Неймарк Ю.И., Ланда П.С.* Стохастические и хаотические колебания, М.: Наука, 1987. 424 с.
15. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988.
16. *Ott E.* Chaos in dynamical systems. Cambridge: University press, 1993. 385 p.

17. *Thompson J.M.T., Stewart H.B. Nonlinear Dynamics and Chaos. John Wiley and Sons, 1986. 376 p.*

Саратовский государственный университет, СФ ИРЭ РАН

Поступила в редакцию 13.05.97



Кузнецов Александр Петрович родился в 1957 году. Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН, профессор Саратовского госуниверситета. Специалист по нелинейной динамике, теории динамического хаоса и теории критических явлений. Занимается использованием идей теории катастроф и теории бифуркаций, а также развитием концепции сценариев перехода к хаосу во многопараметрических модельных и физических нелинейных системах. Опубликовал более 50 научных работ в отечественных и зарубежных журналах. Диапазон педагогических интересов – от школьных задач до современных проблем нелинейной динамики. Один из инициаторов создания нового уникального курса физики для I ступени Колледжа прикладных наук СГУ. Разработал и прочитал несколько оригинальных учебных курсов для Колледжа. Автор нескольких сотен задач и двух популярных книг.



Кузнецов Сергей Петрович родился в 1951 году. Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН, профессор Саратовского госуниверситета. Специалист по нелинейной динамике, теории динамического хаоса и теории критических явлений. Занимается также исследованиями в области квантового хаоса. Опубликовал свыше 100 работ в отечественной и зарубежной научной печати. Соавтор двух монографий и одной популярной книги. Автор нескольких оригинальных учебных курсов, прочитанных им в разные годы на кафедрах электроники и радиофизики СГУ и в Колледже прикладных наук СГУ. В 1995 году читал лекции по нелинейной теории колебаний в Датском техническом университете.



НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, КАТАСТРОФЫ И БИФУРКАЦИИ Задачи

А.П. Кузнецов

Представлены примеры задач по курсам «Нелинейные колебания», «Катастрофы и бифуркации». Обсуждается необходимость семинарских занятий. Демонстрируются связи с курсом общей физики.

Перед тем как решить крупную научную проблему, ученому нужно уметь решать ее в малых формах. Одно из эффективных средств воспитания этих качеств ... – это задачи.

П.Л. Капица

Введение

Опыт убеждает, что настоящее понимание любой точной науки достигается после решения достаточного большого числа задач. В высших учебных заведениях, в отличие от средней школы, решение задач и изложение теоретического материала происходит раздельно, соответственно, на семинарах и лекциях. Семинарские занятия – интересная, увлекательная, но и достаточно сложная форма учебного процесса. При серьезном отношении к семинарам их подготовка и проведение отнимает не меньше времени и сил, чем лекции. В высших учебных заведениях России создана и действует эффективная система семинарских занятий по общей физике, теоретической физике, математическим дисциплинам, так что накопленный в этом направлении опыт обеспечивает одно из приоритетных мест России в системе мирового образования.

Однако, если Вы захотите у себя в вузе организовать семинарские занятия по теории колебаний, теории катастроф, теории бифуркаций, динамическому хаосу и т.д., т.е. по дисциплинам, которые можно объединить совокупным названием нелинейная динамика или синергетика, то обнаружите, что существуют сотни задачиков по общей и теоретической физике и единицы по перечисленным дисциплинам. Конечно, для новой отрасли науки некоторое «методическое отставание» естественно, однако, новизна нелинейной динамики не единственная причина существующего положения.

Структура учебного процесса в наших университетах такова, что студенты–физики прежде всего получают *общее* образование на кафедрах общей физики или

аналогичных им. И лишь затем, на старших курсах, им дают *специальное* образование на соответствующих кафедрах. «Специальные» кафедры в качестве основной формы учебного процесса используют, как правило, лекции и очень редко – семинары по решению задач. Это традиция, к тому же закреплённая в структуре учебного плана. В результате такого положения и появляются очень хорошие учебники, которые обычно пишутся на базе курсов лекций, но отсутствуют задачки по нелинейной динамике.

Может показаться, что новые современные дисциплины и следует давать лишь в лекционной форме, поскольку к третьему – четвертому курсу студенты получают фундаментальное физико–математическое образование и все необходимые навыки работы. К сожалению, это справедливо лишь в идеале, а реальные студенты надо ещё учить и учить. Но есть и более существенные мотивы необходимости семинаров. Методические «сценарии» общих курсов уже вполне сформировались и общеизвестны. Для современных дисциплин учебный опыт существенно беднее. Восполнить существующие методические пробелы позволяют семинарские занятия, поскольку у преподавателя благодаря семинарам *возникает обратная связь со студентами*, и он может оперативно отреагировать на те или иные проблемы усвоения материала. Но ещё важнее то, *что «непонимание» студентов представляет ценный материал для размышлений*. Здесь уместно сослаться на авторитетное мнение П.Л.Капицы, который считал, что образование имеет две основные цели: обучение студентов и обучение преподавателей [1].

Специальные кафедры имеют обычно «радиофизическую», «электронную», «механическую» предысторию, что оказывает влияние на стиль изложения, выбор примеров и характер учебного материала. Вследствие этого рвется связь с тем багажом, который студент получил на младших курсах, исчезают (или сужаются) связи с общей физикой. В результате студенты старших курсов, в какой–то мере, учатся «заново». А отсутствие повторения в учебном процессе с абсолютной неизбежностью приводит к реализации закона обучения, аналогичного второму началу термодинамики, – студенты «забывают все, что знали раньше».

В Колледже прикладных наук Саратовского государственного университета цикл курсов по колебаниям, катастрофам и бифуркациям сопровождается семинарскими занятиями. С помощью семинаров решаются многочисленные проблемы учебного процесса:

- развивается математическая техника;
- совершенствуются навыки устного рассказа;
- демонстрируются возможности компьютерных методов решения задач;
- достигается интенсивная работа студента в течение всего семестра;
- обеспечивается регулярное обращение студента к лекциям;
- студент все время находится под контролем преподавателя; и т.д. и т.п.

Семинарские занятия по каждому курсу построены в виде полутора десятков «блоков» задач, соответствующих структуре учебной программы (см. статью в настоящем выпуске.) К сожалению, в журнальном сообщении невозможно привести полноценную подборку задач с необходимым разбиением «по блокам», а тем более дать решения. Надеемся, однако, что предлагаемые задачи будут все же полезны. Особое внимание уделено взаимосвязям с курсом общей физики. Использованная литература представлена в ссылках [2–15]. Это, в основном, учебники и монографии (за исключением задачника [2]). Однако, некоторые вопросы, излагаемые в них, могут быть переформулированы в виде задач.

Автор выражает благодарность член–корреспонденту РАН, профессору Д.И. Трубецкову за возможность реализации системы семинарских занятий в Колледже прикладных наук Саратовского госуниверситета и профессору Колледжа С.П. Кузнецову за полезное обсуждение.

1. Задачи по нелинейным колебаниям

1. Считая, что в перечисленных ниже системах нелинейность является слабой, представьте соответствующие уравнения движения в форме $\ddot{x} + \omega_0^2(x + \mu x^n) = 0$ и определите в каждом случае константы μ и n .

а) Массивное колесо с моментом инерции I может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр колеса. На ободе колеса укреплен груз массы m на расстоянии R от оси.

б) Сосуд объемом $2V_0$ разделен подвижным поршнем площади S на две равные части. Начальное давление газа p_0 . При колебаниях поршня процесс в газе считать адиабатическим. Масса поршня равна m .

в) Резиновый жгут натянут с силой F . Посередине жгута прикреплен шарик массы m . Шарик может совершать поперечные колебания. Жгут подчиняется закону Гука, его длина в ненатянутом состоянии l_0 , коэффициент жесткости k . Колебания происходят в невесомости.

2. Небольшой грузик массы m прикреплен к концу легкой пружины, вращающейся в невесомости вокруг другого ее конца с угловой скоростью ω , и совершает малые радиальные колебания около положения равновесия. Длина недеформированной пружины l_0 . Покажите, что такое поведение системы можно описывать с использованием модели линейной пружины с коэффициентом жесткости k лишь при не очень больших значениях частоты вращения ω . Найдите критическую частоту ω_c , при которой линейная модель полностью теряет смысл. Покажите, что учет нелинейности пружины позволяет дать описание поведения системы и при $\omega \geq \omega_c$. Считайте, что зависимость упругой силы от деформации имеет вид $F = kx + cx^3$, где k и c – положительные коэффициенты.

3. Для описания динамики биологической популяции в 1838 году Ферхюльст предложил следующую модель: $dN/dt = aN - bN^2$. Здесь N – численность популяции, a и b – коэффициенты. Найдите решение этого уравнения и постройте график зависимости $N(t)$. Начальное число особей равно N_0 . Покажите, что если число N_0 невелико, то можно выделить «линейную» стадию процесса, на которой исходное дифференциальное уравнение заменяется соответствующим линейным. По какому закону изменяется число особей N на линейной стадии? Через какое характерное время начнут сказываться нелинейные эффекты? К чему приведет воздействие нелинейности по истечении достаточно большого времени? Используя полученные результаты, дайте интерпретацию коэффициентам a и b .

4. Конденсатор с нелинейной характеристикой $q = CU + \alpha U^3$ замкнут на резистор с сопротивлением R . Получите зависимость напряжения на конденсаторе от времени, если его начальное значение равно U_0 . Оцените характерное время τ_n , в течение которого существенны нелинейные эффекты. Найдите закон изменения напряжения на линейной стадии процесса разряда конденсатора.

5. Проявляет ли парамагнетик нелинейные свойства во внешнем магнитном поле? Если да, то какова природа нелинейности?

6. В соленоид с поперечным сечением S и индуктивностью L вставляют ферромагнитный сердечник. Получите выражение для потока, пронизывающего соленоид, в приближении слабой нелинейности в виде ряда, содержащего линейный и кубичный по току члены. Считайте, что ферромагнетик описывается моделью Вейса, в рамках которой нормированная намагниченность $\eta = M/M_0$ связана с магнитным полем H соотношением

$$\text{th } \eta = (T/T_c)\eta - (\mu_B/kT)H.$$

Здесь T – температура, μ_B , k , M_0 , T_c – постоянные коэффициенты, причем T_c – температура, отвечающая точке Кюри. Ферромагнетик плотно входит в соленоид, температура среды выше точки Кюри.

7. Проволочка изогнута так, что ее профиль задан цепной линией $y = \alpha \operatorname{ch}(x/b)$, ось x горизонтальна. По проволочке без трения скользит маленькая бусинка. Получите «эффективный» потенциал $U(s)$, описывающий колебания бусинки. Здесь s – координата, отсчитываемая вдоль проволочки. Возрастает или убывает период нелинейных колебаний с ростом амплитуды?

8. Как должна быть изогнута проволочка, чтобы даже большие колебания бусинки были изохронными?

9. Определите зависимость периода колебаний от амплитуды при движении частицы массы m в потенциальной яме вида $U(x) = U_0 \lg^2 \alpha x$ и постройте соответствующий график. Найдите период линейных колебаний и укажите его значение на графике. С какими особенностями рассматриваемой потенциальной ямы связано то, что с ростом амплитуды период колебания уменьшается по сравнению со значением, предсказанным линейной теорией?

10. Для системы из задачи 1, в укажите значения параметров, при которых даже малые колебания будут неизохронны. Как ведет себя в этом случае период колебаний с уменьшением амплитуды?

11. На обложке журнала «Scientific American» за июль 1963 года изображена эффектная фотография, на которой можно видеть лазерный луч красного цвета с длиной волны 6940 \AA , падающий на кристалл. С противоположной стороны кристалла выходит пучок синего цвета с длиной волны 3470 \AA . Каков характер нелинейности, которая приводит к подобному преобразованию света?

12. В книге Ф. Крауфорда «Волны» [16] описан следующий опыт. Возьмем два камертона с частотами 440 Гц и 523 Гц. Возбудив их, можно услышать не только две эти ноты, но и колебание, близкое к частоте третьей ноты 349 Гц. Объяснение наблюдаемого эффекта состоит в нелинейности уха. Каков характер нелинейности, проявившейся в опыте?

13. Грузик массы m прикреплен к пружине жесткости k и может двигаться по горизонтальной плоскости без трения (рис. 1). Грузику ударом сообщают скорость v_0 . Расстояние от грузика до стенки l , удары о стенку абсолютно упругие. Исследуйте зависимость спектра колебаний системы от величины v_0 . По какому закону в нелинейном режиме колебаний спадают с ростом частоты ω далекие фурье-компоненты? С какими особенностями нелинейности системы связан этот закон?

14. На рис. 2 показана система, представляющая собой маятник в верхнем

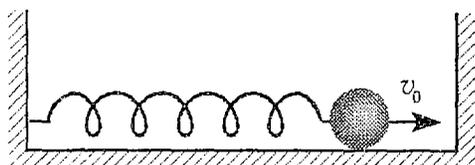


Рис. 1

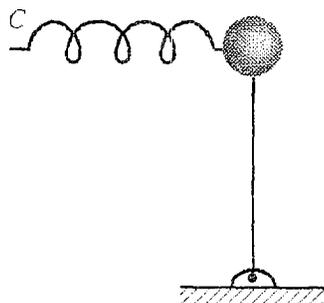


Рис. 2

ПОЛОЖЕНИИ равновесия, прикрепленный к пружине. Покажите, что если пружина нелинейна, то в системе возможна бистабильность – реализуются два положения устойчивого равновесия. Считайте, что нелинейность пружины описывается соотношением $F=kx+cx^3$, где k и c – положительные коэффициенты, а угол отклонения маятника от вертикали мал. Длина стержня l , масса шарика m .

15. В системе, описанной в предыдущей задаче, точка прикрепления пружины S может перемещаться вдоль горизонтали влево–вправо. Изобразите график зависимости отвечающей положениям равновесия деформации пружины x от величины смещения точки прикрепления пружины x_0 . Опишите трансформации графика потенциальной энергии $U(x)$ при вариации x_0 . Обсудите возможность гистерезиса в системе.

16. Представьте уравнение нелинейного осциллятора с затуханием $\ddot{x}+\alpha\dot{x}+\omega_0^2x+f(x)=0$ в «стандартной» форме, отвечающей определению динамической системы. Покажите, что рассматриваемая система является диссипативной, для чего вычислите дивергенцию соответствующего векторного поля на фазовой плоскости.

17. Одной из первых систем, для которой обнаружен динамический хаос, была исследованная Лоренцем простая модель тепловой конвекции в атмосфере (1963 г.):

$$\dot{x} = \sigma(y-x), \quad \dot{y} = Px-y-zx, \quad \dot{z} = xy-bz.$$

Здесь σ, P, b – параметры. Установите значения параметров, при которых модель Лоренца является диссипативной.

18. Небольшое тело массы m может скользить без трения по горизонтальному стержню (рис. 3). Тело прикреплено пружиной жесткости k к точке O , находящейся на расстоянии l от стержня. Длина пружины в нерастянутом состоянии l_0 , причем $l_0 > l$. Найдите положения равновесия и соответствующие им значения потенциальной энергии. Постройте график функции $U(x)$ и с его помощью определите, какие из положений равновесия устойчивы. Постройте фазовый портрет системы. Укажите характерные элементы фазового

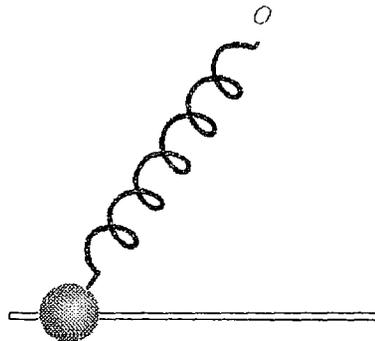


Рис. 3

портрета: особые точки, типичные траектории, сепаратрисы. Напишите уравнение сепаратрисы в явной форме. Используя график потенциальной энергии, опишите поведение тела, отвечающее перечисленным элементам фазового портрета.

19. Молекула может совершать колебательные движения в поле, заданном потенциалом Ленарда – Джонса: $U(r)=4a[(b/r)^{12}-(b/r)^6]$. Постройте фазовый портрет системы и проведите его исследование по схеме, описанной в предыдущей задаче. Масса молекулы m , параметры a и b считайте известными. Какую физическую интерпретацию можно дать для движения по сепаратрисе?

20. Шарик массы m , несущий заряд q , может без трения скользить по непроводящей спице. Спица проходит через центры двух неподвижных колец перпендикулярно их плоскости. Кольца несут заряды противоположных знаков $-Q$ и Q и расположены на расстоянии $2a$ друг от друга. Радиусы колец R . Постройте фазовый портрет системы.

21. Задачу о движении частицы массы m в потенциальной яме вида $U(x) = U_0 \operatorname{tg}^2 \alpha x$ сведите приближенно к модели осциллятора с кубической нелинейностью. В рамках этой модели найдите зависимость периода колебаний от частоты. Сравните полученный результат с точным (задача 9), построив соответствующую таблицу.

22. С помощью модели осциллятора с кубической нелинейностью оцените угловую амплитуду колебаний математического маятника, для которой период отличается на 1% от значения, предсказанного линейной теорией.

23. С помощью модели осциллятора с кубической нелинейностью оцените отношение амплитуд первой и третьей гармоник в спектре математического маятника, совершающего колебания с угловыми амплитудами $\pi/6$ и $\pi/2$.

24. Найдите поправку к частоте линейных колебаний для осциллятора с нелинейностью синуса. Покажите, что в первом порядке по квадрату амплитуды полученная оценка согласуется с результатом, отвечающим его аппроксимации осциллятором с кубической нелинейностью. Оцените период колебаний с угловой амплитудой $\pi/2$. Сравните найденное значение с точным и оценкой для осциллятора с кубической нелинейностью.

25. Представьте колебательную систему из задачи 19 в виде модели осциллятора с квадратичной нелинейностью. Используя эту модель, оцените увеличение расстояния между молекулами, совершающими колебания амплитуды A . На основании полученной оценки объясните механизм теплового расширения твердых тел.

26. Какой из универсальных моделей нелинейного осциллятора следует пользоваться для описания системы из задачи 14 при $lk > mg$ и при $lk < mg$? Получите уравнения соответствующих моделей в явном виде, оцените поправку к частоте и величину смещения центра колебаний относительно положения равновесия. Амплитуда колебаний A .

27. Математический маятник длины $l=1$ м находится в верхнем положении равновесия. Маятнику сообщили начальную скорость $v_0=1$ мм/с. Оцените период колебаний.

28. Для математического маятника из предыдущей задачи оцените относительную разность амплитуд первой и третьей гармоник в спектре скорости.

29. Для осциллятора с кубической нелинейностью, описываемого уравнением $\ddot{x} + x - x^3 = 0$, найдите соответствующий движению по сепаратрисе закон изменения координаты и скорости.

30. Найдите приближенно спектр Фурье для функции $v(t)$, определяющей скорость для осциллятора с кубической нелинейностью $\ddot{x} + x - x^3 = 0$, совершающего колебательное движение вблизи сепаратрисы.

31. Колебательный контур состоит из последовательно соединенных индуктивности L , емкости C и нелинейного резистора, характеризующегося вольт-амперной характеристикой $U = IR + kI^3$. Найдите закон изменения заряда на обкладках конденсатора с помощью метода медленно меняющихся амплитуд.

32. Получите укороченное уравнение для комплексной амплитуды в случае диссипативного осциллятора с кубической нелинейностью. Используя его, найдите уравнения для модуля и фазы комплексной амплитуды. Покажите, что в отсутствие диссипации полученные уравнения позволяют найти правильное выражение для поправки к частоте линейных колебаний.

33. Математическому маятнику длины l и массы m , находящемуся в покое в положении устойчивого равновесия в среде с сильной вязкостью (сила сопротивления пропорциональна скорости), сообщили ударом достаточно большую скорость v_0 . Найдите зависимость угла отклонения маятника от времени. Оцените максимальный угол отклонения. (Выполните предварительно оценки, которые уточняют понятия «сильная вязкость» и «большая скорость» для данной задачи. Найдите решения, соответствующие фазам быстрого и медленного движений, постройте их суперпозицию и подчините ее начальным условиям.)

34. В сосуд с поперечным сечением S_1 из крана с сечением S_2 поступает со скоростью v вода (рис. 4). Вода может выливаться через узкую сифонную трубку с поперечным сечением S_3 . Высота левого колена трубки равна h , а правого — H . Постройте график зависимости уровня воды в сосуде от времени и обоснуйте автоколебательный характер поведения системы. Найдите период установившихся автоколебаний. Найдите спектр, отвечающий зависимости высоты уровня воды в сосуде от времени. Считайте, что скорость вытекания воды через трубку определяется формулой Торричелли.

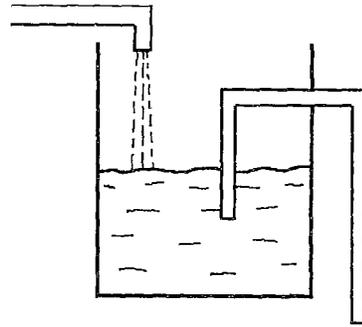


Рис. 4

35. Если провести по струне скрипки смычком, то она зазвучит. Почему? К какому типу колебаний следует отнести такой процесс (вынужденные колебания, параметрические колебания, автоколебания)?

36. Почему скрипит плохо смазанная дверь?

37. Прделайте следующий эксперимент. Пустите в ванну воду из-под крана. Внесите под струю воды шарик от пинг-понга. Пронаблюдайте поведение шарика. Проведите наблюдения для разных значений скорости струи, вытекающей из крана. Опишите поведение шарика на языке теории колебаний.

38. На рис. 5, а изображена полученная экспериментально вольт-амперная характеристика туннельного диода. В эксперименте измерены значения максимума и минимума тока I_1 , I_2 и соответствующие значения напряжения V_1 и V_2 . На этом диоде собран автогенератор по схеме, показанной на рис. 5, б. Параметры элементов схемы L , C и g считайте известными. Найдите величину амплитуды напряжения установившихся квазигармонических автоколебаний на туннельном диоде. При каком условии автоколебания будут квазигармоническими? Пусть

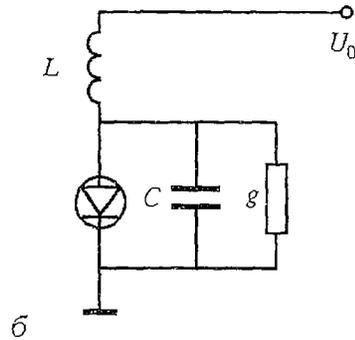
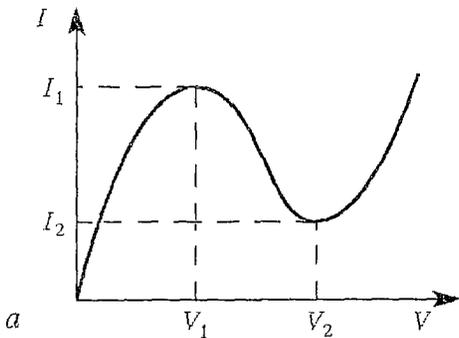


Рис. 5

величина проводимости g может регулироваться. При каком значении g возникнут автоколебания? Чему равна максимально возможная амплитуда автоколебаний? Считайте, что вольт–амперная характеристика диода хорошо аппроксимируется кубической параболой.

39. На ленте транспортера, движущегося с постоянной скоростью V , находится тело массы m , прикрепленное к пружине жесткости k . Зависимость силы трения от относительной скорости движения ленты и транспортера при $v > 0$ дается формулой $f(v) = f_1 + f_2/(1 + v^2/u^2)$, где f_1 , f_2 , u – постоянные коэффициенты. Сопротивление воздуха пропорционально скорости с коэффициентом α . Найдите скорость транспортера V , при которой уравнение движения груза может быть приближенно приведено к уравнению Релея $\ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + \chi x = 0$. Оцените амплитуду квазигармонических автоколебаний груза.

40. В рамках метода медленно меняющихся амплитуд оцените время τ установления квазигармонических колебаний в системе, описываемой уравнением Ван–дер–Поля $\ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + \chi x = 0$. Начальная амплитуда A_0 много меньше амплитуды установившихся колебаний. Как ведет себя время τ при приближении параметра λ к бифуркационному значению?

41. С помощью компьютера получите графики зависимости переменной x от времени и фазовые портреты для уравнения Ван–дер–Поля. Продемонстрируйте существование затухающих колебаний, квазигармонических и релаксационных колебаний.

42. Укажите значения параметров, при которых для модели автогенератора $\ddot{x} - (\lambda + kx^2 - x^4)\dot{x} + \chi x = 0$ возникающий жестким образом предельный цикл будет иметь заданный размер R_0 .

43. Для модели автогенератора из предыдущей задачи изобразите разбисие k , λ плоскости на области, отвечающие различным возможным типам динамики. Изобразите фазовые портреты для каждой из областей. Укажите устойчивые и неустойчивые предельные множества.

44. Исследуйте релаксационные колебания, описываемые уравнением Релея в форме $\epsilon \ddot{x} - (1 - x^2)\dot{x} + \chi x = 0$, соответствующей присутствию малого параметра перед старшей производной.

а) Постройте линию медленных движений на фазовой плоскости и фазовый портрет.

б) Найдите диапазон изменения координаты x и скорости \dot{x} на участке медленных движений.

в) Найдите связь между скоростью x и временем t на фазе медленных движений. Постройте график зависимости скорости от времени.

г) Оцените период колебаний.

45. Изобразите предельные циклы для автогенератора с жестким возбуждением, описываемого уравнением $\ddot{x} - (\epsilon + \mu x^2 - x^4)\dot{x} + \chi x = 0$, в случае релаксационных колебаний. Обсудите бифуркации циклов, возможные в этой системе.

46. Для уравнения Ван–дер–Поля получите в явном виде отображение $x_{n+1} = f(x_n)$, связывающее значения переменной x_{n+1} и x_n в момент пересечения оси x на фазовой плоскости, используя решение, полученное с помощью метода медленно

меняющихся амплитуд. Исследуйте на устойчивость неподвижные точки полученного отображения.

47. Получите отображение, соответствующее укороченному уравнению для колебательного контура с нелинейным резистором из задачи 31. Изобразите для него итерационную диаграмму.

48. Получите и исследуйте отображение, соответствующее укороченному уравнению для автогенератора с жестким возбуждением из задачи 42 в случае $k=0$.

49. Для диссипативного осциллятора с кубической нелинейностью под действием вынуждающей гармонической силы найдите линии жестких переходов на плоскости частота – амплитуда воздействия. Покажите, что эти линии имеют вид характерного «клюва».

2. Катастрофы

50. С помощью компьютера постройте график функции $y=\sin x$ на интервале от 0 до 3π и его аппроксимации семью полиномами последовательно возрастающей степени. Пронаблюдайте растущую эффективность Тейлоровской аппроксимации.

51. Свойства некоторой системы определяются функцией $f(x)=Ax+Bx^3+C\sin x+Dx\cos x+Ex\sin x$, зависящей от пяти параметров. Найдите число существенных параметров, которые необходимы при использовании аппроксимации с помощью двух первых членов ряда Тейлора. Что означает свойство полноты в применении к обсуждаемой задаче?

52. Обсудите понятие универсальности применительно к модели осциллятора с кубической нелинейностью. Приведите физические примеры, используя задачи из раздела «Нелинейные колебания».

53. Линза из материала с показателем преломления n образована плоской поверхностью и поверхностью, полученной вращением вокруг оси y некоторой четной функции $y(x)$ с единственным квадратичным экстремумом, расположенным в точке $x=0$. Обоснуйте универсальные свойства такой фокусирующей системы.

54. Консервативный осциллятор характеризуется некоторой потенциальной функцией $U(x)$. Сколько членов ряда Тейлора надо учесть в разложении функции $U(x)$, чтобы получить существенно двухпараметрическую модель консервативного нелинейного осциллятора? Постройте такую модель.

55. Отображение $x_{n+1}=f(x_n)$ задано некоторой гладкой функцией $f(x)$. Используя разложение функции $f(x)$ в ряд Тейлора, а также замены переменной и параметров, получите одно- и двухпараметрические универсальные модельные отображения.

56. Кубическое уравнение $x^3+px+q=0$ может иметь три, два или один действительный корень. Изобразите плоскость параметров p, q , разбитую на соответствующие области, и исследуйте вопрос о типичности и коразмерности каждой из названных ситуаций.

57. Как известно, космическая станция в поле массивной звезды может двигаться по эллипсу, параболе или гиперболе. Какие из этих траекторий относятся к случаям общего положения, а какие – к вырожденным?

58. Какие возможны ситуации взаимного расположения тора и плоскости? Какие из них соответствуют случаям общего положения, а какие являются

вырожденными? Какова их коразмерность? В рассуждениях используйте метод малых шевелений.

59. Какие возможны ситуации взаимного расположения плоской кривой и касающейся ее окружности? Какие из них соответствуют случаям общего положения, а какие представляют собой вырожденные ситуации? Какова коразмерность последних?

60. Укажите случаи общего положения, а также вырожденные ситуации коразмерности один и два на фазовых диаграммах состояния вещества.

61. Возьмите металлическую линейку и сожмите ее так, чтобы она прогнулась в одну сторону. Попробуйте «ликвидировать» этот прогиб, надавливая на выгнувшуюся линейку другой рукой. Пронаблюдайте происшедшую катастрофу.

62. Изготовьте машину Зимана (рис. 6) [8–12]. Проведите эксперименты с этой машиной и определите примерное расположение области мультистабильности на плоскости x, y , где x, y – координаты конца указки.

63. Имеется машина Зимана со следующими параметрами: диаметр диска 1, длина резинок в нерастянутом состоянии 1, расстояние от центра диска до точки прикрепления одной резинки 4. Найдите расположение двух «клювов» области мультистабильности – ближайшего и наиболее удаленного от центра диска.

64. Рассмотрите параболическую качалку [8–12], форма которой задана уравнением $y=x^2$ (рис. 7). В системе координат, привязанной к качалке, найдите геометрическое место точек, размещение грузика в которых обеспечивает существование такого состояния равновесия, что качалка касается горизонтальной поверхности в точке x_0 . Найдите условия устойчивости этого положения равновесия. Как располагается точка потери устойчивости относительно центра кривизны параболы?

65. Эволютой кривой называется кривая, представляющая собой геометрическое место центров кривизны для исходной кривой. Найдите эволюту для параболической качалки. Каковы координаты точки «клюва» на эволюте? Проинтерпретируйте эту кривую с точки зрения существования и сосуществования устойчивых состояний равновесия качалки.

66. Массивная платформа движется по прямой вдоль оси x со скоростью V . На платформе находится прикрепленный к пружине жесткости k груз массы m , совершающий колебания вдоль оси x с амплитудой a . Какие критические точки может иметь функция, определяющая зависимость от времени координаты груза относительно неподвижного наблюдателя? Какие из них «более типичны»?

67. Какие критические точки может иметь потенциальная функция $U(x)$ для системы из задачи 1, в? Какие из них «более типичны»?

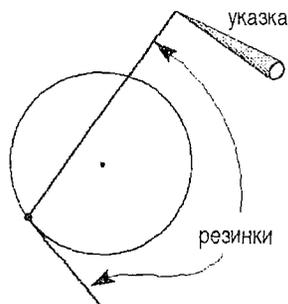


Рис. 6

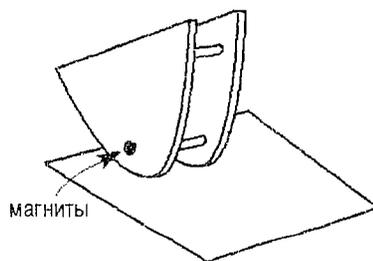


Рис. 7

68. Найдите матрицу Гессе в критических точках типа «максимум»: $z = -x^2 - y^2$; «минимум»: $z = x^2 + y^2$; «перевал»: $z = x^2 - y^2$; «обезьянье седло»: $z = x^3 - 3xy^2$; «желоб»: $z = x^2$ и «скрещенные желоба»: $z = x^2y^2$. Выясните, какие из них являются вырожденными, а какие нет. Изобразите системы линий уровня, соответствующие всем перечисленным критическим точкам.

69. Найдите выражение для потенциала $\varphi(x, y)$ в системе двух параллельных нитей, несущих положительные заряды с одинаковой линейной плотностью λ . Нити расположены на расстоянии d друг от друга. Изобразите соответствующую систему линий уровня. Какие критические точки имеет функция $\varphi(x, y)$? В их окрестности выделите у функции $\varphi(x, y)$ морсовскую часть.

70. Имеется тор в трехмерном пространстве x, y, z . Какие критические точки располагаются на поверхности тора, если считать, что она локально задает некоторую функцию $z(x, y)$? Какие из этих точек являются морсовскими? Рассмотрите различные ориентации тора в пространстве.

71. Фазовые траектории консервативного осциллятора можно рассматривать как линии уровня энергии осциллятора, зависящей от координаты и скорости. Какие объекты на фазовой плоскости соответствуют морсовским седлам?

72. Шарик массы m , несущий заряд q , может скользить без трения по горке, профиль которой задан функцией $y = a \ln(x^2/a^2 + 1)$, в электрическом поле напряженности E , направленном по горизонтали. При изменении величины поля может произойти катастрофа: устойчивое положение равновесия станет невозможным. Проследите за трансформацией зависимости потенциальной энергии шарика от координаты x при изменении параметра mg/qE . Определите тип катастрофы, происходящей в системе. Изобразите многообразие катастрофы, т.е. зависимость положения равновесия от параметра.

73. В пробирке под невесомым поршнем находится идеальный газ, поверх поршня налита ртуть. Газ очень медленно нагревают. При этом поршень поднимается, и ртуть постепенно выливается из пробирки. При превышении некоторого значения температуры T_c происходит «катастрофа»: поршень поднимается вверх и выбрасывает оставшуюся ртуть из пробирки, даже если температура газа больше не увеличивается. Установите тип катастрофы и постройте многообразие катастрофы. Атмосферное давление p_0 , начальная температура газа T_0 , длина пробирки l , первоначально газом занята часть пробирки l_0 .

74. В системе, описанной в задаче 18, стержень может быть наклонен под углом α к горизонту. Найдите линии складок и точку сборки на плоскости параметров $\alpha, l/a$.

75. Маленькая бусинка массы m может без трения скользить по тонкому проволочному кольцу радиуса R (рис. 8). Кольцо вращают с частотой ω вокруг вертикальной оси, проходящей через плоскость кольца на расстоянии a от его центра. Проследите за трансформацией зависимости потенциальной энергии бусинки от ее координаты во вращающейся системе отсчета. Найдите линии складок и точку сборки на плоскости параметров $a, \omega^2 R/g$.

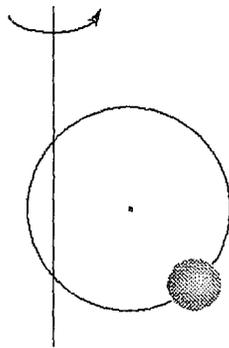


Рис. 8

76. Найдите линии складок и точку сборки в модели ферромагнетика Вейса (см. задачу 6) на плоскости H, T , где H – внешнее магнитное поле, T – температура, причем точка сборки соответствует температуре Кюри. Области с какими свойствами ферромагнетика разграничивают складки?

77. Чем отличаются свойства нелинейного осциллятора в случаях, когда зависимость потенциальной энергии от координаты $U(x)$ претерпевает катастрофу сборки и двойственной сборки?

78. Изобразите различные возможные проекции тора на плоскость. Укажите точки сборки, которые возникают при таком проецировании. Обсудите проблему устойчивости сборок при малом шевелении тора.

79. Покажите, что траектория точки на ободе колеса, катящегося без проскальзывания, имеет острия с характерной «полукубической» особенностью.

80. В системе из задач 14–15 шарик несет заряд q . На расстоянии a от него по горизонтали закреплен заряд противоположного знака $-Q$. Нелинейность пружины описывается соотношением $F=kx+cx^3$, где k и c – положительные коэффициенты, длина стержня l , масса шарика m , пружина не растянута, если шарик отклонен на расстояние x_0 от вертикали. Изобразите возможные конфигурации зависимости потенциальной энергии шарика от его координаты. Найдите значения параметров задачи, отвечающих катастрофе «ласточкин хвост».

81. Для катастрофы «ласточкин хвост», соответствующей потенциальной функции $U(x)=x^5/5+ax^3/3+bx^2/2+cx$, изобразите проекции линий сборок на плоскости параметров (a,b) , (a,c) и (c,b) . Для каждой из проекций укажите показатель степени, который отвечает полученным остриям.

82. Шарик массы m , несущий положительный заряд q , может катиться по поверхности, имеющей форму «лунки» и заданной функцией $z=a\ln(x^2/a^2+y^2/b^2+1)$. Ось z вертикальна. Вдоль оси x направлено электрическое поле E . При достаточно большой напряженности электрического поля устойчивое положение равновесия шарика внутри лунки исчезает. Найдите значения параметров, отвечающих такой катастрофе. Покажите, что вблизи точки катастрофы потенциальная энергия шарика $U(x,y)$ распадается на два слагаемых, первое из которых отвечает канонической форме некоторой каспидной катастрофы для координаты x , а второе соответствует морсовскому поведению по координате y .

83. Движение консервативного осциллятора задается потенциальной функцией $U(x)$. Пусть потенциал $U(x)$ зависит от параметров, при изменении которых он испытывает какие-либо катастрофы. Какие катастрофы – каспидные или омбилические – могут при этом происходить с линиями уровня энергии, т.е. с фазовыми траекториями осциллятора?

84. Объясните симметрию бифуркационного множества катастрофы «эллиптическая омбилика» («пирамида» по терминологии Арнольда [10–12]), заданной потенциалом $U(x,y)=xy^2-y^3/3+a(y^2+x^2)+bx+cy$. Для этого покажите, что повороты системы координат x,y на 120° и 240° соответствуют аналогичным поворотам на плоскости параметров b,c .

85. Покажите, что в центре системы из симметрично расположенных параллельных нитей, несущих одинаковую линейную плотность λ , потенциал $\phi(x,y)$ имеет критическую точку, соответствующую росту катастрофы «пирамида».

86. С помощью компьютера постройте картину линий уровня потенциальной функции $U(x,y)$ для катастрофы «пирамида» в нескольких характерных точках плоскости b, c при $a=1$.

87. С помощью компьютера постройте картину линий уровня потенциальной функции $U(x,y)=xy^2+y^3/3+a(y^2-x^2)+bx+cy$, соответствующей катастрофе «гиперболическая омбилика» («кошелек» по терминологии Арнольда [10–12]), в нескольких характерных точках плоскости b, c при $a=1$.

88. Получите выражение для энергии упругого стержня как функции амплитуды «выпучивания» a , считая что конфигурация стержня описывается выражением $y(s)=af(s)$, где $f(s)=s(s-L)/4$, L – длина стержня. Найдите с помощью этого приближения критическую нагрузку и соответствующий степенной закон зависимости амплитуды a от приложенной силы F .

89. Какой параметр в задаче о выпучивании стержня является аналогом параметра порядка в физике фазовых переходов?

90. Попробуйте угадать без вычислений структуру выражения для энергии стержня в двухмодовом приближении с точностью до членов четвертого порядка. Представляет ли оно собой элементарную катастрофу Тома?

91. Термодинамический потенциал Φ зависит от параметра порядка η следующим образом: $\Phi=\eta^6+A\eta^4+B\eta^2$ (потенциал Гинзбурга – Ландау). Изобразите разбиение плоскости A, B на области с различным характерным видом термодинамического потенциала. Обсудите аналогию с задачей об автогенераторе с жестким возбуждением (задача 43).

92. Обсудите закон соответственных состояний с позиций теории катастроф.

93. На борту корабля, стоящего у причала, можно наблюдать игру бликов, возникающую из-за отражений солнечного света от поверхности воды. Опишите свойства этой картины на языке теории катастроф.

94. В момент времени $t=0$ волновой фронт имеет форму параболы $y=x^2$. Скорость распространения волны c . Когда волновой фронт претерпит катастрофу «ласточкин хвост»?

95. Какие катастрофы волновых фронтов акустических волн наиболее опасны с точки зрения возможных разрушений?

3. Бифуркации

96. Найдите частоту линейных колебаний тела массы m в системе из задачи 18. Исследуйте зависимость этой частоты от параметров, в частности, постройте график зависимости нормированной частоты от угла наклона стержня α . Продемонстрируйте существование эффекта «смягчения моды», показав, что частота может обращаться в нуль.

97. Какие звуки – высокие или низкие – издает нагруженная стальная балка перед разрушением?

98. Долгопериодическая или короткопериодическая качка предшествует опрокидыванию корабля?

99. Какая бифуркация соответствует уравнению Ферхюльста (задача 3), если параметры a и b могут принимать как положительные, так и отрицательные значения?

100. Какая бифуркация имеет место в укороченном уравнении Ван-дер-Поля?

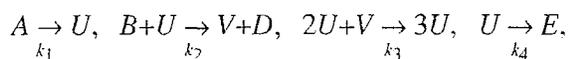
101. Исследуйте дифференциальное уравнение $\dot{x} = \lambda - x^2$, соответствующее нормальной форме для бифуркации «седло–узел». Найдите закон изменения координаты от времени $x(t)$, если $x(0) = x_0$, до бифуркации, в точке бифуркации и за ней. Постройте соответствующие графики. Укажите бассейн притяжения аттрактора системы.

102. Проведите аналогичное исследование для дифференциального уравнения $\dot{x} = \lambda x - x^3$, соответствующего бифуркации типа «вилка» («pitch–fork»).

103. Покажите, что в системе Лоренца (задача 17) при $r=1$ имеет место бифуркация типа «вилка».

104. Для системы, описываемой уравнением $\ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + x + \mu x^3 = 0$, получите укороченное уравнение. Покажите, что оно соответствует обобщенному уравнению для бифуркации Андронова – Хопфа.

105. Модель химической реакции, получившая название «брюсселятор», определяется схемой реакций



где A, B, D, E, U, V обозначают участвующие компоненты, а k_i – константы скорости реакций. Обозначим концентрации компонент соответствующими заглавными буквами и предположим, что компоненты A и B присутствуют в избытке, т.е. их концентрации постоянны и рассматриваются как параметры задачи. В этом предположении динамика системы описывается уравнениями

$$dU/dt = k_1 A - k_2 B U - k_4 U + k_3 U^2 V, \quad dV/dt + cV_x = k_2 B U - k_3 U^2 V.$$

Приведите уравнения к безразмерной форме. Покажите, что данная система демонстрирует бифуркацию Хопфа.

107. Рассмотрите продемпфированный осциллятор под периодическим импульсным внешним воздействием, амплитуда которого зависит от координаты осциллятора:

$$\dot{x} + \alpha x = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \varphi(x) \delta(t - nT).$$

Получите в явном виде отображение Пуанкаре $x_{n+1} = f(x_n)$, описывающее связь координат осциллятора после $(n+1)$ -го и n -го ударов. Укажите вид функции $\varphi(x)$, при котором получается логистическое отображение.

108. Найдите точку касательной бифуркации, бифуркации рождения 2–цикла и бифуркации рождения 4–цикла для логистического отображения $x_{n+1} = 1 - \lambda x_n^2$.

109. Найдите точки касательной бифуркаций для отображения $x_{n+1} = \cos \lambda x_n$.

110. Найдите производную Шварца для двух вариантов кубического отображения $x_{n+1} = x_n^3 + \alpha x_n + b$ и $x_{n+1} = -x_n^3 + \alpha x_n + b$. Какие бифуркации коразмерности один и два возможны в этих отображениях? Попробуйте отыскать эти бифуркации.

111. Для отображения Хенона $x_{n+1} = 1 - \lambda x_n^2 - y$, $y_{n+1} = b x_n$ найдите линию на плоскости λ, b , которой отвечает бифуркация рождения 2–цикла. Укажите области, внутри которых мультипликаторы устойчивой неподвижной точки являются а) действительными, б) мнимыми. Опишите эволюцию мультипликаторов при увеличении параметра λ при фиксированном $b > 0$.

112. В работе Икеды с соавторами [17] была рассмотрена оптическая система в виде кольцевого резонатора, частично заполненного средой с фазовой нелинейностью (рис. 9). Резонатор возбуждается лучом лазера через одно полупрозрачное зеркало, а выходной сигнал снимается через другое. Такая система может быть приближенно описана с помощью отображения $z_{n+1} = A + Bz_n \exp(iz_n^2)$. Здесь z – комплексная амплитуда света, A – параметр, пропорциональный сигналу лазера, B – параметр диссипации поля в среде. Покажите, что линии касательных бифуркаций на плоскости A, B сходятся в точках сборки и определите координаты нескольких таких точек. Найдите линии удвоенного периода, идущие вдоль «берегов» соответствующих линий складок.

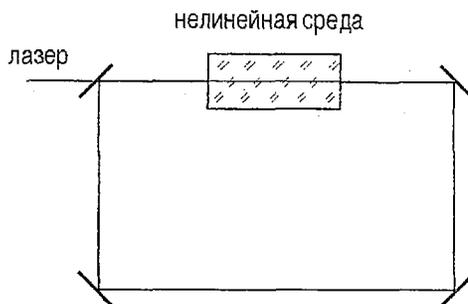


Рис. 9

При разработке курсов «Нелинейные колебания», «Катастрофы и бифуркации» использовались результаты научных исследований, поддержанных грантом РФФИ № 96–15–96921.

Литература

1. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. М.: Наука, 1974. 288 с.
2. Постников Л.В. и др. Сборник задач по теории колебаний. М.: Наука, 1978. 272 с.
3. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний. М.: Наука, 1972.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
5. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
6. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990. 312 с.
7. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1976.
8. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980. 608 с.
9. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Кн. 1. М.: Мир, 1984. 350 с.
10. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
11. Арнольд В.И. Теория катастроф // Наука и жизнь. 1989. № 10. С. 12–19.
12. Арнольд В.И. II. Теория катастроф // Итоги науки и техники. Сер. «Современные проблемы математики, фундаментальные направления». М.: ВИНТИ. С. 219–275.
13. Томпсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
14. Crawford J.D. Introduction to bifurcation theory // Rev. Mod. Phys. 1991. Vol. 63, № 4. P. 991.
15. Thompson J.M.T., Stewart H.B. Nonlinear Dynamics and Chaos. John Wiley and Sons, 1986. 376 p.
16. Крауффорд Ф. Волны. М.: Наука, 1974. 528 с.
17. Ikeda K., Daido H., Akimoto O. Optical turbulence: chaotic behavior of transmitted light from a ring cavity // Phys. Rev. Lett. 1980. Vol. 45. P. 709.

Саратовский государственный университет, СФ ИРЭ РАН

Поступила в редакцию 13.05.97



«СТИХИ ЖИВЫЕ САМИ ГОВОРЯТ...»

Заметки о гуманитарном образовании в физико–математических лицах

М.И. Рыскин

Критически рассмотрена сложившаяся в последние годы традиция преподавания гуманитарных дисциплин. Дано обоснование нового подхода к проблеме гуманизации, опирающегося на экологические приоритеты и непосредственное восприятие культурных ценностей. Предложена экспериментальная программа коэволюционно ориентированного спецкурса «Поэзия и природа», реализующего заявленный подход.

Чем нехороша действующая концепция гуманитарного образования

Академик Е.П. Велихов, 1996, характеризуя «текущий момент» и «виды на будущее» высказался весьма категорически: «Образование – наш единственный козырь. И с точки зрения подъема экономики, и с точки зрения создания открытого демократического общества...» А дальше напомнил такую историю: Когда–то римский император, после одной из войн, пожалел евреев в Палестине, встретился с их руководителями и спросил: «Что вы хотите? Помощи, денег?» Они ответили: «Открой нам школу».

Сейчас, когда общество упорно ждет тотальных реформ, в том числе и в сфере образования, подобный ответ сопрягается с еще одним вопросом – «Какой должна быть эта школа?» Судя по опыту последних лет – гуманитарной: в перестроечное и постперестроечное время возникло множество как средних, так и высших образовательных учреждений различного профиля, но с несомненным преобладанием гуманитарной направленности.

Гуманитарная доминанта, по мысли московского литератора Л.Бежина [1], обусловлена тем, что Зло в двадцатом веке приняло форму «иллюзорного технического прогресса, воплотилось в культе рационального начала и абсолютизации точных знаний». В противовес этому Добро должно быть гуманитарным, Добро – есть восстановленные гуманистические ценности религии, философии, искусства, литературы. «Такое понимание добра, – утверждает литератор, – уже обозначилось в нашем сознании – мы у истоков движения, которое можно назвать гуманитарным ренессансом».

Бессмысленно нападать на точное знание, так как это знание и информация, прежде всего научно–техническая, представляет собой главное богатство любого современного общества – капиталистического, социалистического и прочего. По мнению академика В. Накорякова, 1997. «инновации» и «производительность», а вовсе не пресловутые «труд» и «капитал» стали основными понятиями мировой

посткапиталистической экономики, а в центре, в фокусе современной жизни находятся знания и скорость их обращения. Однако знания понимаются не только как технические, «применяемые к созданию товарного продукта», а как фундаментальные, касающиеся области естественных наук, культуры и искусства. Производство такого знания «обходится недешево» – развитые страны тратят на него около $\frac{1}{5}$ своего общенационального продукта. Общеизвестно: чем больше страна вкладывает в образование, исследования, разработки, тем быстрее она завоевывает мировой рынок и тем больше у нее надежд на будущее, на выход из тупика, на спасение. И все же научно–технический прогресс несет в себе угрозу для продолжения жизни на Земле. Линейный научно–технический прогресс (НТП) не столько удовлетворяет потребности человека, как утверждают его «гуманитарные» адепты, сколько провоцирует, по выражению С. Зальгина [2], их бесконечный рост при изначальной ограниченности природных ресурсов. Это порождает катастрофизм сознания современного человека, постоянную тревогу в ожидании ядерной, демографической и, конечно же, экологической катастроф, то есть в ожидании «конца света». Для «снятия» таких угроз и тревог, для противостояния упомянутому Злу недостаточно простого расширения сферы фундаментального образования включением в нее культуры и искусства, то есть, иными словами, гуманитаризации этого образования. Недостаточно и простого увеличения расходов, финансовых средств (которых у государства нет) на нужды образования.

Необходимо выработать эффективную и нетривиальную стратегию и реализующие ее практически выполнимые тактические схемы, которые не вызвали бы немедленной реакции отторжения в действующей «машине» российской образовательной системы. Причем сразу следует оговориться, что при всей своей кажущейся простоте, привлекательности и этнической чистоте русская (или, во всяком случае, неевропейская) по происхождению идея самоограничения, активно поддерживаемая ныне А.И. Солженициным, откровенно утопична. Ограничить развитие мысли, остановить научно–технический прогресс без ущерба для эволюции самого человека невозможно. В чем же состоит недостаточность гуманитаризации – ведь повсеместно можно наблюдать существенное расширение перечня программ гуманитарного цикла – в общеобразовательных школах, лицеях, вузах, в том числе физико–математического или технического профиля? И тем не менее такая гуманитаризация крайне не эффективна, хотя и очень легко реализуема. Она состоит в самом элементарном «причленении» к основным и специальным курсам гуманитарных «предметов», которые трактуются как научные дисциплины. То есть используется неадекватный «предмету» (культуры или искусства) способ постижения – культуру «изучают», превращая в культурологию, литературу – в литературоведение, искусство – в искусствоведение и т.п. Здесь уместно вспомнить строчки из «Фауста»:

Живой предмет желая изучить,
Чтоб ясное о нем понятие получить,
Ученый прежде душу изгоняет,
Затем предмет на части расчленяет
И видит их. Да жаль! Духовная их связь
Тем временем исчезла, унеслась!

Культура, конечно же, живой организм, «не что иное как общий объем творчества человечества, проявление его божественной прерогативы» (Д. Андреев, 1993). Членение, анализ, насильственная «алгебраизация гармонии» ведут к утрате цельности, к исчезновению одухотворяющего начала, то есть к омертвлению искусства. «Души изменчивой приметы», перенесенные кистью художника на полотно, перестают существовать вне этого полотна, то есть на страницах учебника или научной статьи. В итоге такое «научное» преподавание дает обратный эффект – прививает учащемуся стойкую неприязнь к предмету. Художественная культура, искусство, религия, нравственные и эстетические категории, любовные переживания занимают по–преимуществу иную, ненаучную

сферу человеческого сознания – сферу «сверхсознания» (по выражению отца С. Булгакова). В этой адекватной предмету сфере наиболее эффективно осуществляется их постижение.

Прежде чем мы попытаемся дать вполне конкретный ответ на вопрос, как же оно должно осуществляться, еще несколько фрагментов о целях и содержании образования.

От цивилизации к культуре

Ромэн Гари как-то остроумно заметил, что «демократия – это когда все станут аристократами», имея в виду, что демократические ценности могут быть восприняты и стать нормой общественной жизни только в благородном сообществе (об этом и Веллихов, см. с. 44). Несколькими тысячелетиями раньше в «Даодэцзине» было сказано о Дао (о пути к истине): «Человек высшей учености, узнав о Дао, стремится к осуществлению. Человек средней учености, узнав о Дао, то соблюдает его, то нарушает. Человек низшей учености, узнав о Дао, подвергает его насмешке. Если бы оно не подвергалось бы насмешке, не являлось бы Дао» [3]. К сожалению в нынешней нашей жизни насмешкой не обойдется: демократические, а равно и культурные, и нравственные ценности подвергаются людьми низшей учености, или, попросту, низкими людьми, в каком бы высоком собрании они не заседали, – осмеянию, поруганию, поношению. Так что, конечно, одной из главных целей гуманитаризации, а может быть лучше сказать, гуманизации образования остается по замечательному выражению Д. Андресва «воспитание человека облагороженного образа». Однако как ни высока эта задача, она все же не исчерпывает ситуации, будучи только одной из сторон целевого «континуума».

Образование должно привести к формированию в сознании человека целостной и адекватной картины мира, воплощенной как в естественно-научной, так и в образной сфере, в сфере «сверхсознания». Такой целостной картины, которая позволила бы человечеству выбрать правильную, гарантирующую продолжение жизни, линию поведения. Правильный выбор обеспечивается, в свою очередь, соответствующей мировоззренческой установкой–парадигмой и соответствующими принципами системной организации образования. Академик Н.Н. Моисеев, например, ввел представление о некой целостной системе, «основанной на новой этике и новом понимании места человека и задачах его цивилизации и новой нравственности». Он назвал ее системой «Учитель» и определил как систему формирования, сохранения и развития знаний, нравственности и памяти народа [4].

По существу в рамках этой системы мыслится сместить мировоззренческую доминанту от цивилизации к культуре, добиться преобразования *Homo sapiens* – человека разумного, цивилизованного, человека эпохи НТР, в человека разумного и гуманного, человека культуры [3]¹. Х. Ортега и Гассет тоже писал в свое время о смещении мировоззренческой доминанты «из сферы внешнего в сферу внутреннего, от человека массы, обходящегося без морали, к личности» [3].

Антропоцентризм или биоцентризм?

О мировоззренческой парадигме, о принципах системной организации, то есть обо всем том, на чем покоится система «Учитель», нельзя говорить вне связи с современной экологией, понимаемой как деятельность, направленную на преобразование всех остальных форм человеческой деятельности: управленческой, производственной, социальной, здравоохранительной – всех без исключения [2].

¹ Что происходит с человеком, который полагает себя разумным, не будучи гуманным, блестяще продемонстрировано на примере еще одного *Homo* – героя известного романа Макса Фриша «*Homo Faber*», эталонного интеллектуала–технократа Фабера.

Употребление разными авторами одного и того же понятия «преображение», несущего очевидный религиозный подтекст, ореол святости, явно не случайно. Преображению, или коренному сущностному преобразованию, подвергается сознание человека, то есть ставится задача на основе экологического и нравственного императивов выработать новое массовое сознание. На философском уровне речь здесь идет о снятии антропоцентрической парадигмы, которая базируется на безусловной ценности человека при относительной ценности природы. Эта парадигма, являясь основой гуманитарной этики признает мерилем всех ценностей человека, она воплощена в «правах человека», она обрела «крылатое» звучание в лозунге «Природа не храм, а мастерская», она стала основой всех гигантских проектов преобразования природы для «блага и во имя человека». ² Идея безусловной ценности человека настолько внедрилась в массовое сознание, что в отношениях между людьми в целом (за вычетом фашиствующих сообществ и криминальной среды) гуманитарная этика действует интуитивно.

Антропоцентрическая парадигма уступает ныне свое место биоцентрической, которая предполагает в качестве меры всех вещей уникальность жизни вообще, признание безусловной ценности природы как целого (и как благодати!) при относительной ценности человека, как части этой природы. ³ Степень новизны этих идей для людей западной культуры такова, что до бессознательного, интуитивного претворения их в быт очень далеко [5].

Сознание, которое человечеству предстоит выработать, опираясь на биоцентрическую парадигму, можно назвать ноосферным, учитывая, что современная экология, по мысли того же С. Зальгина [2], возникла и существует ради того, чтобы «обеспечить переход биосферы в ноосферу, чтобы вписать все антропогенные процессы, всю деятельность человека в естественный природообразовательный процесс». То есть, чтобы, в конечном счете, спасти все живое и самого человека от разрушительных сил и следствий линейного НТП, воплотившегося в гибельную технологическую цивилизацию.

Поскольку спасение, как известно, достигается не только знанием но, прежде всего, любовью, этой единственной сближающей, соединяющей силой, цель образования и воспитания, т.е. того, что можно назвать выработкой экологически безукоризненного массового сознания, состоит в пробуждении и укреплении чувства истинной любви ко всему живому, чувства трепетного, ответственного отношения к природе. Как лозунг это может звучать так: «Природа прежде всего храм, а уже потом мастерская и человек–работник в этой мастерской должен быть достоин Творца».

Это цель объемная, не исчерпываемая элементарной гуманизацией сознания, а вызываемая жизнью как таковой, это собственно условие продолжения жизни на Земле, требование постоянного духовного подвижничества, работы души, как писал некогда Н. Заболоцкий.

Для решения такой сложной задачи, а это, безусловно, задача культуры (как религиозной, так и светской), необходимо пересмотреть действующую концепцию гуманитаризации по упоминавшейся схеме «причленения», изменить существующий подход к преподаванию в средних и высших учебных заведениях мировой культуры, особенно художественной: необходимо пересмотреть и само содержание образования в сторону его экологизации и предсказанного В.И. Вернадским синтеза восточной и западной культур в процессе «неизбежной интеграции знаний, которой будет сопровождаться переход человечества в новую, ноосферную фазу своего бытия»[3].

² Конец всех этих проектов один – гибель природы. Уместно вспомнить хотя бы заздравную песню о цветущих садах и рисовых полях в приустьевых пустынных просторах Сыр–Дарьи и Аму–Дарьи. А кончилось все это исчезновением целого моря – седого Арала и множества поселений на его берегах. Человек оставил эти, теперь уже непригодные для жизни, просторы.

³ Последний урок антропоцентризма по выражению Хайдеггера: часть, возомнившая себя целым, не может не терроризировать всякое целое, как противоречащее уделу части и обличающее в ней часть. Так же как Тень в сказке–пьесе Е. Шварца.

Дао и Логос. Обретение цельности

В своих «Размышлениях натуралиста» В.И. Вернадский отмечал: «Новые области естествознания ... в области философии Востока встречаются более важные и интересные для себя наведения, чем в философии Запада» [6].

Сила восточных учений в ощущении всеединства, взаимосвязанности, цельности.⁴

Заброшенным, затерянным, заблудившимся в частностях, потерявшим чувство целого, ощущение взаимосвязанности представляется культурологу и востоковеду Г. Померанцу человек современной цивилизации. Поэтому он видит важнейшую задачу реформы образования в том, чтобы помочь человеку встать на путь, ведущий к этой цельности. «Именно встать на путь, который каждый должен пройти сам. Но образование должно дать материал для внутреннего развития, должно познакомить с великими памятниками духовных поисков человечества.»

Синтез Восточной и Западной культур в особенности важен потому, что восточная (китайская, японская) традиция в отличие от западной изначально рассматривает человека как часть природы, то есть экологически чиста. Все основные восточные учения – конфуцианство, даосизм и буддизм «сходятся» на человеке, их цель одна – «приблизить к истине, изменить сознание, очистив его от эгоцентризма, порождающего неправду». Герман Гессе писал, что японские мыслители, к примеру, не отделяли себя от природы и не пытались насильственно вторгаться в ее тайны. Никогда не противопоставляли себя природе и не были ей враждебны, всегда любили ее благоговейной любовью. Дэ – воплощение дао – росток, несущий в себе заряд энергии будущего развития. Сила дэ проявляется как сила любви ко всему живому.

Восточного мудреца интересуют не отдельные объекты, а знание истины – то есть того, как все связано между собой, каковы отношения всего со всем. Если парадигма Запада предполагала необходимость действия, упорядочения мира, управления материей (а это и приводит к «расчленению», к дуальной модели мира), то парадигма Востока состояла в необходимости сохранения единого, цельности, в неразделении субъекта («не-два»). Так, сквозная мысль Упаншад: «Одна есть религия – это та, что одно во всех». Или: «Кто есть ты? – Я есмь ты». Когда в одном соединяются многие, то каждый становится центром вселенной – «Все в одном, одно во всем» (Сэн-цань). Связи при этом не исчезают, а приходят в соответствие, гармонизируются и потому не мешают, не опутывают человека. Вообще, принцип разделения появился на мифологической стадии, когда происхождение мира объяснялось борьбой между тьмой и светом, хаосом и порядком. И хотя этому принципу принято придавать всеобщий характер, в японских и китайских источниках происхождение мира объясняется без борьбы. Согласно священной японской книге «Кодзики», боги рождаются из первоестественной стихии, а мир развивается из самого себя: «Когда Земля была еще совсем юной и плавала, словно масляное пятно, колыхаясь, как студенистая медуза, явился в мир, вырвавшись из недр, словно молодой побег бамбука, бог роста и проявления скрытых сил природы... Божество – священный сын, дух природы, явленный в могучем побеге бамбука» [7].

В.И. Вернадскому – мыслителю и ученому – естествоиспытателю в свое время удалось представить Землю как самоорганизующуюся и саморазвивающуюся систему, и в этом представлении о самоорганизации «как о внутреннем направленном, хотя и свободном процессе» новизна его учения. В этом представлении о едином мировом процессе самоорганизации, как пишет в своей

⁴ Вот какой образ мира представляет по Ф.И. Шербатскому, 1991, философское учение буддизма: «Перед нами картина мира как волнующегося океана, в котором, как волны из глубины, постоянно откуда-то выкатываются отдельные элементы жизни. Эта волнующаяся поверхность представляет собой не хаос, а повинуетя законам причинности... Учение о совместозависимом поведении элементов является центральным пунктом всего буддийского мировоззрения» [7].

книге [4] академик Н.Н. Моисеев, «заключена идеология, способная преодолеть традиционный разрыв естественно-научной и гуманитарной культур»⁵.

Однако, в те времена, когда работал В.И. Вернадский, не было математического аппарата, необходимого для четкой и строгой формулировки биосферно-ноосферной концепции и для системного анализа процессов, протекающих в биосфере (тем более для управления ими). Но сегодня наука уже готова к созданию такого инструмента. Его основными компонентами становятся средства современной информатики и новое научное направление, «претендующее на роль теории самоорганизации природных (и, вероятно, общественных) термодинамически неравновесных, то есть открытых, систем». Это научное направление называют синергетикой, или нелинейной динамикой [3]. Синергетика занимается построением и исследованием математических моделей саморазвития, то есть научным исследованием упомянутых процессов, обнаруживая их сложность, множественность траекторий и ветвлений, неустойчивость, невозможность насильственного, принудительного, революционного преобразования этих систем без их разрушения и гибели и т.п.

Очевидно, что образование должно сегодня воплощать, интегрировать все три вышеупомянутые сферы: гуманитарную как таковую, экологическую и синергетическую. Их триединство составляет целостную мировоззренческую совокупность, покоящуюся на биоцентрической парадигме, то есть на экологическом (по прямой жизненной необходимости) фундаменте. Обретение гармонии; коэволюция, или совместная эволюция, человека, природы и общества – вот та глобальная проблема, которая сейчас стоит перед образовательными и воспитательными учреждениями, перед школой и вузами. И которая решается формированием нового массового сознания, названного ноосферным. Его естественно-научная основа – углубленное изучение фундаментальных наук о Земле и природе: физики, химии, биологии, геологии (в том числе в экологическом аспекте), его духовно-нравственная и чувственно-эмоциональная основа – художественная культура и искусство, религия, историческая память народов, его язык – математическая теория самоорганизации, нелинейная динамика. Это сознание способно сцементировать всю систему «Учитель».

Не о чем-то, а что-то

Теперь, кажется, можно обратиться к вопросу о постижении культуры, о заявленном выше адекватном подходе к ее восприятию. Он, действительно, прост и вполне реализуем в условиях такого города как Саратов. Предлагаемый подход строится на непосредственном восприятии учащимися культурных ценностей, когда на занятиях не «изучают» поэзию или музыку, а слушают стихи и пение виолончели в живом звуке. И не в сером будничном классе, а в концертном белом зале. А с живописными полотнами или гравюрами знакомятся в картинной галерее, на выставочной экспозиции и т. п. Установочным началом для такого подхода служат строки известной эпиграммы С. Маршак (вынесенные в заголовок этой статьи):

– О чем твои стихи?
– Не знаю, брат.
Ты их прочти, коли узнать охота.
Стихи живые сами говорят
И не о чем-то говорят, а что-то!

Конечно, при этом необходим тонкий немногословный комментарий, деликатная установка на восприятие, которую не всегда способен дать обычный преподаватель. Такой подход требует вхождения в школьную среду подлинного

⁵ Такой взгляд в [8] назван универсальным или глобальным эволюционизмом. Авторы [8] полагают, что он охватывает все существующие и мыслимые проявления материи и духа.

носителя культуры: художника, музыканта, профессионала, обладающего вдобавок ярко выраженным просветительским даром. О трудности, но неизбежности такого вхождения уже не раз писала учительская газета «Первое сентября».

Автору приходилось не однажды слышать высказывания об утопичности изложенного подхода. Тем не менее в 1996/97 учебном году Лицей Колледжа прикладных наук при Саратовском университете реализовал эту идею⁶.

Полная программа Лицея, где занятия ведутся в 8–11 классах на уроках «Мировой художественной культуры», выглядит следующим образом.

В восьмом и девятом классах предметом культуры является поэзия. Восьмиклассникам предлагается цикл бесед, объединенных названием «Образ мира. в слове явленный» по строчке из стихотворения Б. Пастернака «Август». Основная задача этого цикла, как явствует из названия, высветить картину мира или, вернее, уловить ее отдельные отблески в поэтическом преломлении. В идеале из хаоса фрагментов может сложиться целостная картина, но этот процесс «миросотворения» мыслится как вполне интимный, происходящий в душе слушателя – участника беседы постфактум, если, конечно, душа его будет затронута поэзией. Тематический круг бесед достаточно широк, но стержневая роль в нем отводится вечным вопросам бытия человека: свободе и творчеству, природе и культуре, родине и чести, народу и нравственности, любви и воле, причем разговор на эти темы может вестись как сквозь призму творчества какого-либо одного поэта, так и напрямую, когда для обсуждения поднятой проблематики привлекаются произведения разных авторов. Исходя из сказанного, материал программы 8-го класса скомпонован без признаков системности, последовательность тем не закреплена и допускает любые перестановки, объем и структура курса, а также порядок изложения оптимизируются обратной связью. Жесткой остается лишь установка на приоритет звучащего поэтического слова – на уроке основное место должна занимать декламация самих стихов, а не разговоры о них.

Цикл бесед для девятиклассников озаглавлен строкой Максимилиана Володина из знаменитого «Дома поэта»: «Весь трепет жизни всех веков и рас». Главная мысль этого курса – сближение народов, всеобщее братство как образ грядущего мироустройства (по Д. Андрееву) может быть достигнуто при сохранении всей яркости красок национальных культур, обычаев, верований и т. п. Общечеловеческие и, одновременно, национально-патриотические мотивы развиты в творчестве крупнейших поэтов всех времен и народов. Знакомство с этими и иными гранями их творчества способствует решению выше сформулированных задач. В программе 9-го класса, построенной на материале мировой неевропейской поэзии, есть элементы систематизации, которые уже не отвращают подготовленного опытом 8-го класса слушателя. Помимо этого на уроках затрагиваются некоторые вопросы языка поэзии, ее жанров и метрики. Программа завершается уроком, посвященном творчеству Пушкина. В каком-то смысле всю ее можно рассматривать как восхождение к Пушкину – светочу национальной русской и мировой культуры. Программа этих курсов приведена ниже.

Десятиклассникам предлагаются музыкальные занятия (один раз в две недели), чередующиеся (с такой же периодичностью) с занятиями по изобразительному искусству. Эти занятия проходят в концертном и выставочных залах Саратовского художественного музея имени А.Н. Радищева⁷. В музыкальных программах, которые создает, организует и воплощает в звуке доцент Саратовской

⁶ Излишне упоминать, что если бы не поддержка ректора и руководителя Колледжа чл.-корр. РАН Д.И. Трубецкова, не удалось бы организовать и претворить в жизнь ни саму культурную программу, ни опубликовать эти заметки. И изложенный подход, и основные соображения автора сформулированы и неоднократно обсуждались в беседах с ним. Остается только выразить Д.И. Трубецкову глубочайшую признательность и поблагодарить.

⁷ Нельзя не упомянуть и не поблагодарить директора музея, просветителя и подвижника культуры Г.М. Кормакулину, которая благосклонно приняла лицейцев КПН в свои гостеприимные стены.

консерватории пианистка Т.И. Кан со своими коллегами и учениками – студентами консерватории и музыкальных школ города – лицеисты КПН, будущие физики и математики, знакомятся с инструментальной и вокальной музыкой различных направлений и времен, причем принцип организации и здесь не системный, то есть не ориентированный на «изучение». Главное, чтобы «урок» затронул эмоциональную сферу, запомнился, что–то открыл и вызвал отклик. Это самые разные программы: виолончельные сонаты И.С. Баха, фортепианные циклы Чайковского, вокальные сочинения Шуберта, итальянская тарантелла для флейты и многое другое, включая произведения музыкантов–современников.

Программы по изобразительному искусству, которые придумывает и ведет талантливый художник–график Л.Ф. Горячева – это встреча с оригинальными мастерами пейзажа, портрета, натюрморта – авангардистами и традиционалистами – на их вернисажах, это тематические экскурсии по залам радищевского музея, это снова непосредственный контакт с искусством.

Одиннадцатиклассники на уроках по мировой культуре встречаются с театром, драматургией, знакомятся с театральными постановками (в видеозаписи и на сцене), многие сами участвуют в самодеятельных постановках. Театральной культурой в лицее КПН «ведает» преподаватель театрального факультета Саратовской консерватории М.М. Музалевский и артистка Театра юных зрителей Н.А. Краснова–Лазарева⁸.

Непосредственное восприятие искусства, связанное с эмоциональным переживанием, а в лучшем случае вызывающее потрясение, «сладостный восторг», облагораживает молодого человека, порождает в его душе «чувства добрые», готовят будущего читателя стихов, слушателя музыки, театрального зрителя, то есть человека культуры, человека одухотворенного. Такой человек, по нашему представлению, сможет справиться с теми глобальными проблемами, о которых говорилось выше, сможет жить в ладу с природой и обществом.

Конечно, очень существенным моментом при обращении к искусству является определенная нравственная и вкусовая ориентация, выбор искусства в пространстве добра и красоты, выбор прекрасного. Этот выбор обусловлен личностью того самого носителя культуры, который приносит ее в школу. Но эта культурная проблема будет оставаться всегда, так как личность преподавателя, в конечном счете, определяет все.

И, наконец, последнее замечание. Оно состоит в необходимости разработки и претворения новых оригинальных курсов в русле дисциплины «Мировая художественная культура». Это должны быть, по–видимому, курсы пограничные, синтезирующие естественно–научные и гуманитарные начала, причем, в первую очередь, на материале природы, то есть собственно коэволюционные курсы.

Автором в качестве примера, может быть весьма несовершенного, разработана подобная коэволюционная программа «Поэзия и природа». В прошедшем 1996/97 учебном году она была в полном объеме апробирована в лицейском геоэкологическом классе и приведена ниже.

⁸ Попытка объяснить «научно» эффект непосредственного восприятия искусства, в частности поэзии, предпринята в недавно опубликованных журналом поэзии «Арион» (1996, № 3) заметках о пресемантике В. Герцика, которые он назвал по строчке из восьмистишия О.Мандельштама «Без тягостных сносок». Автор утверждает, что истинным содержанием поэзии и, вообще, искусства является не смысловая «информация» и не игра в языковые (или иные формальные) структуры, а именно «период без тягостных сносок, единый во внутренней тьме», то есть нерасчлененное состояние сознания. Динамическое, ибо стучится в ворота речи и требует воплощения. Это состояние озарения, вдохновения, то есть состояние эмоционально окрашенное, порождает формы, соответствующие каналам чувственного восприятия: слуховому, зрительному и прочим. Формы эти взаимосвязаны и носят доязыковый характер. Поэт кодирует эти «пресемантические» структуры посредством языка (кодирование подобно по своим принципам созданию компьютерной программы). В процессе «дешифровки» сознание подготовленного читателя превращает языковые структуры в пресемантические, порождая эмоциональные состояния, подобные исходному. Таким образом, искусство выступает как своего рода «способ программирования сознания». Однако, многие, в частности академик П.В. Симонов (Литературное обозрение, 1988, № 2), такие толкования не разделяют и вопрос, в целом, остается открытым до построения соответствующих синергетических моделей.

ПРОГРАММА СПЕЦКУРСА
«Мировая культура» (70 часов поэзии)
для старшей ступени Лицея КПН

1. «Образ мира, в слове явленный»
8 класс, 34 часа, 1 час в неделю

Тема 1. «Стихи живые сами говорят...» (представление курса). «Твоя жизнь скудна, игемон!» (интересы духовные и бездуховные); Л.Мартынов: «В чем убедишь ты стареющих?», «Я понял!»; Н.Заболоцкий: «Не позволяй душе лениться».

Тема 2. «...Книга порвана, измята/ И в живых поэта нет...» (Осип Мандельштам). А.Тарковский: «Поэт»; В.Катаев: «Алмазный мой венец» (фрагмент о Щелкунчике); О.Мандельштам: «Только детские книги читать», «Silentium», «Ленинград», «Мы живем, под собою не чуя страны», «Я скажу тебе с последней прямоотой».

Тема 3. «По небу полночи ангел летел...» (М.Ю.Лермонтов). Ю.Левитанский: «Я был в юности выпитый Лермонтов»; Д.Андреев: «Роза Мира» (фрагмент о Лермонтове); М.Лермонтов: «Выхожу один я на дорогу», «Ночевала тучка золотая», «На севере диком», «Валерик», «Парус».

Тема 4. «...Счастлив тем, что я дышал и жил...» (Сергей Есенин). В.Корнилов: «Век Сергея Есенина»; В.Катаев: «Алмазный мой венец» (фрагмент о Королевиче); С.Есенин: «Мы теперь уходим понемногу», «Песнь о собаке», «Лисица», «Отговорила роща золотая».

Тема 5. «О, сколько музыки у бога!/Какие звуки на земле!» (определение поэзии). «Плуг, взрывающий время» (О.Мандельштам: «Слово и культура»); А.Ахматова: «Творчество»; И.Бродский: «12 строк памяти Ахматовой»; Б.Пастернак: «Ночь»; Б.Слуцкий: «Все правила – неправильны»; А.Пушкин: «Поэт», «Пророк».

Тема 6. «Будь прост, как ветер, неистощим, как море/ И памятью насыщен, как земля» (поэзия и культура). О.Мандельштам: «Поэзия как путь в культуру»; М.Волошин: «Дом поэта»; Д.Самойлов: «Дом–музей»; В.Непомнящий: «Феномен Пушкина и исторический жребий России».

Тема 7. «...Эту неяркую землю каждой кровинкой люблю...» (стихи о Родине). «Дым отечества и сила патриотизма» (Ф.Нестеров: «Связь времен»); В.Ходасевич: «Но восемь томиков, не больше/ И в них вся родина моя»; М.Лермонтов: «Родина»; Н.Коржавин: «Иван Калита»; А.Блок: «На поле Куликовом»; Н.Рубцов: «Тихая моя родина»; А.Жигулин: «Тихое поле над логом».

Тема 8. «...Всего живого ненарушаемая связь...» (стихи о природе). Ф.Тютчев «Не то, что мните вы, природа». Антропоцентризм или биоцентризм (В.Дольник: «Непослушное дитя биосферы»). Экологический консерватизм С.Зальгина и И.Шафаревича. С.Маршак: «О том, как хороша природа»; Н.Заболоцкий: «Ночь в Пассанаури»; А.Жигулин: «Осень»; А.Ахматова: «Перед весной бывают дни такие»; С.Есенин: «Будь же ты навек благословенно».

Тема 9. «И на холме средь желтой нивы...» (русская природа). Равнодушная, суровая или кроткая (Д.Лихачев: «Заметки о русском»). А.Пушкин: «Брожу ли я вдоль улиц шумных»; Н.Заболоцкий: «Я воспитан природой суровой»; С.Есенин: «Но люблю тебя, родина кроткая»; Н.Некрасов: «Поздняя осень»; Б.Пастернак: «Единственные дни».

Тема 10. «Аршином общим не измерить» (Россия и русские). Свобода или воля, закон или совесть, честность или святость? (Н.Бердяев: «Судьба России»);

И.Тургенев: «Русский язык»; Н.Заболоцкий: «Животворящий язык»; Я.Смеяков: «И за тебя, родная Русь»; «Земля моя родная» (С.Есенин: «Иорданская голубица»).

Тема 11. «Звезда полей горит, не угасая» (Николай Рубцов). Почва и судьба. Россия деревенская (В.Белов: «Лад»); В.Кожин: «Взгляд, ни разу не терявший беспокойства»; Н.Рубцов: «Звезда полей», «Зимняя песня», «Я буду скакать по холмам задремавшей отчизны», «В горнице», «Ворона».

Тема 12. «Огонь, мерцающий в сосуде» (Николай Заболоцкий). «Тайная повесть, сокрытая в этой судьбе» (Д.Самойлов: «Заболоцкий в Тарусе»); «Осенняя ясность» (А.Турков: «Николай Заболоцкий»); Н.Заболоцкий: «Прощание с друзьями», «Журавли», «Можжевельовый куст», «Противостояние Марса», «Некрасивая девочка», «Старая актриса».

Тема 13. «Выкованный грозами России, / Собеседник сердца и поэт» (Борис Пастернак). «Юноша с седою головой» (Н.Заболоцкий: «Поэт»); «Не слыша брани и похвал» (Я.Смеяков: «Отсюда, где я время трачу»); Б.Слуцкий: «Где-то струсил»; «Высокое косноязычье» (М.Цветаева: «Световой ливень»); Б.Пастернак: «Гамлет», «Дорога», «Хлеб», «После грозы», «На ранних поездках», «Август», «Быть знаменитым некрасиво», «Во всем мне хочется дойти до самой сути».

Тема 14. «И вечный бой! Покой нам только снится.» (Александр Блок). «Вечный вне школ и систем» (Б.Пастернак: «Ветер»); «Падение вестника» (Д.Андреев: «Роза Мира»); А.Блок: «Незнакомка», «Балаган», «Ночь, улица, фонарь, аптека», «Ты помнишь? В нашей бухте сонной», «О доблестях, о подвигах, о славе», «Рожденные в года глухие», «О, я хочу безумно жить», «О, весна без конца и без краю».

Тема 15. «Я уяснил, что значит быть свободным, / Я разобрался в этом чувстве трудном...» (стихи о свободе). «Неутолимая любовь к свободе» (Я.Харон: «Злые песни Гийома дю Вентре»); «Свобода. Детерминизм. Альтернативность» (Э.Фромм: «Душа человека»); Пушкин: «К Чаадаеву»; Лермонтов: «Прощай, немытая Россия»; Некрасов: «Укажи мне такую обитель»; Э.Ростан: «Я погибну, пускай. На земле не бывало иначе» («Сирано де Бержерак»); Л.Мартынов: «Ведь это значит быть за все в ответе». Свобода в Болдине (Д.Самойлов: «Болдинская осень»). Свобода воли и свобода совести (О. Николаева: «Святость, как категория свободы»). «Свободная от всего!» (М.Булгаков: «Мастер и Маргарита»).

Тема 16. «Никогда не быть рабами, / Никогда!» (Шандор Петефи). «Бог у нас теперь один – свобода» (А.Гидаш: «Шандор Петефи»). Переводчики Петефи – Б.Пастернак, Л.Мартынов, Н.Тихонов; Ш.Петефи: «На родине», «Патриотическая песня», «Национальная песня», «Мужчина, будь мужчиной», «Любовь и свобода», «Песня собак», «Песня волков».

Тема 17. «От жажды умираю под ручьем» (Франсуа Вийон. Урок баллады 1). «Я Франсуа, чему не рад» (И.Эренбург: «Французские тетради»); Ф.Вийон: «Баллада поэтического состязания в Блуа», «Послание к друзьям», «Баллада повешенных», «Баллада истин наизнанку», «Баллада примет», «Баллада пословиц».

Тема 18. «Корабль воздушный несется, / Несется на всех парусах» (урок баллады 2). Баллада бессмертна (Вик.Ерофеев: «Мир баллады»); «Баллада, ты должна найти любовь» (Данте: «Vita nova»); Петрарка: «В тени ль, на солнце ль», Р.Бернс: «Маленькая баллада». Баллады о Робин Гуде; Р.Стивенсон «Вересковый мед»; Гете: «Лесной царь»; Пушкин: «Песнь о вещем Олеге»; Г.Бюргер: «Ленора».

Тема 19. «Тот, которому я предназначен, / Улыбнулся и поднял ружье»

(Владимир Высоцкий. Урок баллады 3). «И осыпались камни с меня» (Н.Крымова: «О поэте»). Стихотворение, не ставшее песней (М.Влади: «Владимир, или прерванный полет»). В.Высоцкий: «Когда я отпою и отыграю», «Кони привередливые», «Колея», «Я это никогда не полюблю», «Охота на волков», «Охота с вертолета», «Памятник», «Парус».

Тема 20. *«Пока на лист не ляжет/ «Добро!» поэта,/ Пока поэт не скажет, / Что он за это» (Борис Слуцкий).* Д.Самойлов: «Перебирая наши даты»; «За высоту, за белую кору» (Ю.Болдырев о Слуцком); Б.Слуцкий: «Лошади в океане». «Говорит Фома», «Я строю на песке», «Бог», «Подлесок», «Прощание», «Ребенок для очередей», «Физики и лирики», «Романы из школьной программы», «Без претензий», «Псевдонимы».

Тема 21. *«Но вреден север для меня» (эзопов язык).* «Спасибо, Иуда, ты верный человек» (Ф.Кривин: «Божественные истории»); «Сказка – ложь, да в ней намек» (Л.Паклина: «Искусство иносказательной речи»); Л.Мартынов: «Троллейбус», «Август»; А.Межиров: «Прощание со снегом», «Закрытый поворот»; Е.Евтушенко: «Карьера», «Баллада о браконьерстве»; А.Яшин: «Медведя мы не убили».

Тема 22. *«В чужую скорбь – свое негодование, в чужое тленье – своего огня!» (проблема перевода).* «По своему я все переведу» (Л.Мартынов: «Проблема перевода»). Греческий портик на широте тундры (И.Бродский: «Сын цивилизации»). Переводы: сонет (Шекспир – Маршак); песня (Гейне – Л.Гинзбург); японское трехстишие (Басе – В.Маркова); «Сосна» Гейне в переводах Ф.Тютчева, А.Фета, М.Лермонтова.

Тема 23. *«Ты свисти, тебя не заставлю я ждать» (Роберт Бернс).* Любовь и бедность (Р.Райт–Ковалева: «Лирика Р.Бернса»); Р.Бернс: «В горах мое сердце», «Полевой мыши», «Любовь», «Финдлей», «В полях под снегом и дождем», «Пробираясь вдоль калитки», «Ты меня оставил, Джемми», «За тех, кто далеко», «Честная бедность».

Тема 24. *«И песня волшебная льется/ Неведомой силы полна» (Генрих Гейне).* Н.Коржавин: «Песня, которой тысяча лет»; «Так было во все времена» (Л.Гинзбург: «Разбилось лишь сердце мое»); Г.Гейне: «Юноша девушку любит», «Гонец», «Как из пены волн рожденная», «Лорелея», «Они меня истерзали», «Хотел бы в единое слово», «Гренадеры», «Ослы – избиратели».

Тема 25. *«Есть речи – значенье темно иль ничтожно,/ Но им без волненья внимать невозможно» (любовная лирика).* Любовь во спасение (В.Соловьев: «Смысл любви»). Любовь неразделенная (Э.Фромм: «Искусство любить»). Беатриче и Лаура. Б.Окуджава: «Надежды маленький оркестрик»; Пушкин: «Цветок»; Шекспир: «Мне показалось, что была зима»; Н.Асеев: «Мне без тебя и в жары стыть»; Н.Гумилев: «Жираф»; Б.Пастернак: «Заместительница», «Ева»; В.Маяковский: «Про это», «Люблю».

Тема 26. *«Покрести меня, полюшко–свете,/ Покрести меня, свететрава» (религиозная поэзия).* «Отец небесный, истинный Христос» (Г.Федотов: «Стихи духовные»); Пушкин: «Жил на свете рыцарь бедный»; Лермонтов: «Когда волнуется желтеющая нива», «Я, мать божия», «Молитва», «Ангел»; Б.Пастернак: «Рождественская звезда», «Гефсиманский сад»; И.Бродский: «24 декабря 1971 года».

Тема 27. *«Души изменчивой приметы...» (поэзия и живопись).* Девушка, старик и негр (У.Хогарт: «Анализ красоты»); Н.Заболоцкий: «О красоте человеческих лиц», «Лебедь в зоопарке», «Любите живопись, поэты»; Б.Окуджава: «Если ты хочешь стать живописцем», «Живописцы, окуните ваши кисти»; О.Мандельштам: «Художник нам изобразил»; Ю.Левитанский: «Время – бесстрашный художник»; Б.Пастернак: «Волны». Портреты Анны Ахматовой.

Тема 28. *«Музыка – свет не ближний,/ Дождь, на воде круги» (поэзия и*

музыка). «Гуденье мессы, шелест леса» (Б.Пастернак: «Охранная грамота»). Слово и музыка (С.Дрейден: «На крыльях поэзии»). Б.Окуджава: «Каждый пишет, как он слышит», «Моцарт», «...И улица России поет»; А.Межиров: «Какая музыка была», «Жарь, гитара»; Б.Слуцкий: «Музычка, работай, не молчи».

Тема 29. «Двух голосов переключка» (Анна Ахматова и Марина Цветаева). Две крылатые души (В.Орлов: «М.Цветаева: Судьба. Характер. Поэзия»); А.Найман: «Рассказы о Ахматовой»; Цветаева: «Моим стихам», «Мне нравится», «Ахматовой», «Дон Жуан», «Маяковскому», «Поэт», «Вчера еще в глаза глядел»; Ахматова: «Творчество», «Реквием», «Мужество», «Нас четверо», «Поздний ответ» («Невидимка, двойник, пересмешник»).

2. «Весь трепет жизни всех веков и рас».

9 класс, 34 часа, 1 час в неделю.

Введение (5 ч.). «Дверь отперта. Переступи порог».

Путь к одухотворению. Куда устремлен взор молодого человека с портрета Альбрехта Дюрера? Схоластика, реформация, гуманизм, Возрождение.

Отказ от иллюзий. Маркс и Фрейд.

Возвращение к идеалу: человек облагороженного образа. Технологическая цивилизация и природная среда. Биосфера и ноосфера.

Читаем – «Дом поэта» и «Путями Каина» Максимилиана Волошина, фрагменты книг Э.Фромма «Душа человека» и Д.Андреева «Роза Мира», стихотворения Леонида Мартынова: «Геркулес», «Что-то новое в мире», «Я понял» и др.

Тема 1. Истоки (7 ч.).

1. «Ригведа» – великое начало индийской культуры. Индийский эпос «героического века». Священное знание «Веда». Веда гимнов – «Ригведа». Завоеватели – арии и певцы–риши. Герой «Махабхараты» и «Божественная песнь – Бхагавадгита».

Читаем – мандалы «Ригведы» (гимны–заговоры, гимны–загадки) и шлоки (двустипшия) «Бхагавадгиты» (из «Махабхараты»).

2. «Дхаммапада» – вершина буддийской литературы.

Читаем – главы «Парных строф», «О мудрецах», «О цветах» и др.

3. Раздумья и плачи лириков древнего Египта. Боги и люди, пирамиды и гробницы.

Читаем – «Начальное слово...», «Спор разочарованного...» и «Плач о любимом» из книги «Лирика древнего Египта».

4. «Шицзин» – первая «Книга песен». Лирические стихи и пейзаж «Шань – Шуй» в культуре Ханьской нации. Акварели Ци Байши.

Читаем – «Нравы царств» и «Малые оды» из «Книги песен».

Тема 2. «Поднебесная» и страна «восходящего солнца» (Китай, Япония) (6 ч.). «В Китае, как ты знаешь, все люди – китайцы, и даже сам император – китаец» (вместо введения).

Живопись цветов и птиц; пейзаж «горы – воды»; бамбук, сгибаемый бурей. Пагоды и дворцы, павильоны и беседки (тин). Фарфор и лак, шелк и тушь, пористая бумага и иероглифическая кисточка.

Застежки на кимоно (нэцке).

Сад камней и раздвижная стенка интерьера. Японская гравюра (Хокусай, Утамаро и др.).

Читаем – «В мире жизнь человека» Тао Юань–мина; стихи Ли Бо: «О краткости жизни»; «Песнь о боевых колесницах» Ду Фу; трехстишия (хокку) Басе, пятистишия (танки) Такубоку.

Тема 3. Восточные мотивы (6 ч.). «Восток есть Восток, Запад есть Запад». Загадка Востока. Образ и ритм арабо–персидского востока: торговый

караван в пустыне, оазис, восточная услада, зурна и кеманча (вместо введения).
Бирюзовый купол, золото и лазурь. Мавзолей и мечеть. Орнамент, миниатюра, чеканка.

Каноны восточной поэзии. Диван: касыда, газель, рубаи.

Восточные мотивы в мировой и русской поэзии.

Читаем – касыды Рудаки, рубаи Омара Хайяма, газели Хафиза.

Читаем – «Фонтан любви, фонтан живой...», «Подражание корану» Пушкина, «Три пальмы» Лермонтова, «Из Гафиза» Вл. Соловьева, «Газеллы о Розе» Вяч.Иванова, «Оттуда» Бальмонта, «Персидские мотивы» Есенина.

Читаем – «Балладу о Востоке и Западе» Киплинга, «Воспоминания об арабских ночах» Теннисона, «Израфил» Эдгара По, «Четыре блага» и др. из книги «Западно-Восточный диван» Гете, «Поэт Фирдуси» Гейне.

Тема 4. Под сенью статуи Свободы (Северная Америка) (6 ч.). Сколько стоит человек? Немного истории: Великие равнины, Великие озера, Дикий запад, пионеры и ковбои. Краснокожие, янки и негры. Независимость, Север и Юг. Вашингтон, Джефферсон и Линкольн. Демократия, конституция и «Билль о правах» (вместо введения).

От ученичества и подражания к мостам и небоскреbam, «поп-арту», «спиритизму» и джазу.

Читаем – Эдгара Аллана По («Ворон», «Аннабел Ли», «Молчание»), Генри Лонгфелло («Псалом жизни», «Песнь о Гайавате»), Уолта Уитмена («Листья травы»).

Тема 5. Южная и Центральная (Латинская) Америка (5 ч.). Немного истории: ацтеки, инки, майя. Завоеватели и конкистадоры. Банановые республики и аргентинская пампа. Диктаторы и солдаты свободы (вместо введения).

Древние города и монументальные сооружения. «Пирамида Солнца».

Перуанские маски.

От декоративных рельефов и настенной росписи к фрескам Диего Риверы. Апофеоз барокко. Маркес и Борхес.

Читаем – музу народную (песни индейцев и песни гаучо), лиры Томаса Антонио Гонзага, чилийские строфы Карлоса Песоа Велис, гимны свободе (национальная песня Чили). Эусебио Лильон и Хосе Марти («Я хочу умереть так же просто»), барокко и модерн Рубена Дарио («Ритмично и нежно ...», «Симфония серых тонов» и др.).

Заключение. Вперед к Пушкину. «Легкость, в которой тяжесть преодолена». Феномен Пушкина (В.Непомнящий: «Удерживающий теперь»); «Благодаренье Богу – ты свободен» (Д.Самойлов: «Постель, Поэт и Анна», «Болдинская осень», «Святогорский монастырь»); «Чистый вкус родимой речи» (Б.Ахмадулина: «Приключение в антикварном магазине», «Свеча»); «И видел свет далекий» (Н.Коржавин: «Легкость»). А.Пушкин: «К Чаадаеву», «Пророк», «Арион», «Я помню чудное мгновенье», «Бесы», «Дорожные жалобы», «Памятник».

Программа «Поэзия и природа»

Тема 1 (вводная). Поэзия как путь в культуру (по О. Мандельштаму). «Твоя жизнь скудна, игемон» (интересы духовные и бездуховные). «Поэт в России больше, чем поэт» (поэты и святые). «Духовной жаждою томим» (бытие и сознание) (3 ч.).

Тема 2. «Всего живого ненарушаемая связь». Что такое природа? Природа как благодать. Природа как объект естествознания. Изменчивость, наследственность, отбор (Ч. Дарвин). Есть ли смысл в природе? (В.И. Вернадский). Стрела времени и нелинейная динамика. Три стихотворения Ф. Тютчева: «Не то, что мните вы, природа», «Волна и дума», «Тени сизые смешались...»; «Живой предмет желая изучить» (Гете: «Фауст»); М. Лермонтов:

«Когда волнуется желтеющая нива»; С. Маршак: «О том, как хороша природа»; Р.М. Рильке: «Видишь звезды» (из «Сонетов к Орфею»), «О Боге» (2 ч.).

Тема 3. «И памятью насыщен, как земля». Что такое культура? Культурные ценности. Враждебна ли культура природе? Логос и Дао: Встреча двух культур. «Дом поэта» Максимилиана Волошина. Р. Киплинг: «Баллада о Западе и Востоке»; О. Манделштам: «Слово и культура» (2 ч.).

Тема 3. «Мир я увидел без прикрас» (природа и человек). Экологические ценности: два подхода. Безусловная ценность человека или безусловная ценность природы? Гностическая установка на рациональную переделку мира и христианская идея спасения. Два стихотворения Л. Мартынова: «Наяды» и «Я понял...»; «Гамлет» Б. Пастернака и «Гамлет» Д. Самойлова (2 ч.).

Тема 5. «Но люблю тебя, родина кроткая» (русская природа и русский характер). Природа, свобода и воля. Равнодушная, суровая или кроткая? Храбрость или удаль? По закону или по совести? «Умом Россию не понять»? Русская идея (Ф.М. Достоевский и Д.С. Лихачев). Картины русской природы: А. Саврасов, И. Шишкин, И. Левитан, М. Нестеров, А. Васнецов. Стихотворения: Н. Заболоцкий «Я воспитан суровой природой», А. Жигулин «Тихое поле над логом», С. Есенин «Русь», Н. Рубцов «Тихая моя родина», Б. Пастернак «Когда разгуляется» (3 ч.).

Тема 6. «Вода благоволила литься...» Родники природы. Живая вода. Река и озеро. «Какие уроки дает океан человечеству?» «Звезда-польнь» и мертвая вода. Дао: Путь воды. Омовение. Стихотворения Кароля Войтылы, Л. Мартынова, А. Твардовского, М. Лермонтова, А. Пушкина, Ф. Тютчева, Н. Заболоцкого. Вода в фильмах Андрея Тарковского (2 ч.).

Тема 7. «Покрести меня, свете-травя». Русское поле. Сенокос, «ночное», травы луговые и «Блаженство бегать по росе босиком». «Бежин луг» И. Тургенева. Трава М. Метерлинка и В. Солоухина. Трава забвенья. «Степь» А. Чехова и С. Бондарчука. Образы травы – псалмопевец Давид, А. Пушкин, М. Басе, С. Красаускас, А. Ахматова, О. Хабаров, А. Тарковский, Б. Слуцкий (2 ч.).

Тема 8. «Благословляю вас, леса!» Березовая роща, сосновый бор, липовая аллея. Лесная глухомань, тайга. Лето в брянских лесах и светлые стихии природы (Д. Андреев «Роза мира»). «Комиссия» С. Зальпина, «Русский лес» Л. Леонова, «Серебряный бор» В. Иванова. «Повесть о лесах» К. Паустовского и «Отец-лес» А. Кима. Стихотворения Н. Заболоцкого, Л. Мартынова, К. Симонова, Б. Слуцкого. «То было раннею весной» А.К. Толстого (2 ч.).

Тема 9. «Тамариск, обрызганный слезами» (пустыни). Аридные земли и трудная жизнь пустыни. Богатство пустыни. Пустыня и «земля обетованная». Пустыня и пустынь. Народ «Джан» и «Такыр» А. Платонова. «Отцы-пустынники и жены непорочны». Явление «маленького принца» Экзюпери. «Ассаргадон пустыни» Н. Заболоцкого и великий Каранар Ч. Айтматова. Тигр и верблюды В. Хлебникова и Н. Пиросманишвили. Восток С. Параджанова. «Колыбельная» И. Бродского, «Кактус» А. Тарковского, «Сахара» Н. Гумилева, «Верблюды» Н. Заболоцкого, «Желтая страница» С. Маршака. «Христос в пустыне» И. Крамского (2 ч.).

Тема 10. «Живем над пламенем вселенским» (вулканы). Как устроена Преисподняя и лики Земли. Островные дуги, землетрясения, вулканы, кальдеры и гейзеры. Рифы и атоллы. Богатства вулканических зон. Гора Арарат. Армения А. Белого, О. Манделштама, В. Звягинцевой (2 ч.).

Тема 11. «Он не бывает ни добром, ни злом» (камень). Базальт, гранит и андезит (порода). Кварц и слюда (минерал). Кимберлитовые трубки. «Но только не путайте уголь с алмазом». Твердость Петра и неверность Фомы. Детективные

истории с алмазами. Удивительный мир камня. «Храни меня, мой талисман». Стихотворения Б. Пастернака, О. Мандельштама, А. Кушнера, А. Твардовского (2 ч.).

Тема 12. «Как вишни расцвели!» (японская концепция красоты и китайская пейзажная лирика). Живопись цветов и птиц; пейзаж «гбры» и «вбды»; бамбук, сгибаемый бурей. Сад камней и раздвижная стенка интерьера. Акварели Ци Байши и гравюры Хокусая. Стихотворения из книги песен «Шицзин», птицы, сады и поля Тао Юань-Мина, трехстишия Мацоу Басе и др. (4 ч.).

Тема 13. «Лес обнажился. Поля опустели» (времена года и состояния природы). Стихотворения, живописные и музыкальные произведения на тему по выбору учащихся (2 ч.).

Тема 14. «Рассказать, что солнце встало» (поэты природы). Стихотворения А. Пушкина, Н. Некрасова, А. Фета, Ф. Тютчева, И. Бунина, Б. Пастернака, С. Есенина, Н. Заболоцкого, Н. Рубцова (4 ч.).

Тема 15 (заключение). «Время собирать камни». «Во многой мудрости много печали» («Экклезиаст»). «Жар потерянного времени» (Л. Мартынов). Время и вечность. Совесть и жалость. Мечта и реальность: от биосферы к ноосфере (В.И. Вернадский). Ноосферные структуры Г.И. Худякова. Стихотворения Л. Мартынова, О. Мандельштама, Н. Коржавина, В. Соколова, Б. Пастернака (2 ч.).

Литература

1. *Бежин Л.* На пороге гуманитарного века // Новый мир. 1994. № 12. С. 181–190.
2. *Зальгин С.* Экологический консерватизм: шанс для выживания // Новый мир. 1994. № 11. С. 106–111.
3. *Григорьева Т.П.* Логос и Дао: Встреча двух культур. М.: Наука, 1992. 360 с.
4. *Моисеев Н.Н.* Экология человечества глазами математика: Человек, природа и будущее цивилизации. М.: Мол. гвардия, 1988. 254 с.
5. *Шрейдер Ю.* Экологические ценности: Три подхода // Новый мир. 1994. № 11. С. 111–118.
6. *Вернадский В.И.* Размышления натуралиста. Научная мысль как планетарное явление. Кн.2. М., 1977. 261 с.
7. *Григорьева Т.П.* Японская художественная традиция. М.: Главная редакция восточной литературы издательства «Наука», 1979. 368 с.
8. *Карлинская Р.С., Лисеев Н.К., Огурцов А.П.* Философия природы: коэволюционная стратегия. М.: Интерпракс, 1995. 352 с.

Лицей Колледжа прикладных наук
Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию 14.04.97



Рыскин Михаил Ильич окончил геологический факультет Саратовского университета в 1960 году и с этого времени работает на кафедре геофизики СГУ. Кандидат геолого-минералогических наук, доцент. Автор 80 научных публикаций по вопросам геологической интерпретации геофизических наблюдений и физико-геологического моделирования. С 1992 года занимается также проблемами гуманитарного и экологического образования. Читает спецкурсы соответствующей ориентации в Лицее КПН и гимназии №1 Саратова.



РАЗМЫШЛЕНИЯ О НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ
К вопросу об учебных планах подготовки специалистов
по нелинейной динамике

В.С. Анищенко

Вместо введения

Начнем с того, что учебных планов подготовки специалистов по нелинейной динамике формально не существует. И это естественно, так как в перечне университетских специальностей «нелинейная динамика» отсутствует. В то же время ежегодно в последние десять лет проводятся международные семинары, конференции и симпозиумы, в названии которых обязательно присутствует термин «нелинейная динамика» и различные ее приложения в естествознании. В издательствах научной литературы регулярно публикуются сборники научных трудов, монографии и даже учебники по нелинейной динамике. При некоторых издательствах созданы специализированные редколлегии по отбору и публикации серии книг по нелинейной динамике.

Возникают вопросы: российские университеты безнадежно отстали в этом направлении? Повторяется история с кибернетикой и теорией информации? Или это не так? К великой радости, это действительно не так. В университетах России работают известные специалисты в области нелинейной динамики. Под их руководством осуществляется подготовка выпускников, аспирантов и докторантов по ряду направлений современной нелинейной динамики. При этом уровень подготовки специалистов отвечает самым высоким требованиям мировой науки. Однако в силу определенного здорового консерватизма высшей школы нелинейная динамика пока не выделилась в самостоятельную специальность, что должно, видимо, произойти в ближайшее время. Целью настоящей статьи является обсуждение в порядке дискуссии некоторых проблем, связанных с пониманием предмета нелинейной динамики и формулировка общих положений о возможном содержании учебного плана подготовки специалистов по нелинейной динамике на основе плана специальности «радиофизика и электроника».

Немного истории

В конце семидесятых годов благодаря активной деятельности профессора Штутгартского университета Г. Хакена и профессора МГУ Ю.Л. Климонтовича в университетах России заговорили о синергетике. При этом каждый понимал новую

науку по-своему. Одни говорили о новой парадигме в естествознании, об изменении сути научного подхода, обусловленного кооперацией нескольких фундаментальных наук и их методов; другие не видели в синергетике ничего нового в сравнении с современной теорией колебаний и волн; третьи вообще считали, что синергетика это лозунг и ничего больше.

Примерно в эти же годы ярые дискуссии и споры вызвали идеи Нобелевского лауреата И.Р. Пригожина о процессах формирования и эволюции так называемых диссипативных структур, о хаосе, порядке и т.д. Многие ученые отстаивали мнение, что понятие «автоволны» и «автоколебания» более правильно отражают суть явлений и рассматриваемые проблемы составляют предмет исследований нелинейной теории колебаний и волн.

Наконец, относительно недавно профессор Ю.Л. Климонтович предложил ввести в перечень направлений магистерской подготовки физиков специализацию «физика открытых систем».

Вы скажете, так в чем же проблема и какое отношение все это имеет к нелинейной динамике? Я не беру на себя смелость дать исчерпывающий ответ на этот сложный вопрос, но хотел бы отразить свою точку зрения. Как мне представляется, нелинейная динамика с одной стороны включает в себя многое из того, что мы понимаем под синергетикой, теорией диссипативных структур и физикой открытых систем. Но при этом нелинейная динамика имеет более четко обозначенный круг проблем, которые определяют предмет ее исследований и в определенном смысле может претендовать на роль объединяющего фактора по отношению к синергетике, теории диссипативных структур и физике открытых систем.

Нелинейная динамика – это наука?

Несмотря на определенные и естественные различия в содержании и трактовке указанных выше научных направлений, их объединяет глубокая общность. Картина с точки зрения философии науки во многом напоминает времена становления теории колебаний. Теория колебаний вначале формировалась как наука, нацеленная на описание механизмов возникновения и свойств незатухающих периодических колебаний в радиотехнических генераторах. Однако, очень быстро пришло понимание фундаментальной общности и значимости теории колебаний для естествознания в целом. Аналогичная картина имела место и при разработке и дальнейшем развитии теории информации. Возникнув на основе изучения и оптимизации процессов передачи информации по каналу связи в радиотехнике, теория информации сформировалась в самостоятельную дисциплину с широким спектром приложений от радиофизики до лингвистики.

С нелинейной динамикой на наших глазах происходит нечто подобное. Безусловно, в современной теории нелинейных колебаний и волн разработаны не только специальные методы анализа нелинейных процессов в динамических системах, но и исследован ряд принципиальных физических явлений общего характера, имеющих фундаментальное значение для естествознания. Вклад теории нелинейных колебаний и волн в развитие нелинейной динамики в целом безусловно велик. Однако выяснилось, что при анализе реальных эволюционных процессов в естествознании широкий спектр проблем не может быть исследован с использованием только теории колебаний и волн. В качестве одного из примеров можно привести явления индуцированных шумом переходов в нелинейных системах. Выяснилось, что в ряде случаев роль шума не может рассматриваться лишь в качестве малого возмущающего фактора. Шум может вызывать качественно новые физические эффекты и явления, отсутствующие в системах без воздействия флуктуаций. Другим примером может служить явление детерминированного хаоса. Для понимания закономерностей хаотических процессов в нелинейных диссипативных динамических системах необходимо

использовать весь арсенал теоретических методов и представлений теории динамических систем, статистической и эргодической теорий, теории информации, качественной теории и др. Другими словами, для более глубокого анализа закономерностей нелинейной динамики сложных систем естествознания требуется синергетический подход. Это одно важное обстоятельство. Другое, не менее важное обстоятельство, заключается в том, что ряд принципиальных эффектов, обнаруженных при исследовании нелинейных систем в различных (порой не связанных между собой, на первый взгляд) конкретных областях знаний, носит фундаментально общий характер. И, наконец, наиболее важное. По существу, большинство новых эффектов, открытых в последние годы физиками, имеет отношение к исследованию явлений и процессов в нелинейных диссипативных системах и средах. Автоколебания и автоволны (включая хаотические), а также стационарные пространственные структуры могут наблюдаться исключительно в нелинейных диссипативных системах и распределенных активных средах. Такие системы в силу диссипативности являются открытыми системами, а самоподдержание тех или иных режимов или структур в открытых системах возможно лишь за счет их принципиальной нелинейности. Таким образом, ключом к пониманию сути сложных явлений и процессов является диссипативность и нелинейность динамической системы. Поэтому, если подходить к проблеме с самых общих позиций, то синергетика, теория диссипативных структур, физика открытых систем и нелинейная динамика – все это по сути дела важные составляющие одной общей науки, призванной описать явления в мире открытых нелинейных систем, активно взаимодействующих с внешней средой.

Указанное выше, как мне представляется, дает возможность составить определенные представления об основном содержании и предмете изучения нелинейной динамики.

Давать определения, тем более новые – дело непростое и даже неблагодарное в силу неизбежной критики. Тем не менее беру на себя смелость дать определение нелинейной динамики.

Нелинейная динамика – это наука, изучающая эволюционные процессы, общие закономерности и явления в нелинейных динамических системах окружающего мира и в их образах – математических моделях активных открытых динамических систем, способных к самоорганизации.

Предметом исследований нелинейной динамики являются принципиально нелинейные динамические системы, главным образом диссипативные. Консервативные нелинейные системы также составляют предмет изучения нелинейной динамики, важный для понимания проблемы самоорганизации в диссипативных системах. Под самоорганизацией я понимаю возможность образования и самоподдержания в динамической системе устойчивых временных, пространственных и пространственно-временных изолированных структур.

Предвижу возражение: в этом нет ничего нового, это закономерный путь развития практически любой теоретической науки. Да, революции здесь, по-видимому, нет, но налицо существенная эволюция. Действительно, мы можем усмотреть аналогию с развитием теории нелинейных колебаний, которая коллекционирует наиболее простые базовые математические модели, демонстрирующие те или иные фундаментально общие свойства. Например, модель генератора Ван-дер-Поля как простейший пример системы с устойчивым предельным циклом. В нелинейной динамике также осуществляется поиск и выделение фундаментальных моделей, описывающих принципиально важные и общие свойства нелинейных систем естествознания. Отличие в том, что число таких моделей существенно расширяется. В их число теперь включаются не только динамические системы классической теории колебаний, но и модели из статистической теории (процесс Орнштейна – Уленбека, бистабильный осциллятор с шумом), химии, механики, популяционной динамики, экологии и др. Это тот самый случай, когда увеличение количества существенно меняет качество.

О содержании учебных планов

В настоящей статье я хотел бы изложить одно из возможных направлений развития и совершенствования подготовки специалистов в области нелинейной динамики. За основу можно взять стандартный учебный план университетской подготовки выпускников по специальности «радиофизика и электроника». Программы циклов дисциплин по высшей математике, общей физике, теоретической и математической физике и информатике (включая «компьютерные» дисциплины) составляют фундаментальную научную базу подготовки специалиста по нелинейной динамике. С целью формирования более широкого кругозора студентов и обоснования важности «кооперации» фундаментальных наук в рамках нелинейной динамики необходимо включить в план общий курс по синергетике (34–51 час). Исследования в области нелинейной динамики убедительно показали необходимость более глубоких знаний теории случайных процессов и статистической физики. В этом направлении можно пойти двумя путями. Можно ввести дополнительные общие курсы «Теория случайных процессов» и «Индукцируемые шумом фазовые переходы». Либо, путем соответствующей переработки программ по теории вероятностей и статистической физике, ввести указанные выше разделы в эти курсы за счет некоторых неизбежных при этом сокращений действующих программ.

Теперь обсудим содержание общих специальных радиофизических дисциплин. Наиболее важными здесь являются курсы теоретических основ радиотехники, теории нелинейных колебаний, теории волновых процессов, статистической радиофизики и теории информации. Программы этих курсов наиболее полно отражают суть фундаментальных явлений в нелинейных динамических системах. Кроме того, лектору представляется ничем не ограниченная возможность широко использовать последние научные результаты в соответствующих направлениях исследований. Однако, преподаватели указанных дисциплин испытывают потребность оперировать элементами современной качественной теории дифференциальных уравнений. Еще недавно для этой цели было достаточно основных результатов по качественной теории динамических систем на плоскости. Они входили как часть курса лекций по нелинейной теории колебаний. Сейчас этого явно недостаточно. Необходимо ввести общий специальный курс лекций по качественной теории нелинейных дифференциальных уравнений, программа которого должна включать результаты не только для двумерных систем, но и для систем, фазовое пространство которых имеет размерность $N > 2$. Важность этого курса обусловлена тем, что при отсутствии общей теории решений нелинейных дифференциальных уравнений, качественная теория является по сути единственной, которая располагает рядом строгих результатов общего характера, очень важных с точки зрения нелинейной динамики и ее практических приложений.

Из общих специальных курсов представляется желательным переработка и наполнение современным содержанием курса лекций по математическому моделированию. На физическом факультете СГУ этот курс хотя и является общим, однако читается независимо на каждой кафедре на базе индивидуальных научных направлений того или иного коллектива. Настало время, по-моему, разработать действительно общий курс, поручив его методическое обеспечение коллективу одной или нескольких кафедр, имеющих наибольший научный и методический опыт в этом направлении.

Что касается формирования перечня специальных курсов кафедр по соответствующим специализациям, то здесь предоставляется безусловно большая свобода выбора. Спецкурсы должны иметь в качестве основы результаты научных исследований соответствующих научных школ, групп, отдельных научных работников и создавать фундаментальную базу для подготовки дипломных работ выпускников, магистерских, кандидатских и докторских диссертаций. В качестве реального примера приведу перечень некоторых спецкурсов, сформировавшихся

за последние годы на кафедре радиофизики СГУ с учетом перспектив их совершенствования на ближайшие годы.

- Дополнительные главы нелинейной теории колебаний и волн.
- Устойчивость и бифуркации динамических систем.
- Детерминированный хаос.
- Персональный компьютер в научных исследованиях.
- Нелинейное броуновское движение.
- Цифровая обработка сигналов.
- Дискретные динамические системы.
- Численные методы в нелинейной динамике.
- Численный анализ временных рядов.
- Специальные и прикладные проблемы нелинейной динамики.

Приведенные наименования спецкурсов ориентированы на подготовку специалистов по нелинейной динамике, работающих в области исследований эволюционных процессов в системах с конечным числом степеней свободы. Если коллектив научных сотрудников кафедры работает в области исследований нелинейных явлений в распределенных активных системах и средах, то соответствующий перечень спецкурсов должен включать дополнительные главы курса «Методы математической физики», численные методы в нелинейной теории волновых процессов, диссипативные структуры и т.д. Если, к примеру, основное направление исследований кафедры сосредоточено в области нелинейной оптики, то и спецкурсы должны соответствующим образом быть адаптированы к этой области нелинейной физики.

Замечания в заключение

В настоящей статье я изложил свои представления о новом научном направлении подготовки специалистов в области нелинейной динамики и собственно о том, что я понимаю под нелинейной динамикой. Сделано это на основе опыта учебной и научной работы кафедры радиофизики СГУ, которым располагаю. Отдаю себе отчет, что любой другой руководитель иной кафедры в чем-то со мной будет не согласен, и это нормально. Однако хочется надеяться, что некоторые соображения и общие идеи будут полезны определенному и достаточно широкому кругу работников высшей школы.

Специалистов по нелинейной динамике можно и нужно готовить на основе конкретных научных достижений коллективов практически любой из кафедр физических факультетов университетов. Опыт научного общения с профессионалами в области нелинейной динамики в России и за ее пределами позволяет мне обоснованно отдать предпочтение в выборе специальности «радиофизика и электроника» в качестве наиболее подходящей базы для формирования учебных планов по нелинейной динамике в будущем.

Безусловно, необходимо отдавать себе отчет в том, что пока не настало время готовить специалистов по нелинейной динамике в широком, как это было принято раньше, масштабе. Эта фундаментальная область знаний находится на этапе формирования и становления. Прикладные ее аспекты пока не выделились настолько, чтобы в практической жизни остро ощущалась реальная потребность общества в таких специалистах. В настоящее время реально и целесообразно ориентироваться на подготовку магистров, аспирантов и докторантов. Важно создать условия для подготовки элитной группы специалистов высшей квалификации, которым и предстоит в будущем двадцать первом веке адаптировать эту область знаний к потребностям реальной жизни. А такая потребность в будущем безусловно возникнет, в этом нет сомнений.



Анищенко Вадим Семенович защитил диссертацию на степень кандидата физико-математических наук (1970) и докторскую диссертацию «Механизмы возникновения и свойства динамического хаоса в радиофизических системах с конечным числом степеней свободы» (1986). С 1979 и по настоящее время работает в области исследований динамического хаоса. В качестве приглашенного профессора читал курс лекций по динамическому хаосу в Гумбольдском университете (Берлин, 1987). С 1988 года заведующий кафедрой радиофизики Саратовского университета. Автор более 200 научных работ, среди которых 6 монографий и 3 учебника по статистической радиофизике. Три монографии написаны на английском языке, из них 2 книги опубликованы в Лейпциге (1987, 1989); издательством «Наука» выпущена книга «Сложные колебания в простых системах» (1990), хорошо известная среди специалистов; в издательстве «World Scientific» вышла новая монография «Dynamical Chaos – Models and Experiments» (1995).

В.С. Анищенко разрабатывал и читал общие курсы лекций по статистической радиофизике, теоретическим основам радиотехники, теории колебаний и теории информации и ряд спецкурсов, из которых наиболее важные: устойчивость и бифуркации динамических систем, детерминированный хаос, специальные проблемы нелинейной динамики. Под его руководством успешно защитили диссертации 10 аспирантов, в настоящее время готовят свои работы три докторанта кафедры радиофизики, у которых он является научным консультантом. Соросовский профессор (1994). Заслуженный деятель науки РФ (1995). Входит в состав редколлегии журналов «Прикладная нелинейная динамика» и «Discrete Dynamics in Nature and Society».



ФИЗИКА ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Проект программы междисциплинарного курса лекций

Ю.Л. Климонтович

Цель курса – изложение основ, круга проблем, которые объединены названием «Физика открытых систем». По своему содержанию и научно-педагогической направленности курс является междисциплинарным. Такой курс впервые вводится в учебные планы университетского образования.

В настоящее время идеи, методы и результаты курса «Физика открытых систем» должны служить (на разных уровнях изложения!) фундаментом образования студентов и аспирантов университетов, а также основой научной деятельности специалистов разного профиля – физиков и математиков, химиков и биологов, экономистов и социологов.

Естественно, что изучением различных процессов и явлений в открытых системах занимаются уже много лет специалисты разного профиля. И, тем не менее, имеется целый комплекс новых проблем, решение которых требует развития новых подходов описания неравновесных процессов в самых различных ситуациях.

Содержание научного направления «Физика открытых систем» кратко, и в большой мере условно, определяется перечнем ключевых слов и понятий.

В кратком варианте курс «Физика открытых систем» читается на физическом факультете Московского государственного университета в виде специального курса «Статистическая теория открытых систем» в течение 5 лет. С весеннего семестра курс «Физика открытых систем» будет читаться для более широкой аудитории.

Программа курса «Физика открытых систем» является оригинальной. Она обсуждалась и была одобрена Советом деканов физических факультетов университетов России, на заседании в Москве на физическом факультете университета.

Ключевые слова и понятия

Открытые системы. Диссипативные структуры. Синергетика. Эволюция. Деградация и самоорганизация. Хаос и порядок. Физический хаос. Управляющие параметры. Энтропия открытых систем. Норма хаотичности открытых систем. Критерии относительной степени упорядоченности состояний открытых систем. Определение понятий «самоорганизация» и «деградация» на основе критерия «S-теорема.» Диагностика физических, химических, биологических, экономических и социальных систем на основе методов физики открытых систем. Возможности долгосрочного прогноза развития открытых систем.

Переход от системы частиц к сплошной среде. Структура «сплошной среды» – физически бесконечно малые масштабы. Конструктивная роль динамической неустойчивости движения – экспоненциальной расходимости траекторий. Ансамбль Гиббса для неравновесных процессов. Кинетические уравнения с учетом структуры «сплошной среды». Единое описание кинетических и

гидродинамических процессов. Уравнение баланса энтропии. Связь теплового потока с градиентом температуры. Кинетическая теория флуктуаций.

Обобщенное кинетическое уравнение в теории броуновского движения. Ламинарное и турбулентное течения. Единое кинетическое описание ламинарного и турбулентного движений. Активные среды. Автоколебания и автоволны. Равновесные и неравновесные фазовые переходы. Кинетическая теория фазовых переходов.

Аномальное броуновское движение. Фрактальная диффузия. Фликкер шум.

Кинетическое описание плазмы с учетом структуры «сплошной среды». Структура «интегралов столкновений». Роль пространственной диффузии на кинетических и гидродинамических масштабах.

Квантовые открытые системы. Квантовые микроскопические и макроскопические уравнения Шредингера. Понятие «сплошная среда» в квантовой теории. Физически бесконечно малые масштабы. Структура основного состояния в квантовой механике. Примеры обобщенных квантовых кинетических уравнений. Физическое содержание принципа неопределенности Гейзенберга.

Квантовые макроскопические когерентные явления. Лазерное излучение. Сверхизлучение. Сверхтекучесть. Сверхпроводимость. Нелокальные квантовые эффекты.

1. Введение в физику открытых систем

- 1.1. Экспериментальные основы физики открытых систем.
- 1.2. Основные идеи и методы физики открытых систем.
- 1.3. Динамическая неустойчивость движения частиц. Перемешивание траекторий.
- 1.4. Физически бесконечно малые масштабы.
- 1.5. Ансамбль Гиббса для неравновесных процессов.
- 1.6. Конструктивная роль динамической неустойчивости движения.
- 1.7. Переход от уравнений движения частиц к уравнениям сплошной среды.
- 1.8. Единое описание кинетических и гидродинамических процессов.
- 1.9. Кинетическое описание неравновесных процессов в активных средах.
- 1.10. Фазовые переходы. Термодинамическая и кинетическая теория.
- 1.11. Неравновесные фазовые переходы.
- 1.12. Критерий относительной степени упорядоченности состояний открытых систем.
 - 1.12.1. Временная эволюция к равновесному состоянию. H–теорема.
 - 1.12.2. Эволюция стационарных состояний открытых систем. S–теорема.
 - 1.12.3. Норма упорядоченности (хаотичности) состояний открытых систем.
 - 1.12.4. Процессы деградации и самоорганизации.
 - 1.12.5. Переход от ламинарного течения к турбулентному течению – пример процесса самоорганизации.
 - 1.12.6. Принцип минимума производства энтропии в процессах самоорганизации.

2. Физика нелинейных динамических систем

- 2.1. Примеры сложных движений в нелинейных динамических системах.
- 2.2. Нелинейные Гамильтоновы системы.
- 2.3. Теорема Лиувилля. Уравнение Лиувилля.
- 2.4. Уравнение для микроскопической плотности в шестимерном фазовом пространстве. Микроскопические уравнения переноса.
- 2.5. Нелинейные динамические диссипативные системы.
- 2.6. Динамическая неустойчивость движения. Динамический хаос.
- 2.7. Странные аттракторы.
- 2.8. Тепловая конвекция. Ячейки Бенара. Уравнения Лоренца.
- 2.9. Распределенные диссипативные нелинейные динамические системы.

- 2.10. Сложные движения в автоколебательных системах.
- 2.11. Автоволны. Автосолитоны.

3. Неравновесная нелинейная термодинамика

- 3.1. Термодинамический метод описания. Квазистатические процессы.
- 3.2. Законы термодинамики.
- 3.3. Каноническое распределение Гиббса.
- 3.4. Распределения Максвелла и Больцмана.
- 3.5. Статистическое обоснование законов термодинамики для квазистатических процессов. Энтропия. Теорема Гиббса.
- 3.6. Термодинамика неравновесных процессов.
 - 3.6.1. Кинетическое описание. Уравнение Больцмана. Управляющее уравнение.
 - 3.6.2. Уравнения гидродинамики.
 - 3.6.3. Реакционно-диффузионное приближение.
 - 3.6.4. Уравнения химической кинетики.
- 3.7. Флуктуационно-диссипационные соотношения.
- 3.8. Соотношения Онзагера.
- 3.9. Принцип Больцмана. Эффективная функция Гамильтона.
- 3.10. Свободная энергия неравновесного состояния. Функционал Ляпунова.
- 3.11. Нелинейная термодинамика активных сред.
- 3.12. Временная эволюция. H-теорема.
- 3.13. Эволюция стационарных состояний. Физический хаос. S-теорема.
- 3.14. Норма упорядоченности. Деградация и самоорганизация.

4. Нелинейное броуновское движение

- 4.1. Стохастические явления в открытых системах.
- 4.2. Методы описания стохастических процессов. Метод Ланжевена. Уравнения Фоккера – Планка и Эйнштейна – Смолуховского. Управляющие уравнения.
 - 4.3. Нелинейное броуновское движение.
 - 4.4. Броуновское движение в среде с нелинейным трением. Три формы уравнений Ланжевена и Фоккера – Планка.
 - 4.5. Переход от управляющего уравнения к уравнению Фоккера – Планка.
 - 4.6. Управляющие уравнения для одношаговых процессов.
 - 4.7. Броуновское движение квантовых атомов-осцилляторов.
 - 4.8. Теория кинетических флуктуаций.
 - 4.8.1. Кинетическое уравнение Больцмана. Флуктуации функции распределения. Интенсивность источника Ланжевена в кинетической теории.
 - 4.8.2. Источник Ланжевена в уравнении Фоккера – Планка.
 - 4.8.3. Источник Ланжевена в уравнении Эйнштейна – Смолуховского.
 - 4.9. H-теорема в кинетической теории и в теории броуновского движения.
 - 4.10. Броуновское движение в автоколебательных системах. Генератор Ван-дер-Поля.
 - 4.11. H-теорема для генератора Ван-дер-Поля.
 - 4.12. Эволюция стационарных состояний генератора. S-теорема на примере генератора Ван-дер-Поля.
 - 4.13. Генераторы с мультистабильными стационарными состояниями.
 - 4.14. Генераторы в дискретном времени. Бифуркации энергии предельного цикла и периода колебаний.
 - 4.15. Критерий устойчивости при переходе к дискретному времени на основе H-теоремы.
 - 4.16. Броуновское движение в химически реагирующих системах. Частично ионизованная плазма.

- 4.17. Броуновское движение в системах с нелинейной частотой. Бистабильные элементы. Переход через барьер – задача Крамерса.
- 4.18. Фазовые переходы. Термодинамическое и кинетическое описание.
- 4.19. Обобщенное кинетическое уравнение в теории броуновского движения.
- 4.20. Взаимное влияние равновесных и неравновесных фазовых переходов.

5. Кинетическое и гидродинамическое описание неравновесных процессов

- 5.1. Основы кинетической теории газов. Переход от системы частиц к приближению сплошной среды.
- 5.2. Кинетическое уравнение Больцмана. Общие свойства.
- 5.3. Уравнение баланса энтропии. H–теорема.
- 5.4. Функционал Ляпунова для газа Больцмана. Газ Больцмана – открытая система.
- 5.5. Приближение свободномолекулярного течения.
- 5.6. Переход от уравнения Больцмана к уравнениям газовой динамики.
- 5.7. Трудности традиционной кинетической теории газов.
- 5.8. Структура «сплошной среды».
- 5.9. Обобщенное кинетическое уравнение.
- 5.10. Обобщенное уравнение баланса энтропии.
- 5.11. Обобщенное определение теплового потока.
- 5.12. Уравнения газовой динамики с учетом самодиффузии.
- 5.13. Кинетическое и газодинамическое описание теплопереноса.
- 5.14. Диффузионная стадия релаксации к равновесному состоянию.
- 5.15. Волновые свойства газа Больцмана.

6. Кинетическая теория флуктуаций

- 6.1. Диссипативное уравнение для многочастичной функции распределения – уравнение Леонтовича.
- 6.2. Приближение вторых корреляционных функций.
- 6.3. Метод Ланжевена. «Молекулярная» и «турбулентная» интенсивности источника Ланжевена в уравнении Больцмана.
- 6.4. Энтропия и производство энтропии с учетом флуктуаций.
- 6.5. Источники Ланжевена в уравнениях гидродинамики.
- 6.6. Расчет гидродинамических флуктуаций.
- 6.7. Единое описание кинетических и гидродинамических флуктуаций на основе обобщенного кинетического уравнения.
- 6.8. Расчет гидродинамических флуктуаций с учетом самодиффузии.
- 6.9. Кинетические флуктуации при броуновском движении.
- 6.10. Кинетические флуктуации в активных средах.
- 6.11. Источники Ланжевена в реакционно–диффузионных уравнениях.
- 6.12. Кинетические флуктуации при теплопереносе в активной среде.

7. Равновесные и неравновесные фазовые переходы

- 7.1. Экспериментальные результаты исследования фазовых переходов. Основные закономерности.
- 7.2. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках.
- 7.3. Сверхтекучесть.
- 7.4. Сверхпроводимость.
- 7.5. Примеры неравновесных фазовых переходов. Автогенераторы. Ячейки Бенара. Вихри Гейлора. Лазеры. Сверхизлучение.
- 7.6. Переход от ламинарного течения к турбулентному – пример неравновесного фазового перехода.

- 7.7. Фазовые переходы в химических и биологических системах.
- 7.8. Фазовые переходы в экономике.
- 7.9. Взаимное влияние равновесных и неравновесных фазовых переходов.
- 7.10. Теория Ландау. Основы флуктуационной теории фазовых переходов. Влияние фазового перехода второго рода на характеристики лазерного излучения. Обратное влияние – неравновесный катализ.
- 7.11. Кинетическая теория фазовых переходов в сегнетоэлектриках и системе Ван дер Ваальса.
- 7.12. Приближение первых моментов. Уравнение Гинзбурга – Ландау. Однодоменное состояние. Термодинамические функции.
- 7.13. Приближение вторых моментов. Полидоменные состояния. Особенности поведения термодинамических функций.

8. Новый подход в кинетической теории плазмы

- 8.1. Введение. История вопроса.
- 8.2. Микроскопические уравнения для полностью ионизованной плазмы.
- 8.3. Усреднение микроскопических уравнений. Приближение вторых корреляционных функций.
- 8.4. Два альтернативных приближения в статистической теории плазмы.
- 8.5. Кинетические уравнения для полностью ионизованной плазмы. Традиционное приближение.
- 8.6. Уравнения газовой динамики для разреженной плазмы.
- 8.7. Нетрадиционное описание неравновесных процессов в плазме. Обобщенное кинетическое уравнение.
- 8.8. Роль диссипации в «бесстолкновительной» плазме.
- 8.9. Законы сохранения вещества и заряда с учетом самодиффузии.
- 8.10. Электронная плазма. Обобщенное кинетическое уравнение. Волновые свойства. «Столкновительная» природа затухания Ландау.
- 8.11. Расчет равновесных флуктуаций. Корреляционная функция Дебая.
- 8.12. Уравнение баланса энтропии. Тепловой поток.
- 8.13. Уравнения газовой динамики плазмы на основе обобщенного кинетического уравнения.
- 8.14. Кинетическая теория флуктуаций в плазме.
- 8.15. Проблемы статистической теории плазмы.

9. Аномальное броуновское движение. Фликкер–шум

- 9.1. Низкочастотные шумы. Долговременные корреляции. Фликкер–шум.
- 9.2. Равновесный естественный фликкер–шум.
- 9.3. Уравнение Ланжевена для фликкер–шума.
- 9.4. Остаточные временные корреляции.
- 9.5. Фликкер–шум в пространстве волновых чисел.
- 9.6. Фликкер–шум в активных средах.
- 9.6.1. Среда из бистабильных элементов. Модель сегнетоэлектрика.
- 9.6.2. Фликкер–шум при теплопередаче в активной среде.
- 9.7. Фликкер–шум в среде из элементов со сложной динамикой.
- 9.8. Фликкер–шум в музыке.
- 9.9. Фликкер–шум и сверхпроводимость.
- 9.10. Тепловое излучение – нарушение закона Рэлея – Джинса в области фликкер–шума.
- 9.11. Фликкер–шум в системах с экспоненциальным распределением времени релаксации.
- 9.12. Диффузия в пространстве фрактальной (дробной) размерности. Аномальное броуновское движение.

10. Физика турбулентного движения

- 10.1. Экспериментальное исследование турбулентности.
- 10.2. Турбулентное движение представляет хаос или порядок?
- 10.3. Характерные черты турбулентного движения.
- 10.4. Несжимаемая жидкость. Уравнения и напряжения Рейнольдса.
- 10.5. Гидродинамическая неустойчивость и возникновение турбулентности.
- 10.6. Интенсивность источника Ланжевена, производство энтропии и турбулентная вязкость для развитой турбулентности.
- 10.7. Развитая турбулентность. Теория Колмогорова.
- 10.8. Полуэмпирическая теория турбулентности – теория Прандтля и Кармана.
- 10.9. Оценка критического числа Рейнольдса для потока в канале.
- 10.10. Производство энтропии при ламинарном и турбулентном течениях.
- 10.11. Уменьшение энтропии при ламинарном и турбулентном потоках.
- 10.12. Аргументы в пользу кинетического описания турбулентности.
- 10.13. Гипотеза Рейнольдса в кинетической теории. Проблема замыкания.
- 10.14. Единое кинетическое описание ламинарного и турбулентного движений.
- 10.15. Кинетическое описание течения Пуазейля.
- 10.16. Уравнение баланса энтропии при турбулентном движении.
- 10.17. Проблемы теории турбулентности.

11. Диагностика физических и медико–биологических систем на основе критериев физики открытых систем

- 11.1. Физика открытых систем. Примеры диссипативных структур. Неравновесные фазовые переходы.
- 11.2. Деградация и самоорганизация в процессах временной эволюции.
- 11.3. Динамический и физический хаос.
- 11.4. Динамическое и статистическое описание сложных движений.
- 11.5. Динамическая неустойчивость движения.
- 11.6. Конструктивная роль динамической неустойчивости.
- 11.7. Эволюция к равновесному состоянию. Функционалы Ляпунова. H–теоремы.
- 11.8. Эволюция в пространстве управляющих параметров.
- 11.9. Критерии относительной степени упорядоченности состояний открытых систем. S–теорема.
- 11.10. Определение относительной степени упорядоченности по экспериментальным данным.
- 11.11. Диагностика медико–биологических систем по критерию «S–теорема».
- 11.12. Норма хаотичности (упорядоченности) открытых систем. Определение понятий «деградация» и «самоорганизация».
- 11.13. Относительная степень упорядоченности аperiodических и периодических кристаллов. Аналогия с ламинарным и турбулентным движением.
- 11.14. Роль критериев относительной степени упорядоченности состояний открытых систем в социологии и экономике.

12. Физика квантовых открытых систем

- 12.1. Мост от классической к квантовой теории открытых систем.
- 12.2. Микроскопическое и макроскопическое уравнение Шредингера.
- 12.3. Два альтернативных описания рассеяния электромагнитного излучения на свободных электронах. Формула Томсона для эффективного сечения.

12.4. Флуктуационно–диссипационное соотношение для системы электрон–поле.

12.5. Приближение сплошной среды в квантовой теории. Физически бесконечно малые масштабы для системы атомы–поле.

12.6. Переход от обратимых уравнений квантовой механики к диссипативным уравнениям сплошной среды.

12.7. Установление основного состояния в системе атомов–осцилляторов.

12.8. Уравнение Фоккера – Планка для системы атомов–осцилляторов и поля.

12.9. Структуры основного состояния при рассеянии света на атомах.

12.10. «Вечные» вопросы квантовой механики.

12.10.1. Оправдано ли понятие «чистый ансамбль» в квантовой механике.

12.10.2. Вопрос Эйнштейна: «Является ли квантовомеханическое описание полным?»

12.10.3. Существуют ли в квантовой теории «скрытые параметры»?

12.11. Квантовые макроскопические явления в открытых системах.

12.12. Сверхтекучесть и сверхпроводимость.

Подбор литературы будет по каждому специальному курсу проводиться лектором. Позиция автора программы изложена в книгах, приведенных в списке литературы.

Литература

1. *Климатович Ю.Л.* Статистическая теория открытых систем. Т.1. М.: Янус, 1995.

2. *Климатович Ю.Л.* Статистическая теория открытых систем. Т.II. (манускрипт) Ч.1. Новый подход в кинетической теории плазмы. Ч.2. Кинетическая теория фазовых переходов. М.: Янус, 1995.

3. *Климатович Ю.Л.* Статистическая теория открытых систем. Т.III. Квантовые открытые системы (Проект).

Московский государственный университет

Поступила в редакцию 18.04.97



Климатович Юрий Львович – поступил на физический факультет МГУ осенью 1948 на третий курс. Окончил в 1948 году. Дипломную работу «Влияние взаимодействия молекул на коэффициент радиационного трения» выполнил под руководством профессора В.С. Фурсова. Работа опубликована в ЖЭТФ в 1949. Учеба в аспирантуре под руководством Н.И. Боголюбова. В 1951 году защитил диссертацию. С 1955 года и по настоящее время доцент, профессор, главный научный сотрудник физического факультета МГУ. С 1994 – заведующий лабораторией «Синергетика».

Основные направления научной деятельности: метод микроскопической фазовой плотности в теории плазмы; кинетическая теория неидеальных газов и плазмы; кинетическая теория неравновесных флуктуаций; кинетическая теория электромагнитных процессов, динамические и флуктуационные процессы в лазерах; критерии самоорганизации для целей технической и медико–биологической диагностики; единое описание кинетических, гидродинамических и диффузионных процессов в активных открытых системах.

Опубликовал более 150 научных работ. В их числе 10 монографий, учебных пособий, изданных на русском и иностранных языках.

Почетная медаль Ростокского университета, Германия. Почетный доктор Ростокского университета, Германия; Макс–Планк–Профессор, Берлин, Германия, 1990; Государственная премия России за 1991 год; Почетная медаль института Синергетики Академии Творчества России; Член Академии Творчества России; Соросовский профессор 1994; Лауреат премии имени Александра Гумбольдта за 1995 год, Германия; Медаль «50 лет Победы в великой отечественной войне», 1995.

В настоящее время на физическом факультете читает курс лекций «Статистическая теория открытых систем». Разрабатывает программы междисциплинарной специализации «Физика открытых систем». Руководит (в составе Оргбюро) семинаром «Синергетика».



АВТОВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Программа специального курса для биофизиков и радиофизиков (32 часа)

Ю.М. Романовский

1. Определение автоволнового процесса (АВП) [1, 3, 4, 17, 18]. Под автоволновым процессом принято понимать самоподдерживающийся в активной нелинейной среде волновой процесс (включая стационарные пространственные структуры), сохраняющий свои характеристики постоянными за счет распределенного в среде источника энергии. Эти характеристики – период, длина волны или импульса, скорость распространения, амплитуда и форма в установившемся режиме зависят лишь от локальных свойств среды и в определенных пределах не зависят от краевых и начальных условий. При этом в пространстве предполагается связь посредством переноса диффузионного типа.

АВП являются распространяющиеся фронты горения, фронты переброса фазы, разнообразные распределенные химические реакции (например, образование спиральных волн в плоских химических реакторах), большое число процессов в живых организмах (распространение нервных импульсов и механохимические процессы подвижности живых клеток). Страты в газовом разряде и образование структур в расплавах под действием лазера также являются АВП. Автоволны являются одним из важнейших факторов самоорганизации в термодинамических открытых неравновесных системах (в биосфере, космосе, в экологических сообществах, в оптических активных средах, в любом живом организме).

2. Математическая модель автоволновой системы [1, 3, 12]. Многокомпонентная система уравнений нелинейной диффузии взаимодействующих между собой переменных x_i , зависящих как от времени, так и от пространственных координат, представляет собой базовую модель АВП.

Физический смысл переменных x_i в физике, химии и биологии. Диффузионная матрица, описывающая процессы переноса. Коэффициенты диффузии и взаимной диффузии. Типы краевых условий. Случай нелокальных взаимодействий. Нелинейность коэффициентов диффузии. Переход к точечным моделям в случае полного перемешивания среды.

3. Классификация АВП [1, 3, 4, 6, 11]. Бегущий фронт (БФ), бегущий импульс (БИ), резерватор, синхронные в пространстве автоколебания и стоячие волны, диссипативные структуры (ДС) – стационарные пространственные распределения переменных, локальные источники автоволн – ведущие центры и метастабильные ДС. Примеры различных типов АВП и методы их наблюдения в средах различной природы.

4. Исследование устойчивости однородных решений [1, 2, 3, 11, 15]. Получение стационарных однородных в пространстве решений базовой модели. Линеаризация модели. Вывод дисперсионного или характеристического уравнения, связывающего волновые числа и комплексные частоты отдельных малых гармонических возмущений. Общий анализ решения дисперсионного уравнения. Основные типы неустойчивостей в системах первого, второго и третьего порядков. Примеры: брюсселятор, распределенное уравнение Ван-дер-Поля. Роль краевых условий в отборе физически реализуемых возмущений.

5. Автомодельные решения для АВП [1, 2, 6, 15, 16]. Метод введения автомодельной переменной на примере задачи о нелинейном активном кабеле. Уравнения нервной проводимости. Ионные токи через мембрану нервного волокна. Уравнения Ходжкина – Хаксли для аксона кальмара. Автомодельные решения для упрощенной системы нервной проводимости Фитц – Хью – Нагумо.

6. Бегущие фронты [1, 2, 15]. Задача Фишера – Колмогорова – Петровского – Пискунова для распространения гена. Стационарные БФ и процессы установления. Пульсации скорости фронта. Проблема устойчивости формы фронта.

7. Бегущие импульсы [1, 2, 4, 16, 18]. Стационарный БИ и его отличие от солитона. Формирование БИ. Метод рассмотрения БИ по Кернеру и Осипову. Аксиоматическая модель возбудимой среды. Порог возбуждения, рефрактерное время.

8. Автономные источники волн [1, 11, 12, 13, 18]. Неустойчивые источники типа «эхо». Стабильные ведущие центры. Модель «орегонатор» для автоколебательной окислительно-восстановительной реакции Белоусова – Жаботинского. Ревербераторы, или спиральные волны в двухмерных химических реакторах и возбудимой системе сердца. Модели патологии сердечной деятельности. Ядро ревербератора и зависимость скорости от кривизны фронта.

9. Синхронизация автоколебаний в пространстве как фактор самоорганизации [1, 2, 3]. Фазировка автоколебаний в однородных системах. Пример распределенной системы Ван-дер-Поля. Синхронизация в неоднородных системах. Полоса синхронизации и распределения фаз в случае эквидистантных расстроек. Сложные квазистохастические режимы, возникающие при нарушении синхронизации. Синхронные сети автогенераторов в современной радиоэлектронике. Вычислительные проблемы при представлении автоволновой системы в виде дискретной модели с конечным числом степеней свободы.

10. Диссипативные структуры [1, 2, 3, 4, 6, 12, 15, 18]. Условия существования стационарных неоднородных решений. Ветвления решений и квазигармонические распределения. Контрастные и распределенные ДС. Методы расчета ДС по Кернеру и Осипову. Метастабильные ДС в однокомпонентных системах с нелинейными источниками и нелинейными коэффициентами диффузии. Режимы с обострением по Курдюмову – Самарскому. ДС в теории биологического морфогенеза. Модели Гирера и Майнхарта и модель распределенного генетического триггера Чернавского.

11. Шумы и АВП [1, 3, 9, 11]. Источники шумов в активных кинетических системах. Основные стохастические задачи. Среднее время существования простейшей экологической системы Вольтерра. Естественные шумы и пространственная самоорганизация. Уравнения «мастер-экуэйшен» для модели «брюсселятор». Мультипликативные шумы или флуктуация параметров. Пример уравнения Ландау – Гинзбурга.

12. Автоволновые механизмы подвижности живых клеток [1, 7, 8]. Различные типы подвижности. Амебоидная подвижность. Актмиозиновые взаимодействия. Устройство саркомера – элемента мышечного волокна. Модель автоволновых течений в многоядерной амебе – плазмодии миксомицета.

Фонтанирующие потоки в амебoidных клетках и механизмы миграции. Автоволны в кровеносных сосудах и кишечнике.

13. Автоволновые явления в оптически-активных средах [5]. Лазер как самоорганизующаяся система. Пространственные эффекты в бистабильных оптических системах. Генерация структур в оптических системах с двумерной обратной связью. Понятие о биокомпьютерах и клеточных автоматах.

14. Сводка достаточных условий существования различных типов АВП [1, 2, 3, 4].

Спецкурс «Автоволновые процессы в физике, химии и биологии» (АВП) входит в систему лекций, читаемых на кафедре общей физики и волновых процессов (ОФ и ВП, заведующий кафедрой проф. Н.И. Коротеев) радиофизического отделения (всего эта кафедра выпускает 30–35 дипломников в год). С одной стороны, курс АВП входит в тройку спецкурсов кафедры, касающихся физики и лазерной физики живой материи. На четвертом курсе доц. А.П. Приезжев много лет читает курс «Введение в лазерную биофизику». На пятом курсе после АВП с.н.с. А.Ю. Чикишевым и проф. Ю.М. Романовским читается курс «Математические модели и лазерная спектроскопия макромолекул». С другой стороны, АВП является дополнением к общеотделенческому курсу проф. В.В. Мигулина и проф. В.Н. Парыгина «Теория колебаний», читаемых в шестом семестре и нового курса доц. П.В. Елютина «Нелинейная динамика», который посещает около половины студентов-радиофизиков на четвертом курсе. Следует сказать, что постоянно действующий на физическом факультете семинар «Синергетика», возглавляемый проф. Ю.Л. Климонтовичем, привлекает молодежь, связывающую свои интересы с различными проблемами нелинейной динамики. Эти системы курсов существуют и развиваются в тесной связи с целой сетью курсов по лазерной физике, нелинейной оптике, численным методам в физике, читаемых на кафедре ОФ и ВП, кафедре квантовой радиофизики (заведующий кафедрой академик Л.В. Келдыш) и в Международном лазерном учебно-научном центре МГУ.

Литература

1. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы. М.: Наука, 1987.
2. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М.: Наука, 1984.
3. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975.
4. Кернер Б.С., Осипов В.В. Автосолитоны. М.: Наука, 1991.
5. Новые физические принципы оптической обработки информации / Под ред. С.А. Ахманова и М.А. Воронцова. М.: Наука, 1990.
6. Самарский А.А., Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Михайлов А.П. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений. М.: Наука, 1987.
7. Рубин А.Б. Биофизика. М.: Высшая школа, 1987. Т. I, II.
8. Романовский Ю.М. Математические модели внутриклеточной подвижности // Математическое моделирование. М., 1992.
9. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992.
10. Полак Л.С., Михайлов А.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах. М.: Наука, 1983.
11. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990.
12. Автоволновые процессы в системах с диффузией / Под ред. М.Т. Греховой. Горький: ИПФ АН СССР, 1981.

13. Коллективная динамика возбуждения и структурообразования в биологических тканях / Под ред. В.Г. Яхно. Горький: ИПФ АН СССР, 1987.
14. *Белинцев Б.Н.* Физические основы биологического формообразования. М.: Наука, 1991.
15. *Марри Д.Ж.* Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях. М.: Мир, 1982.
16. *Скотт А.* Волны в активных средах в приложении к электронике. М.: Мир, 1979.
18. *Иваницкий Г.Р., Кринский В.И., Сельков Е.Е.* Математическая биофизика клетки. М.: Наука, 1978.
19. *Романовский Ю.М., Теплов В.А.* Физические основы клеточного движения. Механизмы самоорганизации амебодной подвижности // УФН. 1995. Т. 165, № 5. С. 555.

*Московский государственный
университет*

Поступила в редакцию 5.12.96



Романовский Юрий Михайлович, 1929 года рождения, окончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в 1952 году, доктор физико-математических наук. В настоящее время профессор физического факультета Московского университета, руководитель лаборатории лазерной и математической биофизики. Автор 6 монографий, посвященных проблемам динамики нелинейных систем и математической биофизике.



«ИСТОРИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА» И НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА

Г.Г. Малинецкий

В работе предлагается развить новый междисциплинарный подход, называемый исторической механикой. Этот подход направлен на анализ не только одной реализовавшейся траектории развития какой-либо цивилизации или этноса, а на анализ поля возможностей, «виртуальных траекторий развития сообществ», точек бифуркации. В работе введен новый класс математических моделей – динамические системы с джокерами, которые могут оказаться полезными при исследовании социальных и исторических процессов. Обсуждается связь теории этногенеза Л.Н.Гумилева и моделей теории самоорганизованной критичности. В настоящее время во многих гуманитарных вузах читаются курсы естествознания с элементами нелинейной динамики. Практика показывает, что эти дисциплины вызывают живой интерес, если гуманитарии видят возможность содержательного диалога между гуманитарной и естественно-научной культурой. Попытка такого диалога и содержится в предлагаемой статье.

«Внешнее оправдание»

История видится нам ареной страстей и мод, желаний, корыстолюбия, жажды власти, кровожадности, насилия, разрушений и войн, честолюбивых министров, продажных генералов, разрушенных городов, и мы слишком легко забываем, что это лишь один из многих ее аспектов. И прежде всего забываем, что сами мы – кусок истории, нечто постепенно возникшее и осужденное умереть, если оно потеряет способность к дальнейшему становлению и изменению. Мы сами история и тоже несем ответственность за мировую историю и за свою позицию в ней. Нам очень не хватает сознания этой ответственности.

Г. Гессе. Игра в бисер

Цель этой заметки – обратить внимание на возможность разработки нового междисциплинарного подхода. Этот подход, по моему мнению, может быть развит на стыке гуманитарных дисциплин, прежде всего истории, и математического моделирования.

А.Эйнштейн, характеризуя физическую теорию, выделял «внешнее оправдание» (проблемы, не укладывающихся в рамки существующей парадигмы) и «внутреннее совершенство» (наличие аппарата, математических инструментов, позволяющих эффективно устанавливать причинно-следственные связи в изучаемой области). Естественно таким же образом взглянуть и на междисциплинарный подход.

Внешним оправданием для его разработки является структура нашего

незнания. В самом деле, посмотрим глазами физиков на шкалу временных масштабов тех процессов, которые определяют жизнь людей:

катастрофы, стихийные бедствия, религиозные конфликты, использование вооруженных сил – дни, недели;

решения политического руководства – недели, месяцы;

изменение стереотипов массового сознания под влиянием средств массовой информации – 1÷3 года;

экономические реформы – 3÷5 лет;

изменение уровня образования, качества подготовки специалистов – 5÷10 лет;

технологические и технические нововведения – 10÷15 лет;

изменение соотношения сил различных государств, эволюция межгосударственных отношений – 20÷50 лет;

этногенез, рождение и развитие новых идеологий, мировых религий и т.д. – сотни лет.

Естественные науки, математическое моделирование в большинстве случаев отвечали на вопрос «Как устроена природа?» Их влияние на жизнь общества в основном было связано с технологическими инновациями. Однако и здесь оказалось, что материальное благополучие гораздо более зависит от организации производства и распределения, чем от технических новшеств. События на ключевых масштабах, кардинально влияющие на нашу жизнь (а именно малых – дни–месяцы и сверхбольших, которые обычно называют историческими – 10–100 лет), оказались, по–существу, за рамками анализа с помощью методов точных наук.

Грустные последствия «масштабной диспропорции» можно проследить на примере развития физической науки в XX веке. В самом деле, львиная доля усилий была вложена в исследовательские программы, анализирующие микропроцессы (теория элементарных частиц и физика высоких энергий) и мегапроцессы (Большой взрыв, крупномасштабная структура Вселенной и т.д.). В то же время ключевые открытия касались явлений на средних масштабах (высокотемпературная сверхпроводимость, молекулярная биофизика, динамический хаос и др.).

Однако в исследованиях, связанных с изучением человека и общества, ситуация гораздо серьезнее. Мы имеем дело с необратимо развивающимися системами и многие фундаментальные вопросы нельзя «отложить на завтра». Завтра может не наступить. Ученые столкнулись с необходимостью анализировать и давать прогноз процессов, меняющих траекторию развития больших сообществ на исторических масштабах. В качестве примеров можно привести долговременные последствия ускоренной деиндустриализации мировой сверхдержавы, использования сверхопасных технологий для поддержания экономического роста, глобальные изменения императивов развития и т.д.

Научное сообщество оказалось в положении плохого студента. Незадачливый студент готовился, но когда наступил экзамен, то оказалось, что он выучил ответы не на те вопросы, которые ему достались. Потерпели неудачу ряд крупных социально–экономических и исторических теорий, дававших долговременный прогноз. Поставлена под сомнение сама возможность получения долговременного прогноза развития общества. Христианство, гегелевский панлогизм, марксизм–ленинизм давали представление о далеком будущем, об асимптотике развития, о его «цели». С другой стороны, нелинейная динамика предоставила множество примеров простейших объектов, для которых невозможно дать долговременный прогноз, для которых существует горизонт предсказания, и не могут быть введены «цель» или «смысл». Сегодня мы не знаем, относится ли наше общество к таким объектам.

Этот вопрос не является академическим. Мировое сообщество столкнулось в жесткой постановке с «парадоксом планировщика». То, что прекрасно на временах 5–7 лет, может оказаться далеко не лучшим решением на временах 10–20 лет и губительным на временах 40–60 лет. Как тут быть? Считать, следуя

Ф.Хайеку, что следующие поколения сами позаботятся о себе и нас их проблемы волновать не должны? Или, вместе с К.Ясперсом, заранее согласиться с поражением, считая, что история имеет смысл, но для нас он непостижим?

Проблема долгосрочного прогноза встала перед экономистами и политиками очень остро. В деятельности правительств, руководства транснациональных компаний, международных организаций наметилась опасная тенденция к сокращению горизонта планирования. В этом плане классическая фраза французского короля: «После меня хоть потоп» выглядит как проявление оптимизма и государственной мудрости. Король планировал поддерживать желаемый им уровень жизни по крайней мере 20–30 лет.

Описание реакции человека и общества на различные события и управляющие воздействия стало очень важным при решении не только общих, но и совершенно конкретных задач. Приведем два примера. В последние два года предпринимались усилия по математическому моделированию высшей школы России [1,2]. Эта задача необычна тем, что нужно планировать и описывать не конкретную материальную продукцию или затраты, а возможности, предоставляемые обществу. При этом оказалось, что одним из ключевых параметров является величина, характеризующая восприимчивость экономики к инновациям. При различных уровнях этой величины и затрат на образование или науку страна может стать государством первого поколения (где основные ресурсы – минеральное сырье, энергоносители и территория, и акцент делается на тяжелой индустрии и экстенсивном развитии сельского хозяйства), второго поколения (ресурсы – психологические установки и трудовые навыки населения, ведущие отрасли – электроника, биотехнология, малотоннажная химия и др.) или третьего поколения (ресурсы – творческий потенциал общества, акцент на создании новых идей и технологий). Величина восприимчивости и ее изменение должны определяться из моделей другого типа, создание которых сейчас только начато.

Другой пример – моделирование боевых действий. В настоящее время эта область представляется весьма развитой частью прикладной математики. Тем не менее моделирование партизанской борьбы вызывает принципиальные трудности. Казалось бы, действие горстки самоотверженных повстанцев против отлаженной государственной машины под руководством Фиделя Кастро на Кубе и Че Гевары в Бразилии должны были бы привести к сходным результатам. Описать различие этих ситуаций, приводящее к различному результату оказывается достаточно трудно.

Другим «внешним оправданием», побуждающим естественников обратиться к области знаний, традиционно принадлежавшей гуманитарным наукам, является принципиальная методологическая проблема. При анализе общества, страны, этноса натуральный эксперимент невозможен. Наблюдения за текущим состоянием недостаточны (поскольку долговременные процессы, структурные изменения могут играть ключевую роль). Возможности полномасштабного вычислительного эксперимента также невелики (требуется большое число параметров и переменных, оценка и измерение которых представляет отдельную проблему). Вместе с тем традиционная логика гуманитарных дисциплин часто оказывается недостаточной для использования ее в качестве основы для стратегических решений.

Здесь можно привести недавний конкретный пример. Для описания политико-экономической системы во многих странах Латинской Америки и в постсоветской России используется концепция «бюрократического рынка». В соответствии с ней, при этом варианте развития законы являются предметом торга между государственной администрацией и крупными корпорациями, добывающимися квот, льгот, уменьшения налогов. На основе этой концепции известный российский политолог В.Найшуль делает вывод, что существует только один способ перевести Россию с венесуэльского пути развития, на котором она находится сейчас, на другие рельсы. Это чилийский вариант, предусматривающий жесткую диктатуру, обеспечивающую выполнение законов, на длительный срок.

Фактический уход государства из сферы экономики, поддерживаемый кредитами крупных международных фондов и банков.

Итак, предлагается альтернатива Венесуэлы или Чили. Но действительно ли альтернатива такова? Оставим в стороне конкретные математические модели, по-иному объясняющие механизмы перехода от мафиозной к рыночной экономике [3]. Не будем учитывать альтернативные концепции развития страны, например, предлагаемые группой С.Кургиняна [4]. Обратим внимание только на логический скачок. На основе исторического опыта развития двух стран (вопрос: «Как было?») делаются выводы о способе действий в другое время, в другой ситуации, в других масштабах (ответ на вопросы «Что делать?» и «Кто виноват?»). Ряд принципиальных факторов, имеющих, на первый взгляд, ключевое значение, при этом игнорируется. Однако приходится согласиться с тем, что отсутствие развитого аппарата концептуальных и математических моделей, эффективно учитывающих не только экономические факторы, допускают такие скачки и провоцирует появление конъюнктурных выводов, устраивающих те или иные группы властной элиты.

Междисциплинарный подход, позволяющий сделать аргументацию выводов из исторического анализа более точной и доказательной, отделить ключевые факторы от второстепенных, мог бы иметь большое прикладное значение.

Итак, исследователи столкнулись с несколькими принципиально важными задачами, где натурный эксперимент невозможен, вычислительный — неэффективен, система математических моделей не построена. Остается оглянуться назад и посмотреть на историю с точки зрения точных наук, как на полигон для создания и верификации математических моделей, отражающих исторические процессы. Возможно, такая деятельность будет бесполезна и для самой исторической науки.

«Внутреннее совершенство»

Задача исторического изучения гораздо скромнее тех, какие ставит себе изучение философское. Она и ограничивается указанием доступной наблюдению связи и преемственности явлений, не восходя к исходному пункту этих явлений и не опускаясь к конечным их целям.

В.О. Ключевский

Успехи естественных наук опираются на «трех китов». На возможность выделить небольшое количество ведущих, основных процессов и главных переменных (параметров порядка) при описании многих явлений. На веками создававшиеся и отработавшиеся процедуры измерения этих величин. На концептуальный и математический аппарат, позволяющий иметь дело с моделями реальности, с теоретическим анализом. Приходится осознать, что в контексте исторического, социально-психологического и, собственно, психологического исследования эти задачи только недавно поставлены.

Мы настолько привыкли к тому, что в уравнениях теоретической физики можно менять параметры и получать физически осмысленные результаты, что не осознаем это как фундаментальное достижение. В задаче о бросании камня можно изменить массу, скорость, угол бросания, можно сделать иным ускорение силы тяжести. Наконец, в теориях следующего уровня появляется возможность рассматривать предельно большие скорости или огромные массы, что, естественно, требует других уравнений.

«Исторический аналог» такой интеллектуальной свободы — возможность анализировать альтернативные варианты развития исторических событий, строить различные версии «альтернативной истории». Чтобы глубоко понимать свой путь и выбор, который делается в поворотных пунктах, нужно представлять поле возможностей, из которых траектория была выбрана. Именно этот момент является центральным в нескольких проектах построения теоретической истории [5,6].

У истоков этой «исторической ереси» стоит один из самых ярких и влиятельных историков нашего столетия – Арнольд Тойнби. В частности, им были выделены две точки бифуркации в развитии эллинистического мира и в подробностях разобраны два возможных сценария развития событий в эпоху Александра Македонского. Первый – Александр доживает до старости и создает всемирную империю от Рима до Китая. Второй – покушение Павсания на Филиппа, отца Александра, в 336 году до нашей эры заканчивается неудачей, впоследствии Александр гибнет. В то же время оказывается сорванной попытка отравить персидского царя Артаксеркса. И тогда два монарха делают главной пружиной IV века до нашей эры соперничество и сотрудничество эллинистического и персидского государств. «Дальнейший симбиоз двух великих держав распространил арамейскую культуру по всему миру, который ныне разделен на множество самоуправляемых клеток – полисов», таков итог этого сценария развития событий [7].

Уточним жанр возможного междисциплинарного подхода. Это особенно важно, поскольку в последнее время появился ряд исследований, посвященных использованию информатики в истории (эту область иногда называют клиометрией), а также математическим моделям исторических процессов.

Можно достаточно четко разделить работы по философии истории и, собственно, по истории. Первые позволяют нарисовать общую картину и выделить ключевые, по мысли их авторов, категории. «Цивилизации», «вызов», «ответ» у А.Тойнби [8], «этногенез», «пассионарность», «надлом» у Л.Н.Гумилева [9], «формации», «воснанные технологии», «дискомфорт» у И.М.Дьяконова [10].

Эти концепции находят отражение в соответствующих «метафорических» математических моделях. Например, в модели нормативной истории, предложенной К.Э.Плохотниковым, в качестве основного функционала, который максимизируется в ходе исторического процесса на уровне геополитических субъектов, рассматривается «свобода» [11]. Эта модель представляет собой своеобразную формализацию гегелевской философии истории [12]. В последние годы появились модели типа «хищник–жертва» с исторической интерпретацией. Их идея обычно очень проста и наглядна – чем больше производство и выше жизненный уровень, тем больше будет жуликов и воров. Чем больше последних, тем ниже жизненный уровень. Воровать становится нечего, число жуликов уменьшается, возникают колебания. В эту «трофическую цепь» иногда включают часть «управленцев», которые тоже «ухудшают жизнь», и в которых иногда переходит часть жуликов. Главная проблема при использовании таких моделей состоит в том, что они оперируют величинами, которые трудно оценить, а также в сложности сопоставления с конкретными историческими событиями.

На принципиальную проблему перехода от философии истории, собственно, к истории обратил внимание В.О.Ключевский [13]: «Обе теории – телеологическая и метафизическая – показывают нам, откуда идет история и куда она направляется; но процесс включает в себе понятие движения и процесс поэтому можно назвать исторической механикой. Главный вопрос здесь, как совершается движение, а не откуда оно пошло и куда идет». Математические модели «исторической механики», на мой взгляд, и представляют основной интерес. И сам подход, связанный с разработкой и верификацией математических моделей отдельных этапов, стадий, процессов, ситуаций, возникающих в ходе исторического развития, для краткости в этой заметке будем называть исторической механикой.

При этом особое внимание в исторической механике разумно уделить основным концепциям и простым моделям. Наиболее яркий и глубокий пример математического моделирования исторических процессов дает анализ Пелопонесских войн, проводившийся в семидесятые годы в Вычислительном центре АН СССР и на историческом факультете МГУ [14]. Это прежде всего экономическое исследование, показывающее, каково было финансовое положение Афин, с 431 по 407 г. до н.э. Такой анализ позволил объяснить военные экспедиции Афинского морского союза и их результаты.

Однако во множестве исторических ситуаций решающими оказывались

неэкономические факторы. Кроме того развитие и совершенствование имитационной модели часто приводит к потере «прозрачности», т.е. трудности выделить наиболее важные факторы и причинно-следственные связи.

В итоге становится неясно, имеем ли мы дело с внутренними, ранее неизвестными, свойствами изучаемого объекта, либо это артефакт, обусловленный неточным заданием параметров. Несколько крупных проектов в области экологии, мировой динамики, глобального прогноза погоды показали, что эта ситуация является типичной. Полную и ясную картину обычно не удается получить, складывая ее, как мозаику, из различных блоков – моделей. Приходится строить не одну большую модель, а целую иерархию математических моделей различного уровня. При этом на нижних этажах иерархии должны находиться модели, которые могут быть легко проанализированы. Они могут дать не только понимание и упрощенное описание конкретных элементарных ситуаций. Они позволяют разговаривать на одном языке специалистам, работающим в этой области. Пример такого «модельного языка» в анализе рыночной экономики дают классические кривые «спрос-предложение», «затраты-выпуск» и др. [15].

Обратим внимание на следующее обстоятельство. В областях естествознания, имеющих развитый теоретический аппарат, есть не только набор «подходящих к разным ситуациям» уравнений, но и сама концепция теории, ключевые моменты описания. Например, законы сохранения и инвариантность относительно некоторых групп преобразований, гамильтонов подход к описанию играют важную роль в фундаментальных физических теориях. Зачастую, концепция оказывается более существенной, чем тот или иной вариант уравнений.

Обсудим некоторые гипотезы, относящиеся к исторической механике, которые могут оказаться существенными при разработке концепции междисциплинарного подхода.

Предсказуемость, горизонт прогноза, джокеры

Удачный исход такой акции мог бы укрепить Афинский морской союз. Однако Сицилийская экспедиция носит столь явный отпечаток авантюры, что непонятно, как могли решиться на нее Афины.

А.С. Гусейнова, Ю.Н. Павловский, В.А. Устинов. Опыт имитационного моделирования исторического процесса

Принципиальным является вопрос о степени предсказуемости исторических процессов. С одной стороны, действия исторических субъектов часто приводили к совершенно неожиданным последствиям. С другой стороны, несомненные успехи в планировании и осуществлении проектов исторического масштаба показывают, что многое можно предвидеть. Непредсказуемость на одних масштабах поразительным образом согласуется с предопределенностью на других.

Посмотрим на проблему анализа и интерпретации исторических наблюдений глазами естествознателя. По существу, мы находимся в той же ситуации, в которой оказывались пленники в пещере в известной платоновской притче. Обитатели пещеры, прикованные к стене, могут наблюдать только тени на противоположной стене, которые отбрасывают люди, проходящие мимо пещеры, либо предметы, проносимые ими. Могут ли узники на этой основе, не ставя каких-либо опытов, составить представление о мире вне пещеры?

Развитие астрономии и небесной механики убеждает, что, несомненно, могут. Замечательной особенностью этих задач является то, что движение ряда небесных тел периодически со сравнительно небольшим периодом и что число переменных, определяющих движение данного тела по небесному своду, невелико (мала размерность фазового пространства). Однако можно представить себе противоположную ситуацию. В ней, например, находятся двумерные существа, живущие на сфере. Кто-то, живущий в трех измерениях, может взять предмет, находящийся в одном месте сферы, и переместить в другое (рис. 1),

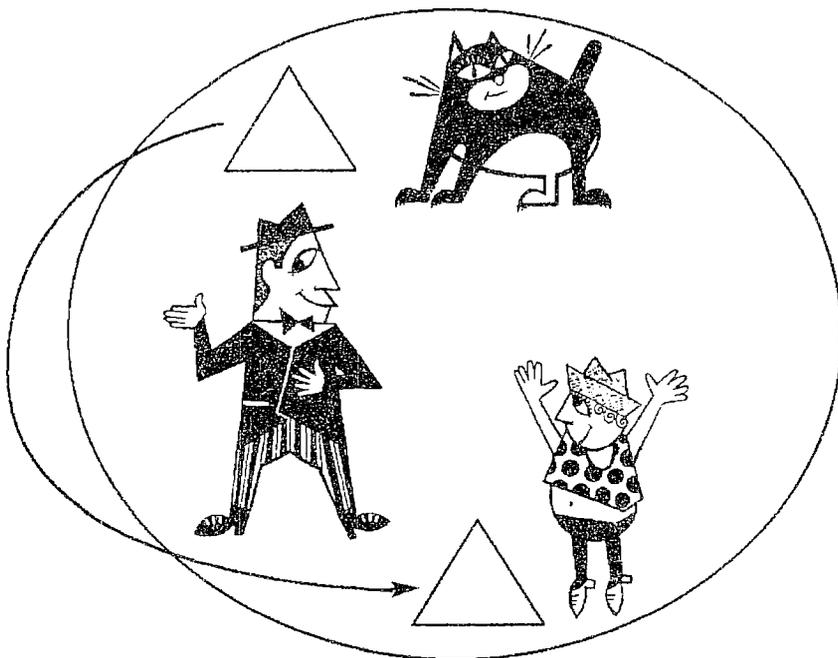


Рис. 1

воспользовавшись третьим измерением. Поскольку это измерение «платикам» недоступно, они будут относить происходящее на счет стихийных бедствий, божественных сил или загадочных «неплатических существей». У них в такой ситуации нет шанса развить технику «динамического прогноза», позволяющего по предыстории прогнозировать будущее. Естественно, в таком положении могут оказаться и пленники пещеры.

В последнее десятилетие активно развивалась техника, позволяющая по ряду наблюдений динамической переменной $\{a_i\}$ восстанавливать динамическую систему $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$, описывающую этот ряд $a_i = g(\mathbf{x}(i\Delta t))$:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \equiv (x_1, \dots, x_p), \\ \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\{a_i\} = \{a_1, \dots, a_N\}, \quad a_i = g(\mathbf{x}(i\Delta t)),$$

где Δt – заданный интервал времени. Алгоритмы для нахождения функции f и g размерности пространства p получили название алгоритмов реконструкции аттракторов. Функция f , определяющая дифференциальное уравнение (в дискретном случае можно рассматривать отображение $\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_n)$) позволяет построить предсказывающую систему или предиктор для исследуемого процесса [16,17]. Задача (1) о построении динамической системы по временному ряду, вообще говоря, некорректна. Один и тот же ряд можно «объяснить» с помощью различных динамических систем. Поэтому при исследовании (1) используется различная априорная информация и упрощающие предположения. Тем не менее в ряде случаев использование уже существующих алгоритмов решения сформулированной задачи могло бы помочь пленникам пещеры. В частности, они могли бы оценить величину p , отражающую число существенных переменных или размерность фазового пространства, в которой разворачиваются процессы в наблюдаемой ими части реальности.

По-видимому, часть исторических явлений (в которых ключевыми

являются макроэкономические, демографические и другие медленные процессы) допускает удовлетворительное динамическое описание. В то же время другая часть (ряд политических решений, многие военные столкновения и другие) возвращает нас к ситуации «плоскатики на сфере» и проблемам теории управления.

В соответствии с этим развивается несколько основных подходов к динамическому прогнозу исторических процессов. В первом, трудности получения «среднесрочного исторического прогноза» (10–20 лет) связывают с тем, что в изучаемой системе имеет место детерминированный хаос.

Тогда изучаемая система обладает чувствительностью к начальным данным. Близкие траектории в ней в среднем экспоненциально расходятся (рис. 2), $d(t) \sim \exp(\lambda t)$, где λ – старший ляпуновский показатель [18]. В этом случае время возможного динамического прогноза ограничивается горизонтом предсказуемости $T \sim 1/\lambda$.

И действительно, А.Ю.Андреевым и М.И.Левандовским была предложена модель, обладающая странным аттрактором [5]. Эта модель представляет собой модификацию известной в химической кинетике системы Ресслера, которая использовалась также при описании эпидемий. Построенная динамическая система имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{X} &= m(N-X) - bXZ, \\ \dot{Y} &= bXZ - (m+a)Y, \\ \dot{Z} &= aY - (m+g)Z, \\ \dot{W} &= gZ - mW. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь N – общее число рабочих, занятых на предприятиях губернии, X – число рабочих, еще невоспринявших информацию о забастовке, Y – рабочие, согласившиеся забастовать, но не ведущие активную агитацию, Z – рабочие, становящиеся агитаторами, W – рабочие, отказавшиеся от участия в стачечной борьбе после одной из забастовок. Оказалось, что эта модель вполне удовлетворительно количественно описывает число рабочих, бастовавших во Владимирской губернии в 1895 – 1905 гг. Любопытно, что одна из базовых моделей нелинейной динамики – система Ресслера, оказалась весьма удобным и универсальным «строительным блоком» для построения математических моделей в нескольких областях.

Другой подход связан с представлением о точках бифуркации исторического процесса. В этой модели считается, что долговременные исторические изменения описываются динамической системой, зависящей от параметра λ

$$\dot{x} = -\partial U(x, \lambda) / \partial x. \quad (3)$$

Например, таким параметром может быть «историческое время». При изменении параметра в системе (3) может происходить бифуркация. Малые случайные воздействия при этом могут оказаться решающими при выборе ветви бифуркационной диаграммы. В исторической интерпретации это соответствует возрастанию роли отдельных личностей, появлению возможности влиять на ход исторических процессов с помощью малых воздействий. В терминологии

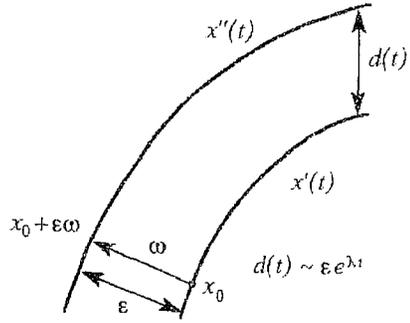


Рис. 2

нелинейной динамики, выбор ветви связывается с принципом «возникновения порядка через флуктуации» [16,18]. В терминах концепции А.Тойнби это соответствует выбору одного из ответов на брошенный цивилизации вызов. Примеры соответствующих бифуркационных диаграмм для нескольких исторических ситуаций даны в работе [6]. В принципе может быть разработана техника, позволяющая диагностировать точки бифуркации. Приведем пример, иллюстрирующий такой подход. В физике известен феномен критических флуктуаций, когда в точке фазового перехода возникают гигантские случайные отклонения, охватывающие всю систему. Аналогичные явления могут иметь место в точках бифуркации исторического процесса. Наглядный пример этого – огромный рост тиража и влияния на общественную жизнь в годы так называемой перестройки журнала «Огонек». После перехода к новому общественному укладу этот журнал утратил влияние и стал заурядным изданием. Другие примеры даст анализ процессов выбора путей развития в ходе нэпа [5].

Во всех этих моделях предполагается, что мы имеем систему с известным фазовым пространством сравнительно небольшой размерности. Тогда оправдано и применение методики реконструкции аттракторов, и построение моделей вида (2) и (3). В этой ситуации различные общества должны оказываться в близких точках фазового пространства. Должны быть «исторические аналоги». Техника поиска таких аналогов имела бы большое значение. Например, сегодня мы не можем сказать, насколько похожа «маленькая победоносная война» с Японией в начале века на «Чеченскую войну». Однако этот вопрос поставлен вполне корректно и на нынешнем уровне, вероятно, может быть решен средствами исторического анализа, и имитационного моделирования.

Вместе с тем, можно ожидать, что ряд исторических процессов требует для своего динамического описания фазового пространства достаточно большой размерности. Типичный пример – острое развитие внутривнутриполитической ситуации, приводящее к военным действиям на внешнеполитической арене, к экспорту своих проблем вовне. Предсказуемы ли такие события? Действовать в соответствии с обрисованным выше подходом нельзя. Алгоритмы реконструкции аттракторов в пространстве большой размерности неэффективны. Феноменологическое описание требует знания многих трудно измеряемых параметров. Кроме того, в мировой истории описано множество событий, где волевые решения и случайности сыграли ключевую роль. Грубо говоря, получить динамический прогноз не удастся, а статистический прогноз не нужен. В связи с этим разумно ввести новый класс математических моделей, которые можно условно назвать динамическими системами с джокерами.

Мы хотим описать ситуацию, в которой процессы в части динамического пространства (обозначим эту часть G_1), вполне предсказуемы и описываются динамической системой (рис. 3)

$$\dot{x} = f(x) \text{ или } x_{n+1} = h(x_n). \quad (4)$$

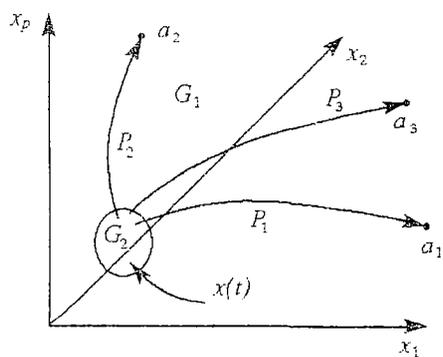


Рис. 3

В другой части фазового пространства (G_2) задано некоторое правило, определяющее, где окажется точка в фазовом пространстве после того, как она попала из G_1 в G_2 . Это правило мы и назовем джокером. Часть G_2 может соответствовать «третьему измерению» в мире «плоскатики», высшим размерностям при реконструкции аттракторов, «свободе воли» или непредсказуемым действиям политического руководства. Естественно предположить, что часть множества G_2 гораздо меньше, чем G_1 .

Можно выделить три основных типа джокеров.

Джокер первого типа переносит точку, попавшую в G_2 , в некоторую фиксированную точку a из множества G_1 (детерминированный джокер). В частности, он описывает ситуацию, когда «рубят сук на котором сидят». В конце концов мы всегда оказываемся на земле.

Джокер второго типа переносит точку, попавшую в G_2 , с вероятностью p_i в точку a_i множества G_1 . Например, мы бросаем монетку и решаем, устроить презентацию нашего банка в «Хилтоне» или объявить о банкротстве (вероятностный джокер).

Джокер третьего типа задается распределением вероятности $p(x)$, в соответствии с которым он переносит попавшую в G_2 точку в разные точки x из G_1 (мы попали в крупные неприятности, и, чтобы выбраться из них, нужно выложить большую сумму; возможный размер суммы задается распределением вероятности $p(x)$).

Построим простейшую модель, описывающую военную политику некоего княжества в период междусобных войн. Пусть параметром порядка являются военные расходы — переменная x_n , где n — номер месяца, в котором они были сделаны. При пассивной военной политике военных походов не предпринимается, военные расходы уменьшаются

$$x_{n+1} = \lambda x_n(1-x_n), \quad \lambda < 1, \quad x_1 = x'. \quad (5)$$

Предположим также, что мы имеем дело с сильным княжеством, которое не ждет больших неприятностей от соседей. С падением расходов возникают проблемы с содержанием военной дружины, падает авторитет князя, начинается борьба за власть. Поэтому, когда $x_n < \epsilon$, надо предпринимать активные действия. Допустим, что с вероятностью p_1 принимается решение о военном походе на северных, а с вероятностью p_2 — планируется «организовать систему коллективной безопасности» с южными соседями. Такую ситуацию описывает отображение (5), заданное на интервале $\epsilon \leq x_n \leq 1$ (G_1) и джокер второго рода, заданный в области $0 \leq x_n \leq \epsilon$ (G_2). С вероятностью p_1 джокер переносит значение x_n в точку a_1 (поход на северных), с вероятностью p_2 — в точку a_2 (экспедиция к южным). Северные расположены дальше, поэтому и затраты будут больше. В отсутствие джокера $x_n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ (рис. 4) и военный компонент политики перестает быть значимым. При наличии джокера в системе периодически возникают военные походы, ход каждого из которых (точнее его финансирование) вполне предсказуем. Однако, сказать, куда же мы направимся в следующий раз, вразумлять южных или угрожать северных, нельзя. В реальной ситуации это, разумеется, зависит от темперамента князя, мудрости бояр, взглядов его супруги и советника по национальной безопасности, а также от множества других факторов, которые нам неизвестны. Именно эту неопределенность и отражает джокер. Отметим, что множество других факторов, характеризующих княжество, будет зависеть от уровня военных расходов, который может оказаться параметром порядка.

Обратим внимание на то, что джокер может радикально изменить ход процесса — сделать установившийся процесс периодическим или хаотическим или, напротив, внести упорядоченность в поведение системы. Он может приводить к эффектам, которые качественно отличаются от явлений, наблюдаемых в динамических системах с малым шумом. Анализ систем с джокерами ставит множество интересных математических задач. С другой стороны, поиск джокеров, характеризующих историческую реальность, также может оказаться глубокой содержательной проблемой.

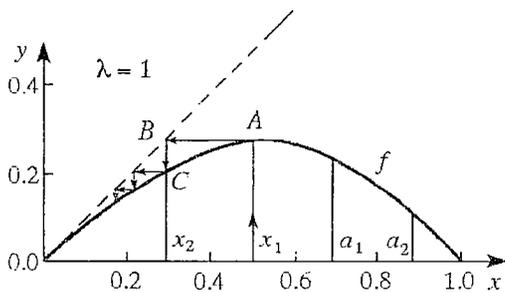


Рис. 4

Пассионарный толчок и самоорганизованная критичность

Пассионарии стремятся изменить окружающее и способны на это. Это они организуют далекие походы, из которых возвращаются немногие.

Л.Н. Гумилев

В настоящее время ряд крупных исторических событий объясняется исследователями в рамках теории этногенеза, развитой Л.Н.Гумилевым. В соответствии с этой теорией, развитие этноса в большой степени предопределено внутренними причинами, его саморазвитием. Ключевой переменной, характеризующей стадию развития этноса, является уровень его пассионарности.

Эта величина определяется числом людей, которые способны в ущерб собственному благополучию или безопасности менять ценности, стандарты поведения, отношения, создавать новое. «При этом пассионарии выступают не только как непосредственные исполнители, но и как организаторы. Вкладывая свою избыточную энергию в организацию и управление соплеменниками на всех уровнях социальной иерархии, они, хотя и с трудом, вырабатывают новые стереотипы поведения, навязывают их всем остальным и создают таким образом новую этническую систему, новый этнос, видимый для истории», – пишет Л.Н.Гумилев.

В ходе развития меняются императивы развития этноса, начиная от стремления к благоустройству, проходя через поиск удачи, стремление к идеалу знания и красоты и далее к идеалу победы.

В этой самосогласованной и убедительной концепции, подтвержденной многочисленными историческими изысканиями, наиболее уязвимым моментом, вероятно, является начальная стадия возникновения этноса, пассионарный толчок. Сам автор концепции связывал его с некими «мутациями» либо с неизвестными космофизическими факторами. Развитие нелинейной динамики показывает, что можно обойтись без этих, не вполне понятных и вызывающих сомнения, сущностей. Возможности для этого предоставляет активно развиваемая в последние годы теория самоорганизованной критичности [16, 20, 21].

Одним из принципиальных результатов психологии индивидуальных различий является вывод о том, что распределение большинства способностей в популяции характеризуется гауссовым законом с плотностью вероятности $p(x) \sim \exp(-(x-x_0)^2/\sigma^2)$ с превышением в области низких способностей. Гауссов закон характеризует также сумму большого числа случайных величин с конечными дисперсией и средним. Эти законы возникают в теории надежности, в термодинамике и во многих других случаях. Однако эти представления, лежащие в основе статистики, теории принятия решений и множества технологических проектов, применимы далеко не всегда.

Например, закон Рихтера – Гутенберга, показывающий как меняется число землетрясений с ростом их энергии, имеет степенной характер. Эти же закономерности характерны для селей, снежных лавин, биржевых крахов, возможных инцидентов с ядерным оружием, с утечкой конфиденциальной информации.

В нелинейной динамике было продемонстрировано, что в основе этих явлений вероятно лежит один и тот же механизм. Здесь мы всюду имеем дело не с независимыми событиями, а со множеством взаимосвязанных подсистем или элементов. Можно предположить, что таким же образом дело обстоит и в социальных системах на масштабах, характерных для исторических событий.

Базовой моделью теории самоорганизованной критичности является модель «куча песка» [16, 19]. Нетрудно дать историческую интерпретацию этой модели. Представим себе социальную структуру общества как набор элементов, каждый из которых характеризуется некоторым социальным статусом (величина h), а также связями с ближайшими в структуре элементами. Естественно предположить, что в простейшем случае связи локальны. Информационного управления не происходит, и в своих действиях человек прежде всего ориентируется на поведение своих

близких. Допустим, что социальный статус одного из элементов случайно повысился (припишем это действиям его друзей или проделкам благосклонного джокера). Если это изменение не слишком велико, то друзья, знакомые и коллеги готовы ему порадоваться (получение звания, премии и т.п.). Однако, если это изменение слишком велико (вы получили Нобелевскую премию, огромное наследство и т.д.), у вас могут возникнуть проблемы, которые приведут к изменению как вашего статуса, так и статуса окружающих. По-существу это универсальная картина событий, которые могут развертываться в самых разных сообществах. При очевидных упрощающих предположениях формализация этой ситуации приводит к модели «куча песка» либо к ее аналогам.

Компьютерный анализ показывает, что для таких систем в большом интервале масштабов характерны степенные закономерности. Общее число элементов социальной структуры n , статус которых изменился, и число событий N , в ходе которых произошло такое изменение, связаны степенной функцией $N \sim n^{-\alpha}$. Продолжительность всех этих событий до того как структура перейдет в равновесное состояние также определяется степенным законом $T \sim n^{-\beta}$. При этом редкие катастрофические события оказываются наиболее важными. Если предположить, что такая картина отражает историческую реальность, то появляется возможность сопоставить шкале исторических масштабов различные события. Годы–десятилетия – возникновение партий, предвыборных блоков, коалиций. Века – изменения границ, рождение и гибель больших государств, изменение идеологии. Тысячелетия (гигантские лавины) – жизнь этносов, мировых религий, цивилизаций.

Представляется интересным на имеющемся историческом материале провести количественное сопоставление результатов теории самоорганизованной критичности и реального хода исторических событий. При этом возникает интересная «проблема перенормировки». Число событий в обществе, общественных организаций и открывающихся возможностей очевидно связано с количеством людей, составляющих рассматриваемую общность. Например, число граждан Афин эпохи Перикла сравнимо с числом жильцов современного многоэтажного дома. Однако их вклад в жизнь общества и в мировую культуру несравнимы. По-видимому, надо вводить некоторый масштабный множитель. Результаты исследовательского проекта С.П.Капицы в области «исторической демографии» показывают, что это возможно сделать [22].

Предварительное исследование, проведенное И.Н.Трофимовой, М.А. Митиным и А.Б.Потаповым, исходящих из элементарных фактов психологии индивидуальных различий и малых групп, показывает, какие неустойчивости могут привести к возникновению самоподдерживающейся социальной структуры, предлагающей новый стандарт отношений. Возможно, именно эти процессы и играют роль джокера на начальной стадии развития этногенеза.

Можно ожидать, что представления теории самоорганизованной критичности будут играть важную роль при построении «исторической механики».

Считаю приятным долгом поблагодарить А.Б.Потапова за обсуждение проблем исторической механики, С.А.Посашкова за оказанную поддержку, а также Н.В.Карлова за дискуссии в Андреевском клубе.

Настоящая работа была поддержана Российским гуманитарным научным фондом (гранты 96-03-04535, 96-03-04307) и грантом Госкомвуза «Социальные проекции синергетики» и ГНТП «Безопасность».

Библиографический список

1. Малинецкий Г.Г., Каценко С.А., Потапов А.Б. и др. Математическое моделирование системы образования. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 1995, № 100.
2. Малинецкий Г.Г. Высшая школа глазами математиков // Знание – сила. 1995. № 10. С.16.

3. *Гуриев С.М., Шахова М.Б.* Модель самоорганизации торговых путей в экономике с несовершенной инфраструктурой // Математическое моделирование динамических процессов и систем. МФТИ, 1995. С. 15–37.

4. *Кургинян С.* Седьмой сценарий. Часть 1. М.: Экспериментальный творческий центр, 1992. 335 с.

5. Математическое моделирование исторических процессов. М., 1996.

6. *Малинецкий Г.Г.* Нелинейная динамика – ключ к теоретической истории. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 1995, № 81.

7. *Тойнби А.Дж.* Если бы Филипп и Артаксеркс уцелели // Знание – сила 1994. № 8. С. 60.

8. *Тойнби А.Дж.* Постигание истории. М.: Прогресс, 1991. 736 с.

9. *Гумилев Л.Н.* География этноса в исторический период. Л.: Наука, 1990. 280 с.

10. *Дьяконов И.М.* Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. М.: Издательская фирма «Восточная литература», РАН, 1994. 384 с.

11. *Плохотников К.Э.* Нормативная модель глобальной истории: информация, ресурсы, политика // Россия XXI. 1994. № 8. С. 80–91.

12. *Гегель Г.В.Ф.* Лекции по философии истории. СПб.: Наука, 1993. 480 с.

13. *Ключевский В.О.* Т. VI. Специальные курсы. М.: Мысль, 1989.

14. *Гусейнова А.С., Павловский Ю.Н., Устинов В.А.* Опыт имитационного моделирования исторического процесса. М.: Наука, 1984.

15. *Стенли Д., Брю Р.* Экономикс. М.: Республика, 1993.

16. Новое в синергетике. М.: Наука, 1996.

17. *Malinetskiĭ G.* Synergetics, predictability and deterministic chaos in limits of predictability // Springer Series in Synergetics. Vol. 66. Berlin etc.: Springer Verlag. P. 75–141.

18. *Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А.* Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992. 544с.

19. *Гумилев Л.Н.* От Руси к России. М.: Экспрос, 1992.

20. *Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.* Self – organized criticality // Phys. Rev. A. 1988. Vol. 38. P. 364.

21. *Подлазов А.В.* Новые аспекты самоорганизованной критичности. Препринт ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, 1995, N86.

22. *Капица С.П.* Феноменологическая теория роста населения Земли // УФН. 1996. Т. 166, № 1. С. 63.

Институт прикладной физики РАН

Поступила в редакцию 4.07.97



Малинецкий Георгий Геннадьевич родился в 1956 году в Уфе, окончил физический факультет МГУ (1979), защитил кандидатскую диссертацию на тему «Нестационарные диссипативные структуры в нелинейных средах» (1982) и докторскую диссертацию на тему «Диффузионный хаос и новые типы упорядоченности в нелинейных средах» (1990) в Институте прикладной математики. В настоящее время работает там же заведующим сектором нелинейной динамики. Автор большого количества статей в области исследования хаоса и нелинейных явлений. С 1985 года преподавал на факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ, факультете прикладной математики Российского открытого университета. Читал курсы «Введение в математическое моделирование», «Основные идеи и методы синергетики», «Введение в нелинейную динамику». Профессор Московского физико-технического института, руководитель специализации «нелинейные процессы». Автор учебника «Структуры, хаос, вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику», около 30 учебных и научно-популярных брошюр и статей. Основные из них опубликованы в сборниках серии «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»: «Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент» (1988), «Компьютеры и нелинейные явления» (1988), «Новое в синергетике» (1996).



О КУРСЕ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ»

Ю.И. Неймарк

Статья посвящена новому созданному и читаемому автором курсу «Математические модели естествознания и техники»; истории возникновения и становления, его содержанию и программе. Излагаются профессиональная целевая направленность курса как одного из неотъемлемых образования прикладного математика и отчасти – специалистов других естественных и научно–прикладных направлений, опирающихся на математику; общенаучная и мировоззренческая роль курса; взаимоотношения с гуманитарным образованием и перспективы.

Этот курс, как и многое в нашей жизни, возник случайно, но на подготовленной почве понимания несоответствия господствующей концепции подготовки специалистов по прикладной математике современному этапу науки и техники и требованиям развития общества.

Университетская система подготовки специалистов исходит из примата фундаментального математического образования, что при всех его положительных качествах формирует определенную отчужденность выпускников от важнейших этапов и сторон решения прикладных задач, таких, как осмысление и глубокое проникновение в существо конкретной задачи, в ее постановку, ее идеализацию и последующую корректировку математической модели, ориентируя их только на этап математического исследования точно поставленной задачи. Это приводит к тому, что математик не играет в обществе соответствующей ему роли. Его неполноценно подменяют в этой работе специалисты конкретных областей, недостаточно хорошо владеющие математикой. Необходима коррекция образования прикладного математика, целью которой, помимо сказанного, было бы еще воспитание способности к дальнейшему самообучению с ориентацией не только на чисто математические внутренние вопросы [1], но и на широкое восприятие математики как языка точного естествознания и техники, как основного средства познания природы, техники и социального мира [2].

Одно время, и, возможно, сейчас этой или близкой цели предполагалось достичь путем расширения лабораторных работ. Это, безусловно, способствует лучшему усвоению теоретических знаний и приобретению полезных навыков, но едва ли приведет к более широкому пониманию математики и своего предназначения в ней, без чего выполнение лабораторных работ может стать, как и наблюдается, «обязаловкой». Сами по себе, в лучшем случае, лабораторные работы будут восприниматься как более или менее интересные иллюстрации основных положений изучаемых теоретических дисциплин. Изменению ценностей ориентации подготавливаемых специалистов может способствовать введение нового курса,

содержащего выходящие за рамки примеров разнообразные реализации классической схемы изучения объектов, систем, ситуаций. Необходимо, чтобы такой курс читался до того, как под влиянием канонизированных математических дисциплин сформируется алгоритмическое или, того хуже, схоластическое мышление.

1. История возникновения курса и его использование сегодня

Как уже говорилось, необходимость более естественно-научного обучения математике на факультете ВМК ННГУ мною достаточно ясно ощущалась, но все же необходима была особая случайная ситуация для того, чтобы она приобрела осязаемые конкретные формы. В 1986 году в связи с уходом из жизни профессора-лингвиста Б.Н. Головина группа математиков-лингвистов или, скорее, лингвистов-математиков, осталась без своего инициатора, организатора и руководителя. Нужен был новый план и постановка новых учебных курсов. Деканом факультета ВМК тогда был Р.Г. Стронгин, и он предложил мне читать новый курс по математическим моделям естествознания вместо обычного курса дифференциальных уравнений, этим группам, специализирующимся теперь по научно-технической информации на кафедре ИАНИ Д.И. Батищева. Мне импонировал такой курс, и я согласился. Тем более, что ранее я разработал и читал курс по математическим моделям теории управления [3] и еще раньше курс «Математические методы теории колебаний», где главенствует идеология общности явлений различной природы, проявляющаяся в одинаковости и универсальности их математических моделей [4–6].

Математическое моделирование в существующей сравнительно скромной литературе в основном трактовалось как новая технология приближенного решения трудных задач, возникающих в приложениях математики. При такой трактовке основное внимание уделялось методам вычислений и приближенных решений, сеточным методам, методам галеркинских типа, конечного элемента, асимптотическим методам, методам оптимизации, методам решения некорректных задач и вопросам преодоления возникающих при этом трудностей и использованию вычислительных машин.

Мне же казалось, что математическое моделирование – это прежде всего теория и искусство изучения реальных объектов и явлений. Что великими образцами математического моделирования являются астрономия, механика, электродинамика, молекулярная теория, вся физика, химия, молекулярная биология и генетика, теория машин и приборов – все научное естествознание и техника.

Начиная с февраля 1987 года я стал читать двухгодичный курс лекций на втором и третьем курсах в объеме 140 часов, сопровождаемый практикой в объеме 70 часов, которые вели В.П. Савельев, А.И. Нестеренко и З.Г. Павлюченок. С 1993 года этот курс в измененном виде начал читаться мною на основном потоке прикладной математики ВМК в объеме 104 часов лекций и 36 часов практики в течение года на втором и третьем курсах, а затем – и для новой специальности «Информационные системы», где лекции читал В.П. Савельев.

2. Содержание курса

К 1994 году содержание курса настолько сложилось, что в 1994 и 1996 годах были изданы два выпуска лекций [7], третий должен выйти в 1997 году. При написании использовались магнитофонные записи лекций, сделанные зав. лабораторией ТУиДМ В.Ш. Берманом и перепечатанные Л.Л. Крыловой, что позволило сохранить лекционный стиль изложения.

Лекции содержат 34 темы: *вводные* – о математике, математических моделях и главной модели естествознания – динамической системе и ее фазовом портрете, и тематические, рассказывающие о тех или иных конкретных моделях. В основе

всего курса лежит великая общая, абстрактная, всеобъемлющая математическая модель – динамическая система. Всюду, где это возможно, выясняется фазовый портрет, его возможные виды и качественные изменения – бифуркации и критические значения. Все рассматриваемые объекты и явления и их математические модели разбиваются на несколько циклов.

В *первый тематический цикл* входят балансные модели. Здесь на конкретных системах студенты знакомятся с переходными процессами, равновесными режимами, автоколебаниями, критическими значениями и бифуркациями. Знакомство со стохастическими движениями происходит значительно позднее в лекции о «часах наоборот» – стохастическом динамическом генераторе. В этом же цикле рассказывается о моделях, объясняющих загадочно малую соленость Каспийского моря, и энергетическая модель сердца, обнаруживающая различные типы его кризисных состояний и различие возможных путей выхода из них, причины и характер сужения жизненных возможностей сердца. Эти модели служат примерами, когда очень сложные объекты и сложные и непонятные явления находят простое описание и объяснение. Приводятся и примеры обратного, когда простота обманчива.

Во *втором цикле* лекций рассказывается о разнообразных экспоненциальных и экологических моделях сосуществования видов, где объясняются явления внезапного кризиса и исключительности, и о биологическом реакторе. Завершается этот цикл лекций глобальной агрегированной моделью сообщества «производитель–продукт–управленцы» – моделью, имеющей прямое отношение к нашей многовековой истории.

Третий цикл – о вездесущей модели осциллятора, линейного и нелинейного. Он охватывает 12 тем, большинство из них традиционны для теории колебаний: свободные, вынужденные и параметрические колебания, возбуждение автоколебаний (мягкое и жесткое), перекачка энергии и бегущие волны в двух связанных осцилляторах и другое. Но есть и не вполне традиционные темы: точность хода часов, стохастические колебания «часов наоборот», жонглирование одной и двумя палочками, стоящими друг на друге, двуногая ходьба.

Четвертый цикл об автоматных моделях целесообразного поведения и обучения. *Пятый* – о проблеме двух тел и некоторых примыкающих к ней вопросах. *Шестой* – о распределенных динамических моделях и явлениях диффузии и волн. *Седьмой* – о микромире и микрочастице, и *восьмой* – о пространстве и времени и разгоне релятивистской частицы в циклотроне.

Более полно содержание курса отражено в приводимой ниже его программе. Помимо описанных лекций для младших курсов, читались лекции по математическому моделированию для старших и одно время – для аспирантов университета первого года. Вначале это было 20 лекций, которые читали В.П. Савельев и я, а затем – 16 для магистров (5 курс), из которых 8 читаю я. В этих 8 лекциях рассказывается о математике как операционной системе и моделях [2]. Об изоморфизме операционных систем [8] и моделей. О великом изоморфизме объектов природы и техники и их математическом описании моделями. О физическом, аналоговом и математическом (включая имитационное моделирование Монте–Карло) моделированиях. Об общей схеме математического моделирования, иллюстрируемой примерами.

3. Программа курса

Вводные темы. Математика как язык. Математическое моделирование как универсальный метод изучения окружающего мира. Детерминизм Лапласа и динамическая система – как основная математическая модель научного естествознания. Фазовое пространство и оператор. Фазовый портрет. Описание и состояние, примеры. Игра «жизнь», маятник на вращающемся основании. Фазовый портрет как геометризованное описание динамики системы и наших знаний о ней и как средство изучения и постижения динамики.

Цикл 1. Закон Торичелли и простейшая модель вытекания жидкости. Водяные часы и форма сосуда, обеспечивающая равномерную шкалу времени. Недостаточность простой модели. Уточнение модели, учитывающее разгон жидкости и сжатие струи. Фазовый портрет и отображение на нем быстрой фазы разгона и медленного вытекания.

Равновесие и автоколебания при одновременном притоке и оттоке через отверстие и сифон. Типы эволюционных процессов: переходный процесс, равновесие и автоколебания.

Динамика уровня зеркала водохранилища с гидростанцией. Критические значения. Бифуркационная диаграмма.

Энергетическая модель сердца. Виды кризисных состояний. Жизненные возможности и их сужение.

Засоление водоема с заливом. Загадка Каспийского моря.

Цикл 2. Экспоненциальные процессы. Математическая модель. Периоды полураспада и удвоения. Примеры экспоненциальных процессов: размножение и гибель, радиоактивность, цепные реакции, разряд конденсатора, торможение, поглощение излучения, разгон ракеты, охлаждение, распространение эпидемии и слухов, рост населения, производства, знаний, приближение и удаление от равновесия. Явления внезапного кризиса и «схлопывания».

Математические модели сосуществования видов: «хищник–жертва», конкуренция, симбиоз. Их фазовые и бифуркационные портреты.

Протонный биологический реактор. Эффективность и оптимальный режим.

Математическая модель сообщества «производители–продукт–управленцы». Фазовые портреты и их обсуждение.

Цикл 3. Математическая модель линейного осциллятора. Простейшие примеры. Возможные типы движений и фазовые и бифуркационный портреты. Что описывает линейный осциллятор: равновесия, гармонические, затухающие и нарастающие колебания, устойчивые и неустойчивые равновесия.

Механический и электрический осциллятор. Электромеханические аналогии. Уравнения Лагранжа – Максвелла и принцип наименьшего действия. Примеры.

Как и почему появились часы Галилея – Гюйгенса, что в них принципиально нового, что определяет точность часов. Простейшая динамическая модель. Отображение Пуанкаре и диаграмма Кенигса – Ламерея. Часы как автоколебательная система.

Генератор электрических колебаний – электрический аналог часов Галилея – Гюйгенса. Уравнение Ван-дер-Поля как первая простейшая аналитическая модель автоколебаний. Фазовые бифуркационные портреты.

Осциллятор с непредсказуемым поведением – «часы наоборот». Непредсказуемость и случайность. Два основных качественно различных типа поведения динамических систем: устойчивость и неустойчивость.

Неустойчивость и автоколебания, вызванные трением.

Вынужденные колебания линейного осциллятора. Амплитудно–фазовая частотная характеристика. Явления резонанса и фазового сдвига. Примеры: килевая качка, динамический демпфер.

Параметрическое возбуждение и стабилизация. Особенности параметрического резонанса, отличающие его от обычного.

Нормальные колебания и биения.

Управление как могучее средство изменения свойств и поведения динамических объектов. Жонглирование одной и стоящими друг на друге палочками. Управление курсом судна. Роль запаздывания в обратной связи.

Перевернутый управляемый маятник как математическая модель двуногой ходьбы.

Цикл 4. Динамические автоматные модели игр, обучения и целесообразного поведения. Противостояние и партнерство в играх многих лиц.

Персептрон Розенблата как динамическая система. Модели образа,

распознавания и обучение распознаванию. Теорема о конечности числа ошибок. Перцептрон и метод стохастической аппроксимации.

Цикл 5. Законы Кеплера и проблема двух тел, решенная Ньютоном.

Цикл 6. Распределенные модели механики и физики.

Фундаментальное решение и диффузионные явления. Прогрев полупространства.

Бегущие волны и дисперсионное уравнение.

Суточные и годовые изменения температуры поверхности земли. Намерзание льда на поверхности воды.

Теория электромагнитных явлений Фарадея – Максвелла и электромагнитные волны Максвелла – Герца.

Отражение и преломление волн.

Стоячие волны и колебания ограниченной струны, в частности, при сосредоточенном ударе по ней.

Цикл 7. Особенности микромира. Формализм квантовой механики. Квантовое состояние и его связь с измеряемыми физическими величинами. Свободная квантовая частица, в потенциальной яме, в поле ядра атома.

Цикл 8. Преобразования Галилея и Лоренца. Инвариантность уравнений Ньютона и Максвелла. Сокращение расстояний и замедление часов, сложение скоростей.

Разгон релятивистской частицы в циклотроне.

Эта программа предполагает знание основных сведений из курсов математического анализа, дифференциальных уравнений и теории вероятностей. Знание теории линейных операторов желательно, но не обязательно, как не обязательно и знание уравнений в частных производных. Изложение полностью всей программы требует примерно 120 часов лекций. Читался он в объемах 140 часов и 104, причем во втором случае последние три раздела, требующие примерно 16 часов лекций, не излагались.

4. Целевая профессиональная направленность курса

Традиционно в России сложилось абстрактное и строго математическое образование. В приложениях математики считалось, что в постановке и решении задачи должна быть такая же строгость, как в теоретических исследованиях. Особенно жестко эта точка зрения проводилась московской математической школой. Её яркий представитель – всемирно известный математик А.Н.Колмогоров – хотел внедрить эту традицию даже в школьное образование. Вместе с тем, период в науке, когда непривычность математических объектов и понятий можно было постигнуть и изучать только путем формализации и уточнения как самих понятий, так и рассуждений и доказательств, прошел, они уже не вызывают ни удивления, ни неприятия, и поэтому для своего освоения не требуют прежних громадных затрат интеллектуальной энергии и времени. Эти затраты уже не требуются в такой мере даже для ведения научных исследований. Это с одной стороны. А с другой – центр тяжести математической профессии переместился с преподавания в математическое моделирование, методы вычислений, оптимизацию, использование ЭВМ, разнообразные применения математики в механике, физике, химии, биологии, технике, планировании, экономике, экологии, финансах и многом другом, где содержательное понимание задачи и интуиция в сочетании с достаточной обширностью и активностью математических знаний играют решающую роль.

Конкретно дефект подготовки прикладного математика появился в отрыве от современного понимания, зачем она – математика – нужна, в сочетании с недостаточностью умений ею пользоваться для решения возникающих разнообразных вопросов в различных науках и практических приложениях. В

какой-то мере этот пробел – разрыв между теоретическими знаниями и их использованием – помогает устранить обсуждаемый курс. Он же способствует расширению кругозора студентов, которые знакомятся с разнообразными конкретными моделями, способами их построения и исследования и наблюдают в них неожиданные явления. В конечном счете, он призван сделать понятным окружающий мир, помогает понять простые механизмы и пружины, управляющие его поведением. И то, как это описывается на математическом языке и изучается и постигается математическими средствами, помогает стать хозяином своих математических знаний.

5. Общенаучная и мировоззренческая роль курса

Обсуждаемый курс не только дает возможность студентам сформировать свое отношение к читаемым общим фундаментальным и специальным курсам и выбранной специальности, но и, в какой-то мере, формирует их естественно-научное мировоззрение. В этих своих функциях он целесообразен на младших курсах, как только студенты ознакомятся с основами математического анализа, дифференциальных уравнений и теории вероятностей (к концу курса). В этой второй части желателен рассказ о том, что же такое математика, в чем состоит и на чем основан метод математического познания, какова общая схема математического моделирования и какими соображениями стоит руководствоваться при ее реализации. Наконец, в этой заключительной части желателен конкретный рассказ об эффективном моделировании достаточно сложных, загадочных, интересных и важных объектов и явлений. В какой-то мере этой цели сейчас служит небольшое число лекций, читаемых на 5 курсе ВМК для магистров несколькими преподавателями.

6. Взаимоотношение с гуманитарным образованием

Я уже высказывался за единство естественно-научного и гуманитарного образования [9], единство не в том смысле, что их следует объединить, а в том, что и у гуманитариев и у естественников необходимо формировать естественно-научное мировоззрение и понимание естественных и гуманитарных наук как дополняющих друг друга подходов к познанию мира и формированию желаемой нами окружающей среды, материальной и духовной.

Математика и даже физика в своих традиционных видах неприемлемы для людей, склонных к гуманитарному мышлению. Понимание математики как особого языка науки, открывающего новые возможности общения с природой, как иностранные языки – с другими культурами, может открыть перед гуманитарием новое видение мира, его единства, устройства и красоты. А это понимание сделает возможным проникновение математического языка в гуманитарные науки как чего-то полезного, а не чуждого и враждебного: расхожая точка зрения сегодня – математика сушит и убивает вдохновенный полет гуманитарной мысли. Ее возможно преодолеть только через знакомство с математикой как новым необычным языком, на котором можно читать увлекательные рассказы, повести и романы об окружающем мире, после чего он станет богаче, интересней и красочней.

Естественник также заинтересован в гуманитарном подходе, ибо красота и гармония – залог истинности теорий и рассуждений. Пониманию и чувству красоты надо учиться у гуманитарных наук. Недаром Платон, неизвестный автор средних веков и Галилей сказали: «Красота – сияние истины», «Система мира построена по законам гармонии, красоты и симметрии», «Истина и красота – одно и то же, как одно и то же – ложное и безобразное».

В свое время я установил теорему, которая в вольной трактовке звучит примерно так: теория, объясняющая все известные факты, тем справедливей, чем на меньшем числе этих фактов (постулатов) она построена [10]. Я думаю, что Вы

согласитесь с тем, что такая теория и самая красивая. Я думаю, что Вы согласны и с Платоном, и Галилеем, и средневековыми воззрениями. Ведь соображения симметрии – нить Ариадны в теории элементарных частиц, общих законах химии и физики, как красота – в построении математических теорий и новой квантовой физики.

7. Перспективы

Научная и новая технологическая революции неизбежно приведут к изменению концепций естественного и гуманитарного образований, к их сближению и взаимопроникновению. Будет углубляться и расширяться проникновение математических методов в планирование, экономику, социологию, лингвистику, психологию, политологию, философию, медицину, и это проникновение призваны осуществлять в первую очередь университеты. Рождение нового обсуждаемого курса можно рассматривать как один из первых шагов в этом направлении. Этот шаг не единственный, я думаю, что нечто подобное происходит и в других университетах. Во всяком случае, это имеет место и в Саратовском университете [11, 12].

Литература

1. Колмогоров А.Н. Математика // БСЭ. 2-ое изд. М., 1954. Т. 26; Математическая энциклопедия. М., 1982. Т. 3. С. 560–564.
2. Неймарк Ю.И. Математика как операционная система и модели // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 1. С. 82.
3. Неймарк Ю.И., Коган Н.Я., Савельев В.П. Динамические модели теории управления. М.:Наука, 1985.
4. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний / Под ред. М.А. Леонтовича // Мандельштам Л.И. Полн. собр. соч. М.:Изд. АН СССР, 1955. Т. IV.
5. Горелик С.Г. Колебания и волны. М.–Л.: Гос. изд-во научно-технической литературы, 1950.
6. Неймарк Ю.И. Теория колебаний вчера и сегодня // Динамика систем: Межвуз. сб. Горький: Изд-во Горьковского ун-та, 1988. С.34–53.
7. Неймарк Ю.И. Математические модели естественности и техники: цикл лекций. Вып. 1 и 2. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1994. С. 83; 1996. С. 154.
8. Неймарк Ю.И. Операционные системы исчисления и линейные динамические системы: Учебное пособие. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1991.
9. Неймарк Ю.И. О единстве гуманитарного и естественно-научного образований: Тез. докл. научно-методич. семинара по проблемам общего естественно-научного образования. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1995. С. 5–6.
10. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.:Наука, 1978. С. 311–314.
11. Трубецков Д.И. Колебания, волны, электроны. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1993. С. 226.
12. Короновский А.А., Трубецков Д.И. Нелинейная динамика в действии. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995. С. 129.

Нижегородский государственный
университет

Поступила в редакцию 29.05.97



Неймарк Юрий Исаакович – доктор технических наук, профессор ННГУ, академик РАЕН, Соросовский профессор, член национального комитета по теоретической и прикладной механике, лауреат премий А.А. Андропова и Н. Винера. Автор 8 монографий и более 400 работ по теории колебаний, теоретической механике, теории управления и др.



ОСНОВЫ СИНЕРГЕТИКИ

Программа курса

Б. Н. Пойзнер

Курс «Основы синергетики» читается на кафедре квантовой электроники и фотоники Томского госуниверситета с 1996/97 учебного года для студентов радиофизиков, специализирующихся по физике оптических явлений, с 1997/98 учебного года – для магистрантов радиофизического и химического факультетов ТГУ. Лекции сопровождаются вычислительными экспериментами: оптическая бистабильность, самоорганизация в нелинейном кольцевом интерферометре, количественные методы анализа структурообразования, динамический хаос в лазере и др. Последняя редакция программы сделана в июле 1997 года.

Цель курса

Создание системы понятий, составляющих методологическую основу теории самоорганизации; раскрытие взаимообусловленности эволюции, самоорганизации, нелинейности и сложности открытой системы; демонстрация универсальности феномена самоорганизации; объяснение сложного поведения нелинейных систем с позиций нелинейно-динамического подхода; акцентирование модельного аспекта при исследовании сложной эволюции.

Для освоения курса студентам необходимы знания из теоретической и математической физики, теории колебаний и волновых процессов, нелинейной оптики.

Содержание курса

Введение. Научные познавательные модели и роль концепции самоорганизации. Методологические особенности синергетики как постнеклассической науки. Смена парадигмы на рубеже XX–XXI вв. и мировоззренческое значение синергетики (2 ч.).

1. Проявления сложности и самоорганизации в системах (22 ч.) Понятия системы, эволюции, структуры. Симметрия. Размерность Хаусдорфа – Безиковича. Понятие фрактала (3 ч.). Категория сложности в аспекте самоорганизации. Понятия структурной и функциональной сложности (2 ч.). Пример перехода от хаоса к порядку в открытой нелинейной системе (формирование ячеек Бенара). Ячейки Бенара: аспект функциональной сложности (3 ч.). Понятие бифуркации, способы ее описания и изучения. Необратимость и

непредсказуемость последствий бифуркации (на примере возникновения ячеек Бенара) (2 ч.). Принцип необходимого разнообразия Эшби и мера функциональной сложности системы. Особенности моделирования сложного (1 ч.). Оценка организованности сложной системы по Лефевру (1 ч.). Понятия порога сложности и бифуркационного портрета системы (2 ч.). Явление кластеризации в системе. Синергия кластеров. Принцип сопряженных подсистем Геодакяна. Гипотеза Эшптейна о самоочищении как первофеномене культурных процессов (2 ч.). Понятия эффективности и осуществимости системы. Классификация систем по возможности управления ими и прогнозирования. Базовые идеи системной методологии по Ласло (2 ч.). Иерархичность сложных систем и негауссовость социальных явлений. Феномен самоорганизованной критичности. Распределение Ципфа. Гипотеза Хайтуна об эволюции материи от гауссовых систем к негауссовым (2 ч.). Критерии сложности когнитивных самоорганизующихся систем: способность сжимать информацию, моделировать, осуществлять выбор; аксиологичность. Понятие репликатора (лазерная мода, ген, юнговский архетип, культурный образец). Гипотеза о субъекте самоорганизации. Свод концепций сложности динамических систем (2 ч.).

2. Сложная эволюция: способы описания и условия появления (12 ч.). Классификации динамических систем. Динамика полностью интегрируемой гамильтоновой системы. Отображение Пуанкаре. Анализ траекторий на двумерном торе. Вращательное число Пуанкаре. Понятие многообразия. Понятие диссипативной системы (3 ч.). Гамильтоновы системы близкие к интегрируемым и их стохастичность. Теория Колмогорова – Арнольда – Мозера. Понятия стохастического слоя и диффузии Арнольда (4 ч.). Гамильтониан Хенона – Хейлеса для задачи трех связанных тел. Модельный аспект исследования сложной динамики (1 ч.). Понятия предельного множества, аттрактора и репеллера. Понятие динамического хаоса и его роль в теории самоорганизации (4 ч.).

Рекомендуемая литература

- 1*. *Анищенко В.С.* Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990.
- 2*. *Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А.* Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992.
3. *Геодакян В.А.* Системно-эволюционная трактовка асимметрии мозга // Методологические проблемы. Ежегодник 1986. М.: Наука, 1987. С. 355–376.
- 4*. *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989.
- 5*. *Ермолаев Ю.П., Санин А.Л.* Электронная синергетика. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989.
6. *Заславский Г.М., Сагдеев Р.З.* Введение в нелинейную физику. М.: Наука, 1988.
- 7*. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Антропный принцип в синергетике // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 62–79.
8. *Landa P.S.* Nonlinear Oscillations and Waves in Dynamical Systems. Dordrecht, Boston, Lnd.: Kluwer Academic Publ., 1996.
9. *Лефевр В.А.* Конфликтующие структуры. М.: Сов. радио, 1973.
- 10*. *Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С.* Введение в синергетику: Учебное руководство. М.: Наука, 1990.
11. *Майнцер Кл.* Сложность и самоорганизация // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 48–61.
- 12*. *Малинецкий Г.Г.* Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. М.: Наука, 1997.

* Основная литература для самостоятельной работы студентов.

13. Мелик-Гайказян И.В. Информация и самоорганизация (методологический анализ). Томск: Изд-во ТПУ, 1995.

14*. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987.

15. Николис Гр. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. М.: Мир, 1989.

16. Николис Гр., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990.

17*. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1987.

18. Пойзнер Б.Н. О «субъекте» самоорганизации // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1996. Т. 4, № 4–5. С. 149–158.

19. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.

20*. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1992.

21. Разумовский О.С. Бихевиоральные системы. Новосибирск: Наука, 1993.

22. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.

23. Тимашев С.Ф. Физико-химические принципы глобальной экологии// Российск. хим. ж. 1996. № 2. С. 113–124.

24. Хайтун С.Д. Механика и необратимость. М.: Янус, 1996.

25. Хайтун С.Д. Проблемы количественного анализа науки. М.: Наука, 1989.

26*. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.

27. Чайковский Ю.В. К общей теории эволюции // Путь. 1993. № 4. С. 101–141.

28*. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур. М.: Мир, 1979.

29. Эпштейн М.Н. Самоочищение. Гипотеза о происхождении культуры // Вопросы философии. 1997. № 5. С. 72–79.

Томский государственный
университет

Поступила в редакцию 19.07.97



Пойзнер Борис Николаевич – родился в Томске (1941), окончил радиофизический факультет Томского государственного университета. Защитил кандидатскую диссертацию по теории колебаний и волн (1970), доцент кафедры квантовой электроники и фотоники ТГУ. Читает лекции по нелинейной оптике, физике лазеров, принципам управления лазерным излучением, основам синергетики. Автор четырех учебных пособий (три из них – с соавтором) в издательстве ТГУ. Имеет статьи по методике преподавания и по проблемам университетского образования в журналах Изв. вузов. «ПНД», «Alma Mater», «Высшее образование в России», «Преподавание физики в высшей школе». Доклад на конференции «Education in Optics» (SPIE). Инициатор подготовки и редактор семи библиографических указателей (в том числе «Синергетика и сопредельные науки», «Университетское образование и его социальная роль», «Интеллигенция в российском обществе и университете», «Психика и интеллект обучаемого»). Действительный член Всероссийского общества библиофилов.



ОПЫТ ИЗЛОЖЕНИЯ СИНЕРГЕТИКИ В УЧЕБНИКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ

А.Г. Стромберг

Автор делится опытом изложения в учебнике физической химии основных представлений синергетики и иллюстрирования их на примере автокаталитической колебательной реакции.

Феномен самоорганизации материи в химических системах проявляется главным образом в виде автоколебательных химических реакций, наиболее изученным случаем которых является реакция Белоусова – Жаботинского (БЖ) [1]. В литературе их открытие рассматривается как возникновение *новой химии* [2]. Однако традиционными учебниками физической химии эти вопросы до сих пор не освещаются. Как отмечает ученица лауреата Нобелевской премии И. Пригожина Агнесса Баблоянц, «... новая химия – это последнее достижение науки, но в настоящее время она не входит ни в один курс обучения ни в одном учебном заведении» [2]*. При подготовке третьего издания учебника физической химии для химических специальностей вузов [4] нами предпринята попытка изложить принципы нелинейной динамики на количественном уровне и рассказать об использовании методов синергетики в химии.

Во введении к этому разделу учебника раскрываются основные идеи о способности материи к **самоорганизации** в определенных условиях, и формулируются эти **условия**: *нелинейность системы; неравновесность системы; наличие обратной связи* (для химической реакции это – наличие среди других – автокаталитической стадии); *неустойчивое стационарное состояние, далекое от состояния равновесия* (для химической реакции это – проведение ее в проточном реакторе); *стохастичность* (наличие в системе случайных процессов). Из разных областей знания приводятся примеры самоорганизации материи и более подробно дается предварительное качественное описание явлений, которые наблюдаются при протекании реакции БЖ [1].

Далее рассматриваются основные положения **двух подходов** для количественного описания явлений самоорганизации: *нелинейная термодинамика неравновесных процессов; нелинейная динамика*. Отмечается, что для выявления конкретных условий возникновения автоколебательного режима химической реакции более простым является нелинейно-динамический подход с использованием критерия устойчивости Ляпунова.

* В изданном в 1995 году учебнике дается краткое (на двух страницах) качественное описание реакции БЖ, которая рассматривается как частный случай автокаталитической реакции в «экзотических» условиях [3].

Дается представление о **фазовом портрете**, в частности, для системы с двумя степенями свободы, к которой относится реакция БЖ. Объясняется, почему вид фазового портрета позволяет сделать заключение о типе устойчивости стационарного состояния. На примере математической модели маятника с двумя степенями свободы как механического аналога реакции БЖ показывается, что фазовый портрет идеального маятника – предельный цикл. Объясняется, почему для реального маятника с трением фазовый портрет имеет вид скручивающейся спирали, которая заканчивается особой точкой.

На простом примере математической модели двухстадийной химической реакции поясняется понятие **бифуркации** [5].

Анализ реакции БЖ дается в учебнике на примере «брюсселятора» – одной из её наиболее простых математических моделей, состоящей из четырех односторонних стадий (причем вторая стадия является автокаталитической) и включающей два промежуточных соединения. Название модели дана столица Бельгии – Брюссель, где находится научная школа И. Пригожина, предложившая эту модель. Предполагается, что реакция протекает при постоянных концентрациях исходных веществ и продуктов реакции, то есть в проточном реакторе (в открытой системе), благодаря чему стационарное состояние системы поддерживается далеким от равновесия.

Составляющая «брюсселятора» система из двух нелинейных дифференциальных уравнений для двух промежуточных соединений комментируется в физико-химическом плане. Поскольку численное решение уравнений достаточно сложная задача, излагаются принципы приближенного рассмотрения динамики концентраций соединений для небольшого возмущения относительно стационарного состояния. Демонстрируется, как использование критерия устойчивости Ляпунова позволяет получить фазовый портрет этого возмущения (вблизи устойчивого состояния). Обсуждаются шесть возможных типов фазовых портретов, получаемых при математическом исследовании «брюсселятора».

Излагается классический прием исследования влияния соотношения исходных концентраций A и B на динамику реакции: в координатах A , B строится диаграмма и разбивается на четыре участка, которые соответствуют различным видам фазовых портретов, в том числе – предельному циклу.

В конце раздела рассматриваются элементы **теории фракталов** [6]. Вводится понятие дробной размерности. На примере модельной кривой Коха поясняется отличие сложных объектов с фрактальной размерностью от простых с целочисленными размерностями. Применение теории фракталов иллюстрируется качественным описанием явления «вязких пальцев», наблюдаемого при закачивании раствора (например, с токсичными отходами) в толщу Земли.

Автор выражает признательность Б.Н. Пойзнеру, «заразившему» его своим увлечением синергетикой.

Литература

1. Колебания и бегущие волны в химических системах / Под ред. Р. Филда и М. Бургер. М.: Мир, 1988. С. 20–193.
2. *Баблонц А.* Молекулы, динамика и жизнь. М.: Мир, 1990. С. 161, 235.
3. Физическая химия. В 2-х кн. / К.С.Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнев и др. М.: Высшая школа, 1995. Кн. 2.. С. 269–271.
4. *Стромберг А.Г., Семченко Д.П.* Физическая химия. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1988.
5. *Эбелинг В.* Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979.
6. *Федер Е.* Фракталы. М.: Мир, 1991.

Томский политехнический
университет

Поступила в редакцию 19.07.97



Стромберг Армин Генрихович – родился в Бреславле (1910), окончил Уральский политехнический институт (УПИ, 1930), защитил кандидатскую диссертацию (УПИ, 1939), был интернирован в Тагиллаге НКВД (1942–1943). Защитил докторскую диссертацию по электроаналитической химии (УПИ, 1951). Заведовал кафедрой физической и коллоидной химии (1956–1985) и руководил проблемной лабораторией (1962–1985) в Томском политехническом институте. Профессор–консультант той же кафедры (1985). Область научных интересов: электрохимия, электроаналитическая химия, наукометрия, методика преподавания физической химии. Автор 430 научных публикаций, соавтор вузовского учебника «Физическая химия» (1974, 1988) и двух задачников: по электрохимии (1968), по химической термодинамике (1974, 1977, 1985, 1988). Член Научного Совета по аналитической химии АН СССР – РФ (с 1950). Заслуженный химик РФ (1996), Заслуженный Соросовский профессор (1995).



НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА УЧЕБНИКА

Эскиз

Б.Н. Пойзнер

Содержание, методы и положение нелинейной динамики в науке предложено характеризовать понятием «фронтирность». Жанр учебника по нелинейной динамике рассмотрен в контексте появления космогонического ритуала (по Элиаде, Топорову и Евзлину). Учебный текст трактуется как репликатор, то есть единица самовоспроизводящейся информации. Особенности функционирования такого репликатора и процесс создания учебника анализируются с точки зрения нелинейной динамики.

Кто научился у товарища своей одной главе, или одной статье, или одному стиху, или даже одной букве, обязан ему уважением.

Пирке Абот 6, 3

Определяя роль нелинейной динамики (синергетики, или теории самоорганизации) как учебного предмета в высшей и средней школе, хочется произнести: *фронтир*. Frontier, – говорил первый поселенец, американский пионер, указывая на рубеж, за которым начиналась территория неизведанная, неосвоенная (точнее – неиспользованная, поскольку на ней жили аборигены). «Фронтирность» нелинейной динамики, на наш взгляд, – ее врожденное качество. Ю.А. Данилов и Б.Б. Кадомцев пятнадцать лет назад констатировали, что синергетика «возникает, опираясь не на граничные, а на внутренние точки различных наук, с которыми она имеет ненулевые пересечения» [1]. Линия, соединяющая эти внутренние точки, составляет проекцию фронта на поле той или иной дисциплины.

«Фронтирность» (но отнюдь не маргинальность!) нелинейной динамики, развивающейся в темпе востерны, имеет несколько планов. **Во-первых**, имея дело с фундаментальными характеристиками поведения физической, социальной, психоментальной реальности, синергетика проводит границу наступления на карте научной мысли, ведущегося, по крайней мере, со времени Галилея.

Во-вторых, теория самоорганизации составляет акме системной научной познавательной модели (то есть современного способа упорядочения и интерпретации научных фактов, господствующего в большинстве сообществ ученых [2]). Ее преемницей претендует стать диатропическая познавательная модель (эволюционная диатропика – наука о разнообразии), вызываемая к жизни неразрешимостью экологического кризиса [2]. Важную часть ее методологических установок составляют новации синергетики, так что последняя объективно оказывается действенным посредником между этими познавательными моделями.

В-третьих, нелинейная динамика располагается у границ естествознания и гуманитарных наук, обеспечивая расширение антропного принципа на условия проявления «сложности» в феноменах самоорганизации [3]. Благодаря этому человек видится не столько классической мерой вещей, сколько – мерой сложности процессов. Надо заметить, что подготовка учебных текстов по теории самоорганизации для гуманитариев – весьма сложная задача. Один из первых удачных примеров ее решения дан А.А. Короновским и Д.И. Трубецковым, написавшими пособие [4]. О быстрой ассимиляции понятий синергетики гуманитарными науками свидетельствует использование их в учебниках по философии политики [5], по эстетике [6]. Однако некоторые исследователи видят в этой тенденции, мягко говоря, *mauvais ton*. Скажем, в предисловии к оригинально составленной, многоплановой книге [7] скорбно констатируется: «Возникла даже новая наука лингвокультурология, которая не стесняется прибегать к таким методам познания, как синергетика». Думается, что то подобное возмущение вызвано знакомством не с нею, а с ее ложными версиями (нередко еще и приправленными мистикой), полученными от интерпретаторов, не обремененных знанием нелинейной динамики.

В-четвертых, будучи одним из слагаемых и катализаторов постмодернистской культуры, синергетика соединяет древнейшие мифологемы и философы [3, 8, 9] с концепциями, определяющими ход нынешней научной революции [1,10]. Оценивая значение последних, президент Немецкого общества по изучению сложных систем и нелинейной динамики Кл. Майнцер дал выразительный подзаголовок своему докладу «Сложность и самоорганизация» (на Международном Московском синергетическом форуме 1996 года): «Возникновение новой науки и культуры на рубеже веков».

В-пятых, мышление в духе нелинейной динамики составляет нетронутый ресурс диалога Востока с Западом [3, 9]. Итог его не сводится к популярному афоризму Р. Киплинга. Здесь уместнее вспомнить строчки В. Гете: «Восток и Запад / Уже не могут быть разделены». Но и сам диалог, столь актуальный для России [5], отнюдь не обречен на успех. В этом можно убедиться, сопоставив, например, традиционные европейские [2, 6, 11–16] и китайские [9, 15–19] идеалы познания реальности. Они важны также в аспекте преподавания принципов моделирования эволюции и ее прогнозирования.

В-шестых, в самой синергетике идет широкая подвижка фронта. Генетически она связана с фактом, который С.Д. Хайтун выразил афоризмом: в истории человеческой мысли изначально борются два течения, защищающие концепции «порядок из хаоса» и «хаос из порядка» [20]. Очередной импульс такой подвижке придало в середине 90-х годов перенацеливание исследований: со сложности на перешлетенность (*From Complexity to Perplexity*, как назвал свою статью Дж. Хорган), поскольку *на границе хаоса и порядка, у края хаоса, возникает новый класс явлений* (цит. по [3]).

В-седьмых, занятие нелинейной динамикой неотделимо от компьютерного моделирования, легко создающего виртуальные объекты, симулякры, фантомы. Оно побуждает пересекать черту, за которой – игра, свободные импровизации, удовлетворение эстетических запросов. Недаром Е.Н. Князева и С.П. Курдюмов провозглашают, что синергетически мыслящий человек (а он – цель усилий преподавателя нелинейной динамики) есть *homo ludens*, и приводят знаменитое ницшевское определение: **веселая наука** [3]. По нашему мнению, психолого-коррекционный и нейроэстетический потенциал компьютерной визуализации формообразования в открытых системах [21] подлежит рассмотрению в контексте синтезирующей «Общей морфологии» [13] русского мыслителя В.Н. Ильина. А это, в свою очередь, расширяет методологическую компетенцию нелинейной динамики. Есть уверенность, что именно теория самоорганизации даст новый ответ на вопрос Ницше (заданный в «Рождении трагедии»): **что означает вообще всякая наука, рассматриваемая как симптом жизни?**

Наконец, теория самоорганизации лежит в той прифронтовой полосе, куда то и дело врываются партизаны и десантники, выступающие под знаменем

паранауки, куда проникают чудаки и шарлатаны, фанатики и лихие журналисты. Они стремятся захватить все то, что в состоянии унести на себе: легкое методологическое вооружение, терминологическое обмундирование синергетики, цитаты из Пригожина и т.п. Их сочинения, где демонстрируются боевые трофеи, обладают не столько комическим, сколько дидактическим эффектом. Обнаженность (а порой и умелая замаскированность) приемов умолчания, произвольной трактовки, недопустимого упрощения, подмены, неправомерной экстраполяции и пр. делает их полезным учебно-методическим материалом по теме «Техника примитивизации смысла». Здесь есть и социально-психологический момент. Развитие постнеклассической науки взаимосвязано с легитимизацией ненаучного знания, с выдачей ему вида на жительство в современной культуре. Следовательно, от будущего специалиста по теории самоорганизации потребуются повышенная терпимость в дискуссиях со сторонниками альтернативных способов познания (кстати говоря, необходимая для эффективности любого междисциплинарного диалога). Педагог, взявшийся препарировать, «развинчивать», а тем самым – развенчивать – их построения, фактически стал бы автором практикума «Политкорректность в синергетике». К сожалению, социокультурный механизм вульгаризации, мифологизации [22] актуальной доктрины, превращающий ее в научный кич, не вполне ясен.

Отмеченные «фронтальные» черты – в том или ином сочетании – определяют и облик отдельного учебника, и границы множества возможных учебных текстов по нелинейной динамике. Данный номер журнала отражает опыт их осуществления и проектирования.

Но что такое **сам учебник** с точки зрения нелинейной динамики?

Чтобы разобраться в этом, обратимся к обстоятельствам его происхождения. Известно, что на рубеже 40–20 тысячелетий до н. э. человек изобретает обвод животного или человека, прислоненного к стене. Создание такого контура (наносимого краской или высекаемого) позволяет архаическому человеку заместить реальное существо его обводом, то есть новым предметом. Дальнейшая эволюция подобных предметов, обрастающих различными свойствами, стимулирует формирование знаково-символических систем: слов, рисунков и т.д. Системы эти оказываются главным условием и движущей причиной развития человека, его психики и деятельности [23]. В том числе и древнейшей – педагогической, носящей ритуальный характер и обеспечивающей передачу опыта. Здесь лежат истоки учебника.

«Первое явление числа и формы происходит, по всей видимости, в ритуале. – полагает М.С. Евзлин. – ... Ритуал не повторяет природу, а *моделирует* ее, являясь своего рода *оперативной моделью*, через которую мир контролируется и управляется. ... Ритуал, таким образом, возобновляет распадающиеся в силу энтропического процесса формы реальности. Знак, вносимый в хаос, генерирует реальность» [24]. Та же миссия: одолеть хаос в сознании обучаемого, структурировать его, создав формы реальности, – поручается и учебнику.

Космогонические ритуалы, подробно обсуждаемые в книгах М. Элиаде, воспроизводят переход от первозданного Хаоса к устойчивому Космосу [24, 25, 8], то есть фундаментальный прецедент самоорганизации. С предписаний (жрецам) по их проведению начинается история учебных пособий по нелинейной динамике. В чем же предпосылки их возникновения?

По В.Н. Топорову, особая роль космогонии определяется тем, что она выступает как архетип всякого творения, как наиболее естественная и наиболее общая схема творения вообще, как модель любого человеческого действия и механизм порождения всего, что есть в мире, всех его содержаний – как объективных, так и субъективных (сознание).

Для архаического сознания мир как он есть – всегда результат возникновения и творения, всегда продукт космогонического процесса, причем связь между процессом и его результатом отчетливо сознаваема. В этом контексте космогония не столько то, что *было*, сколько то, что *есть*. Такое *есть*, несмотря на успехи «космостроительства», еще не изжило полностью исконных хаотических

начал (более того, на каждом шагу вперед «хаотическое» принимает новый облик и таит в себе новые угрозы). Следовательно, актуальность, в каждый момент ее и в каждом месте, оказывается незащищенной.

Поэтому архаическое коллективное сознание не могло не обратиться к тому, что наступит после *есть*, то есть к *будет*, выдвинув идею направления движения, его *цели*. Как только цель обозначена и осознана как нечто общее, оформляются *функции* как основной оперативный элемент бытия в мире и поддержания самого мира в некоем состоянии, оцениваемом, по меньшей мере, как удовлетворительное. Функции образуют новый узел связи между прошлым и настоящим, и они же завязывают узел, долженствующий правильно соединить настоящее с будущим. Дальнейшая эволюция состоит не только в материальном заполнении мира, но и в формировании функциональной *структуры*, выработке общей концепции, предполагающей учет всех опасностей, грозящих миру, всех средств их предотвращения и умение соотносить одни с другими.

Становление этой структуры приводит к прорыву из хаотического в еще только приблизительно угадываемый мир организации. Структура оказывается преградой, защищающей «человека сознающего» и от угроз еще не изжитого хаотического, и от затопления сознания архетипическими формами [24].

Каковы же структуры, повышающие защищенность человека в нестационарной ситуации, в чем их особенности?

Естественно считать такими структурами священные книги человечества. Среди них «Тексты пирамид», Веды, И-Цзин, Авеста, Библия, Талмуд, Коран. Жанровые границы сакральных текстов широки, но в них преобладает дидактическое начало. Иначе было бы невозможно изложить, толковать и передавать суть учения. А чтобы его усвоить, руководствоваться им в жизни, отстаивать его правоту перед оппонентами etc., требуется структура с особыми свойствами. Она должна обеспечить не только восприятие новичком норм, но и воспроизведение их в последующем диалоге, ведущемся неофитом, причастившимся к высокому знанию, с очередным посвящаемым.

Структура, способная создавать себе подобную в новом цикле своего действия, называется в генетике *репликатором*. Будучи единцей самовоспроизводящейся информации, репликатор служит агентом самоорганизации, он ее движитель, *driver*. Используя известную формулу древних китайских даосов, можно сказать, что репликатор делает вещи вещами, но не является вещью для вещей. В обществе эта функция принадлежит культурным образцам мышления и поведения [26]. Каждому педагогу ясно, что слово – важнейший тип репликатора. Культуросозидающая функция вытекает, по выражению М.М. Бахтина, «из природы слова, которое всегда хочет быть *услышанным*, всегда ищет ответного понимания и не останавливается на *ближайшем* понимании, а пробивается все дальше и дальше (неограниченно). Для слова (а следовательно, для человека) нет ничего страшнее *безответности*» [27]. Потому – то слово и было «*в начале*». В начале самоорганизации мира. Того мира (из всех возможных), который строго удовлетворяет антропному принципу [3]. Более того, согласно поэтическому учению мистика-каббалиста XVI в. Ицхака Ашкенази Лурии, образование порядка во Вселенной инициировано внесением в Хаос *йод* – первой буквы Тетраграмматона (четырёхбуквенного имени Бога), «содержащего "космическую меру", то есть мощь формирования и организации» (цит. по [24], см. также [28]). Существенно, что элементы и связи мирового порядка потенциально динамичны. По определению В.Н. Ильина, «форма есть способное к видоизменению – варьированию своих границ и качественностей конкретное бытие» [13].

Учебник, являясь системой слов, вполне соответствует определению репликатора. По-видимому, таково свойство всех структур, всех культурных образцов, помогающих человеку развиваться в изменчивых условиях существования. Определяя специфику учебника как репликатора, необходимо, на наш взгляд, принять во внимание гипотезу М.Н. Эпштейна о роли самоочищения. о самовознаграждающей функции чистки, выступающей прототипом

социокультурных процессов, в ходе которых человек пропускает окружающий мир через набор фильтров: гигиенических, информационных, этических и др. [29]. Это помогло бы: во-первых, уточнить место образования вообще и *синергетического образования* в особенности (а вместе с тем и учебных текстов по теории самоорганизации) в системе экспорта энтропии, осуществляемого духовной культурой; во-вторых, дополнить методику анализа социосинергетических явлений фильтрационным аспектом; в-третьих, углубить нелинейно-динамическое описание экологических систем.

Однако способность репликатора противостоять энтропии имеет свои пределы. За ними, говорит Топоров, структура утрачивает гибкость, снашивается, пока не перестает работать вообще. Форма, доведенная до совершенства, до последней «чистоты», приводит практически к тому же результату, что и полное отсутствие формы, бесформенность, свойственная Хаосу, когда мир как бы захлестнут возможностями, но отсутствие структурности не дает реализовать бесконечный энергетический запас. А гипертрофия формы приводит к столь жесткой системе, что малейшая неожиданность может оказаться для системы катастрофической: никаких свободных валентностей, никаких неиспользованных резервов уже нет, и открывается лишь один путь – вниз, погружение в Хаос.

Отсюда виден обоюдоострый характер формы, структуры, организации, сознания, *ratio*. Избрав их себе в поводыри, предупреждает Топоров, полагаясь на них и следуя им, человек должен контролировать их и не доверяться им до конца, хотя через них контролируется сам космогонический процесс, развертывающий мир и развертывающийся в нем.

Сотрудничество хаотического и космического начал в ходе творения предполагает ситуацию, в которой человек периодически должен «нисходить во ад» хаотического, обращаться к аморфному, неорганизованному, к бессознательному, к *intuitio* [24].

Бросается в глаза то, что рекомендация Топорова соответствует представлениям (развиваемым, в частности, С.Ф. Тимашевым [30]) об универсальном характере вида эволюции сложных нелинейных динамических систем в условиях надпороговых возбуждений. Его называют *intermittency*, или перемежаемостью: этапы регулярного поведения системы *перемежаются* относительно кратковременными непредсказуемыми всплесками нестационарности. Применительно к развитию учебника перемежаемость можно интерпретировать как неожиданное появление многих неортодоксальных версий доктрины, содержащейся в «правильном» учебнике, либо нетрадиционных способов изложения классического предмета. После чего все возвращается на круги своя.

Всплеск идейного либо методического разнообразия – вплоть до хаоса – может вызвать утрата типовым учебником «гибкости», его непригодность структурировать мышление обучаемых в изменившихся условиях, о чем предупреждает Топоров. Наступление бифуркации дает простор *педагогической ереси* – с точки зрения старой ортодоксии, конечно. Пример: предложенный казанским профессором математики В.В. Скворцовым в начале 80-х годов «викторинный» метод обучения, отвергавшийся консервативными преподавателями и чиновниками, воплощен в учебнике «Теория вероятностей? – Это интересно!» (М.: Мир) лишь в 1993 году. Заметим, что этимология слова *ересь*¹ указывает на возможности, открывающиеся благодаря бифуркации.

Рекомендация Топорова, продолжающая линию К.Г. Юнга – критика рационального сознания [31], тем более важна, когда речь идет о творческих проблемах, вызванных интенсивным усвоением знания и его сложной реструктуризацией. Касаясь их (в 1949 году), американский мифолог Джозеф Кэмпбелл утверждает: «Психологические опасности, которые более ранние поколения человечества преодолевали под руководством символов и духовных практик своего мифологического и религиозного наследия, нам приходится

¹ От др.-греч. *hairesis* – отступление от общепринятых правил и взглядов.

встречать сегодня в одиночестве ... или, в лучшем случае, с помощью неопытных, импровизированных и чаще всего не очень эффективных наставников» [31]. Слова Кэмпбелла относятся и к читателю учебника, и к автору его. И тому, и другому приходится иметь дело с учебником в ситуации *испытания*.

Учебник помогает обучаемому пройти трудный обряд – инициацию². Ритуал ее связан с архетипом преодоления младенческих образов личного прошлого [31]. Инициация выражает древнейший (пра)культурный принцип, согласно которому человек рождается дважды. Первый раз – в акте физического появления на свет. Второй – в ходе приобщения к миру обычаев, схем мышления, норм поведения, знаков и иных репликаторов. Объектом этого ритуала оказывается обучаемый, субъектом – составитель учебника. Ему отводится роль мистагога, проводящего инициацию.

Но в этой роли и автор чувствует себя испытуемым: его учебник тоже проходит проверку, экзамен. Проходит испытание на способность успешно формировать сознание читателя, воспроизводя научную истину, полученную педагогом в русле некоторой традиции. Пессимизм по этому поводу служит маской авторской самокритики. Г. Галилей, например, говорит, что «никто никому ничего передать не может». На Востоке издавна господствует иная точка зрения. Индолог В.С. Семенцов излагает ее так: «Живая личность учителя как духовного существа была тем содержанием, которое при помощи священного текста передавалось от поколения к поколению в процессе трансляции ... культуры» (цит. по [17]). В свете их суждений полезно было бы уточнить цели дистантного образования по синергетике.

Фактически же обряд инициации педагога начинается раньше, когда он, сочтя свой опыт достаточным, отваживается на рискованный акт профессионального самовыражения – составление учебника. Экзистенциальный смысл его шага разъясняет эссе 1952 года литератора и философа Мориса Бланшо [32]. «Творчество увлекает посвятившего себя ему туда, где оно сопротивляется собственной невозможности, – начинает Бланшо. – Тем самым оно представляет собой опыт – но что значит это слово?» Ответ: «“Опыт” означает здесь соприкосновение с бытием, самообновление при этом соприкосновении – то есть испытание ... В каждом новом произведении, в каждом моменте творчества все опять ставится под вопрос, так что человек, вынужденный опираться только на творчество, остается вовсе без опоры».

Казалось бы, составитель учебника по нелинейной динамике вправе чувствовать себя полновластным демиургом дидактического космоса. На деле же погружение пишущего в материю синергетики обостряет недовольство собственной статичностью, прикованностью к определенным представлениям о предмете, о мире, о себе. Заставляет признать ценность внутреннего непостоянства человека – одну из тех, что значима и для Азии, и для Европы. Вот изречение китайского ученого XI в. Шао Юна: «Тот, кто я емь сейчас, уже не тот кем я был раньше. И кем я стану в будущем, никто знать не может» (цит. по [17]). А вот французский мыслитель наших дней Жиль Делез: «Актуальное – это не то, что мы есть, это, скорее, то, чем мы становимся, стало быть, Другое, наше становление – другим. Настоящее, напротив, это то, чем мы перестаем быть» [33].

Формирование текста учебника в ходе его взаимодействия с автором естественно представить как структурообразование в открытой иерархической системе. Мера неравновесности ее зависит от интенсивности потока информации, усвоенной пишущим; степень нелинейности – от его восприимчивости к новому знанию (в том числе и к «полупроявленному», не отлитому в четкие положения, порой теряющемуся в «шуме»), позволяющей заметно менять смысловую конфигурацию книги в процессе ее роста. Взаимосвязь автора с текстом также нелинейна, да еще нестационарна во времени, тематически избирательна, неоднородна в пространстве излагаемых вопросов. Темп становления обусловлен скоростью диффузии авторского внимания к узловым проблемам, ритмом

² От лат. *initiare* – посвящение в мистерии.

творческой продуктивности, инерционностью распознавания и переделки псевдоудачных фрагментов, диссипацией энергии в набросках и вариантах etc.

Издание автором учебника завершает их совместную эволюцию. Итог пройденной инициации формально определяют мнения коллег, оценки учеников, востребованность/забвение, падение/рост престижа и пр. Но сверхзадача ритуала посвящения в авторы видится в ином.

Пожалуй, лучше всего ее раскрывают признания писателя Андре Жида («Дневник», июль 1922 года): «... любая из моих книг явилась не столько продуктом какого-то нового внутреннего состояния, сколько, напротив, его причиной, исходным толчком к тому душевному и умственному состоянию, в котором я должен был удерживаться, чтобы довести до конца работу над нею. ... едва только возник замысел книги, как она всецело овладевает мною, и во мне все, до самых глубин моего я, становится лишь орудием для нее. У меня имеется только личность, подходящая для данного произведения...»

Библиографический список

1. Данилов Ю.А., Кадомцев Б.Б. Что такое синергетика? // Нелинейные волны: Самоорганизация. М.: Наука, 1983. С.5.
2. Чайковский Ю.В. Познавательные модели, плюрализм и выживание // Путь. 1992. №1. С. 62.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Антропный принцип в синергетике // Вопросы философии. 1997. №3. С. 62.
4. Короновский А.А., Грубецов Д.И. Нелинейная динамика в действии: Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995.
5. Панарин А.С. Философия политики. Учебное пособие. М.:Новая школа, 1996.
6. Каган М.С. Эстетика как философская наука. Университетский курс лекций. СПб.: ТОО ТК «Петрополис», 1997
7. Козлова Н.Н., Сандомирская И.И. «Я так хочу назвать кино». «Наивное письмо»: Опыт лингвосоциологического чтения. М.: Гнозис, Русское феноменологическое общество, 1996.
8. Пойзнер Б.Н. Хаос, порядок, время в древних картинах мира // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1993. Т.1, №3,4. С.97.
9. Григорьева Т.П. Синергетика и Восток // Вопросы философии. 1997. №3. С. 90.
10. Крон В., Кюпперс Г., Паслак Р. Самоорганизация: генезис научной революции // Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. М.: Наука, 1994. С. 86.
11. Чапа Гермеса: Гуманистическая мысль эпохи Возрождения и герметическая традиция. М.: Юристъ, 1996.
12. Рассел Б. Человеческое познание: Его сфера и границы. Киев: Ника-Центр, 1997.
13. Ильин В.Н. Статика и динамика чистой формы, или Очерк общей морфологии // Вопросы философии. 1996. №11. С. 91.
14. Мамардашвили М.К. Стрела познания (набросок естественно-исторической гносеологии). М.: Школа «Языки русской культуры», 1997.
15. Глебкин В.В. Наука в контексте культуры («Начала» Евклида и «Цзю чжан суань шу»). М.: Интерпракс, 1994.
16. Роузен Д. Дао Юнга: Путь целостности. Киев: София, 1997.
17. Книга Прозрений / Сост. В.В. Малявин. М.: Наталис, 1997.
18. Мистерия Дао. Мир «Дао Дэ Цзина» / Сост., перев. и коммент. А.А. Маслов. М.: Сфера, 1996.
19. Чжоу Цзунхуа. Дао И-Цзина: Путь к прориданию. Киев: София, 1996.

20. Хайтун С.Д. Механика и необратимость. М.: Янус, 1996.
21. Poizner B., Arshinov A., Mudarisov R. Digital «SYNEMA» experience: practical, neuroaesthetic, psychoanalytical aspects // Тез. Междунар. конф. «Математика и искусство», 23–27 сент. 1996 Суздаль. М., 1996. С. 82.
22. Поизнер Б.Н. Бытие становления как объект познания // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1994. Т.2, №3,4. С.100.
23. Розин В.М. На пороге нового мира (опыт методологического осмысления) // Кентавр: Методологический и игротехнический альманах. 1997. Вып. 17. С. 2.
24. Евзлин М.С. Космогония и ритуал / Предисл. В.Н. Топорова. М.: Радикс, 1993.
25. Элиаде М. Космос и история. М.: Прогресс, 1987; Священное и мирское. М.: Изд-во МГУ, 1994; Аспекты мифа. М.: Инвест-ППП, 1995; Мифы, сновидения, мистерии. М.: REFL-book, Киев: Ваклер, 1996.
26. Поизнер Б.Н. О «субъекте» самоорганизации // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1996. Т. 4, №4,5. С.149.
27. Бахтин М.М. Проблема текста в лингвистике, филологии и других гуманитарных науках. Опыт философского анализа // Бахтин М.М. Эстетика словесного творчества. М.: Искусство, 1979. С. 281.
28. Из «Книги сияния» («Зогар») // Знание за пределами науки. Мистицизм, герметизм, астрология, алхимия, магия в интеллектуальных традициях I–XIV в./ Под ред. И.Т. Касавина. М.: Республика, 1996. С. 396.
29. Эпштейн М.Н. Самоочищение. Гипотеза о происхождении культуры // Вопросы философии. 1997. №5. С. 72.
30. Тимашев С.Ф. Проявление макрофлуктуаций в динамике нелинейных систем // Ж. физ. химии. 1995. Т. 69, №8. С. 1349.
31. Кэмпбелл Дж. Герой с тысячью лицами: Миф. Архетип. Бессознательное. Киев: София, 1997.
32. Бланшо М. Смерть как возможность // Вопросы литературы. 1994. Вып. 3. С. 191.
33. Делез Ж. Ницше. СПб.: Аxioma, 1997.

Томский государственный
университет

Поступила в редакцию 11.07.97



МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ДВУХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

В.В. Качак, Е.С. Мчедлова

На основе математической модели, представленной системой двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, сделана попытка качественного описания эволюции двух взаимодействующих научных направлений. Рассмотрены результаты как негативного, так и положительного двунаправленного влияния одного направления на изменение показателей другого. При исследовании учитывался характер изменения во времени отдельно взятого направления (развивающееся, деградирующее), а также анализировалась зависимость динамики системы от возможных начальных состояний.

Введение

Не вызывает сомнения тот факт, что идеи и методы нелинейной динамики в последние годы все активнее проникают в разные области науки, в том числе гуманитарные [1]. Тем более интересна попытка применить упомянутые идеи в науковедении, другими словами, изучить развитие науки ее же методами. Большой вклад в идеологию построения моделей взаимодействий в науке был сделан Г.Иваницким [2], представлениями которого мы отчасти воспользуемся.

Для того, чтобы охарактеризовать развитие той или иной области знания, в науковедении, как правило, используются три основных показателя: число публикаций, количество научных сотрудников и число эффективных связей между учеными в различных областях науки. Объединяя эти характеристики в одну, введем обобщенные макропеременные x и y , описывающие состояние научной деятельности в областях X и Y , соответственно. Будем моделировать динамику взаимодействующих научных направлений X и Y следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = c_1xy - c_2x, \\ \dot{y} = c_3xy - c_4y, \end{cases} \quad (1)$$

где x и y – соответствующие макропеременные, коэффициенты c_2 и c_4 определяют характер развития направлений X и Y , а c_1 и c_3 задают тип воздействия направления Y на X и X на Y .

В разных случаях коэффициенты c_i могут различаться как величиной, так и

знаком, но только смена знака влечет за собой качественные изменения динамики системы (1). Поэтому зафиксируем абсолютные величины c_i одинаковыми и равными единице ($i=1, \dots, 4$). Тем самым мы несколько упростили задачу, полагая взаимное влияние научных направлений одинаковым по абсолютной величине, а характер развития самих направлений – идентичным в случае одинаковых знаков c_2 и c_4 , и прямо противоположным в случае, когда знаки коэффициентов различны. Данное упрощение сделано чтобы выделить основные качественно непохожие типы эволюции системы. Изменение же абсолютных величин коэффициентов для каждого отдельного типа приведет лишь к количественным изменениям решения системы (1).

Определим возможные варианты знаков коэффициентов c_i . Нетрудно видеть, что положительные знаки c_2 и c_4 соответствуют экспоненциально затухающему, а отрицательные – экспоненциально возрастающему решению уравнений (1) при $c_1=c_3=0$. Положительные знаки c_1 и c_3 означают, что научные направления оказывают друг на друга позитивное воздействие или находятся в состоянии сотрудничества. Если $c_1 < 0$ и $c_3 < 0$, характер взаимодействия полагается отрицательным, направления конкурирующие. Возможен тип взаимодействия, когда одно научное направление подавляет другое, которое, в свою очередь, способствует развитию первого. В этом случае коэффициенты c_1, c_3 имеют разные знаки.

Нас будут интересовать следующие случаи:

I – оба направления развивающиеся, X отрицательно влияет на Y , Y положительно влияет на X ($c_1=1, c_2=c_3=c_4=-1$);

II – развивающиеся направления X и Y конкурируют, взаимное влияние отрицательно ($c_1=c_2=c_3=c_4=-1$);

III – оба направления «затухающие», взаимное влияние положительно ($c_1=c_2=c_3=c_4=1$);

IV – направления противоположных типов с положительной обратной связью ($c_1=c_2=c_3=1, c_4=-1$);

V – «затухающее» направление X отрицательно воздействует на Y , развивающееся позитивно и положительно влияющее на X ($c_1=c_2=1, c_3=c_4=-1$).

Обратим внимание на интерпретацию понятия «начальные условия» в контексте рассматриваемой проблемы. Действительно, что можно понимать под x_0, y_0 , если переменные x и y обобщенно определяют состояния научной деятельности? По всей видимости величины x_0, y_0 должны определять состояния научной деятельности соответствующих областей или направлений в начальный момент взаимодействия. Полагая, что данные состояния в большой степени определяется разного рода вложениями в ту или иную область науки, под начальными условиями будем понимать суммарные затраты средств и умственных ресурсов, составляющие основу некоторого научного направления в момент начала взаимодействия с другим.

1. Общий случай. Исследование структуры фазового пространства

Найдем особые точки x^*, y^* системы (1)

$$\begin{cases} c_1xy - c_2x = 0, \\ c_3xy - c_4y = 0, \end{cases}$$

откуда

$$x_1^* = y_1^* = 0 \text{ и } x_2^* = c_4/c_3, \quad y_2^* = c_2/c_1. \quad (2)$$

Для исследования типов состояний равновесия выведем характеристическое уравнение системы (1) в общем виде (см., например, [3]). Для этого обозначим

$$\begin{cases} \dot{x} = c_1xy - c_2x = P(x,y), \\ \dot{y} = c_3xy - c_4y = Q(x,y), \end{cases}$$

и запишем определитель

$$\Delta(x^*,y^*) = \begin{vmatrix} P'_x(x^*,y^*) & P'_y(x^*,y^*) \\ Q'_x(x^*,y^*) & Q'_y(x^*,y^*) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_1y^* - c_2 & c_1x^* \\ c_3y^* & c_3x^* - c_4 \end{vmatrix},$$

$$\Delta(x^*,y^*) = c_2c_4 - c_2c_3x^* - c_1c_4y^*,$$

а также

$$\sigma = P'_x(x^*,y^*) + Q'_y(x^*,y^*) = c_3x^* + c_1y^* - c_2 - c_4.$$

Тогда характеристическое уравнение

$$\lambda^2 - \sigma\lambda + \Delta = 0$$

примет вид

$$\lambda^2 - (c_3x^* + c_1y^* - c_2 - c_4)\lambda + c_2c_4 - c_2c_3x^* - c_1c_4y^* = 0. \quad (3)$$

Используя выражения (2) и характеристическое уравнение (3), исследуем особые точки системы (1) для случая II. Особые точки системы (1): $x_1^*=y_1^*=0$, $x_2^*=y_2^*=1$. Уравнение (3) примет вид:

$$\lambda^2 - (2 - x^* - y^*)\lambda + (1 - x^* - y^*) = 0.$$

Если $x_1^*=y_1^*=1$, то $\lambda^2 - 1 = 0$, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = -1$. Так как корни характеристического уравнения действительны и разных знаков, состояние равновесия (x_1^*, y_1^*) является особой точкой типа «седло». Для $x_1^*=y_1^*=0$ имеем $\lambda^2 - 2\lambda + 1 = 0$ и $\lambda_3 = +1$, что соответствует неустойчивому узлу.

Структура фазового пространства для рассмотренного случая изображена на рис.1 на плоскости переменных (x,y) в виде поля направлений.

Поскольку $\Delta(x^*,y^*) \neq 0$ при любых $c_2 \neq c_4 \neq 0$, то все состояния равновесия системы (1) – простые. Поэтому аналогичным способом, используя (2) и (3), можно получить качественную структуру фазового пространства в любом интересующем нас случае.

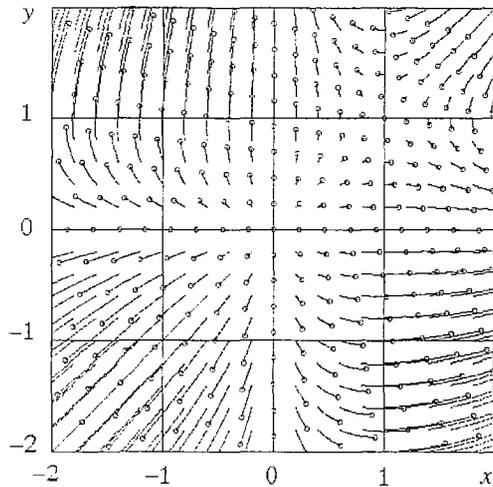


Рис. 1. Структура фазового пространства системы (1) для случая II, построенная в виде поля направлений

Выведем соотношение, определяющее множество фазовых траекторий уравнений (1) в общем виде. Для этого запишем систему (1) следующим образом:

$$dx/dy = (c_1xy - c_2x)/(c_3xy - c_4y). \quad (4)$$

Разделяя переменные, проинтегрируем уравнение (4)

$$\int (c_3 - c_4/x) dx = \int (c_1 - c_2/y) dy,$$

$$c_3x - c_4 \ln x = c_1y - c_2 \ln y + C',$$

где C' – постоянная интегрирования. К полученному соотношению применим операцию потенцирования

$$e^{c_3x} e^{-c_4 \ln x} = C e^{c_1y} e^{-c_2 \ln y},$$

В результате имеем

$$e^{c_3x} x^{-c_4} = C e^{c_1y} y^{-c_2}. \quad (5)$$

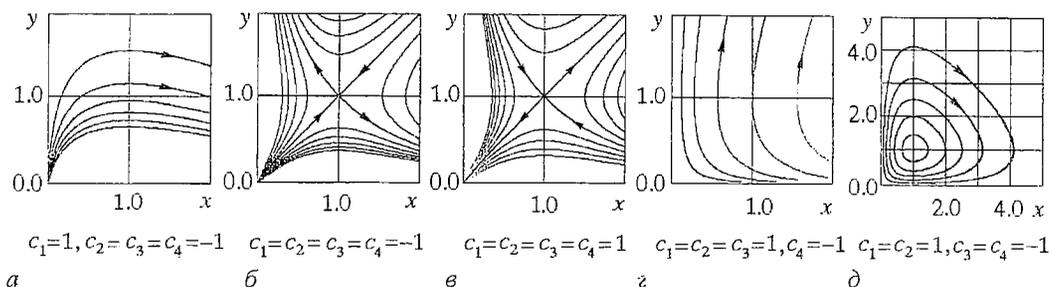


Рис. 2. Фазовые портреты системы (1) для случаев: а – I; б – II; в – III; г – IV; д – V

Выражение (5) описывает множество траекторий на фазовой плоскости системы (1) неявным образом. Записав выражение (5) для перечисленных выше вариантов, получим:

- I $xe^{-x} = Cye^y,$
- II $xe^{-x} = Cye^{-y},$
- III $x^{-1}e^x = C y^{-1}e^y,$
- IV $xe^x = C y^{-1}e^y,$
- V $xe^{-x} = C y^{-1}e^y,$

и решив полученные уравнения численно, можно получить фазовые портреты системы (1), представленные на рис.2.

Следует отметить, что в силу своей идеализации модель способна качественно описать только *начальный* этап взаимодействия двух направлений без учета каких либо сторонних воздействий. Это не означает, что стационарное или бесконечно возрастающее решение имеет реальный аналог. Вряд ли найдется модель, способная описать поведение столь сложных систем на больших интервалах времени. Поэтому с точки зрения сопоставления с практическими ситуациями на данную модель следует ориентироваться в пределах временных масштабов, на которых прослеживаются особенности *взаимодействия* двух направлений, а всякое бесконечное решение не рассматривать, как лишенное смысла [1, с.123].

2. Модель двух развивающихся научных направлений с разными типами взаимодействий

Рассмотрим случай I, когда эволюция каждого направления в отдельности носит позитивный характер, направление Y оказывает положительное влияние на X, а X отрицательно воздействует на Y.

Здесь и далее система (1) решалась численно, методом Рунге – Кутты четвертого порядка с шагом интегрирования, равным 0.025. На рис. 3 представлены решения $x(t)$ и $y(t)$ уравнений (1) для двух значений начальных условий: $x_0=0.1, y_0=0.2$ и $x_0=0.1, y_0=1.0$. Исследования показали, что направление X развивается (неограниченный рост переменной x) при любых отличных от нуля начальных

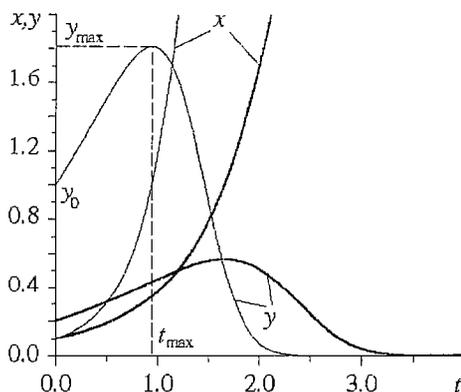


Рис. 3. Решения системы (1) для случая I при двух разных начальных значениях $y_0=0.2$ (жирная линия) и $y_0=1.0$ (тонкая линия)

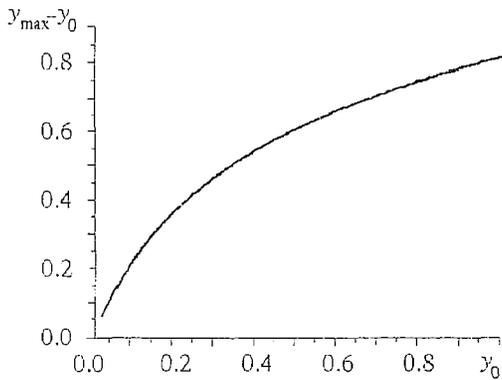


Рис. 4

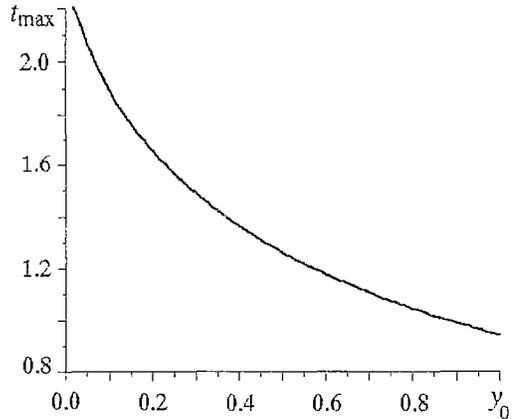


Рис. 5

условиях. Под начальными условиями будем понимать состояние научных показателей на некоторый момент времени, начиная с которого X и Y полагаются взаимодействующими.

Динамика развития направления Y зависит от соотношения начальных состояний x_0 и y_0 . В случае, когда y_0 существенно превышает x_0 , решение $y(t)$ имеет ярко выраженный максимум (см. рис. 3). Это означает, что в начальный интервал времени мы наблюдаем стремительный рост научных показателей направления Y , полностью соответствующий развивающемуся характеру направления. В некоторый момент времени t_{\max} величина научных показателей достигает максимума, после чего стремится к нулю, что обуславливается отрицательным влиянием направления X .

С уменьшением y_0 величина y_{\max} уменьшается, а время t_{\max} увеличивается (рис. 4, 5). Это вполне соответствует действительности: чем лучше «стартовые условия» для научного направления в условиях конкуренции, тем больше «относительное приращение» $y_{\max} - y_0$ научных показателей, и тем за меньшее время достигается значимый результат. В подтверждение сказанному на рис. 6 представлена зависимость $y_{\max}(t_{\max})$.

Означает ли это, что общий объем результатов, полученных в области Y за время ее развития, неуклонно возрастает с улучшением начальных условий? Чтобы ответить на этот вопрос введем величину S , определяющую общее количество научных достижений в области Y за время t_{\max} , как произведение $S = (y_{\max} - y_0)t_{\max}$ (см. заштрихованные области на рис. 7). Оказалось, что при

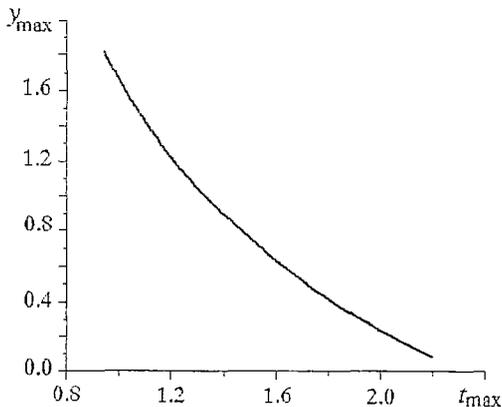


Рис. 6

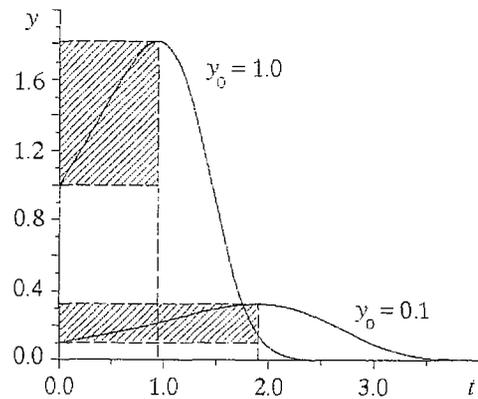


Рис. 7

увеличении начального условия y_0 от 0.0 до 3.0, величина S не остается постоянной, либо монотонно возрастающей на данном интервале значений y_0 , а испытывает насыщение при $y_0=0.68$ (рис. 8). В данном конкретном случае это означает, что результативность направления Y будет оптимальной, когда его начальные условия почти семикратно превышают начальные условия конкурирующего направления X ($x_0=0.1$).

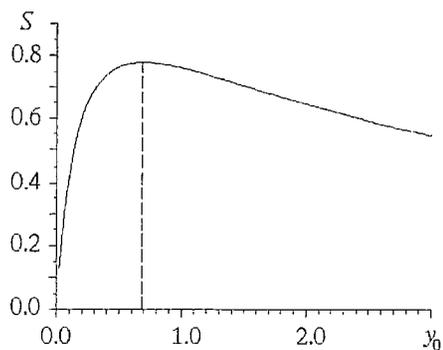


Рис. 8

3. Конкуренция двух развивающихся направлений

Рассмотрим перспективные научные направления X и Y в условиях взаимной конкуренции (случай II). Для модели это означает, что X и Y отрицательно влияют друг на друга, то есть $c_1=c_3=-1$. Значения коэффициентов $c_2=c_4=-1$ определяют развивающийся характер направлений. Фазовый портрет такой системы содержит неустойчивую седловую особую точку и изображен на рис.2,б.

Если начальные состояния обоих направлений одинаковы ($x_0=y_0$), решения $x(t)$ и $y(t)$ с течением времени становятся стационарными ($x(t)=y(t)=1$); в данном контексте это означает, что обобщенные характеристики научной деятельности в среднем остаются постоянными во времени. Однако, на практике обычно реализуются случаи, когда начальные состояния направлений различны. Согласно модели, в этом случае рост научных показателей в конечном счете происходит в области, изначально имевшей преимущества (рис. 9, а, б). Если значения начальных условий выбрать близкими, макрорепериментальные x и y некоторое время будут сохраняться постоянными, но процесс взаимодействия неизбежно завершится подавлением направления с «худшим» начальным состоянием (рис. 9, в).

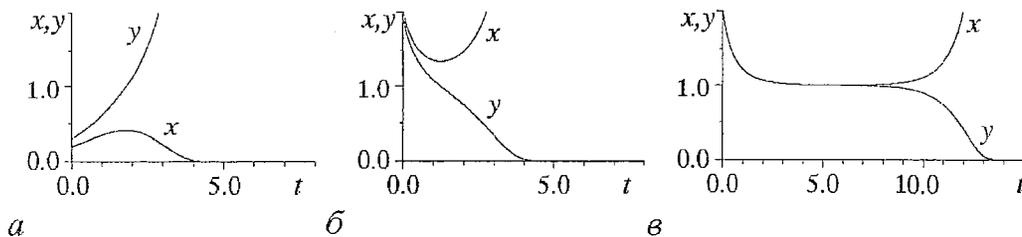


Рис. 9. Решения системы (1) для случая II: а - $x_0=0.2, y_0=0.3$; б - $x_0=2, y_0=1.9$; в - $x_0=2, y_0=1.99999$

4. Модель эволюции двух «затухающих» научных направлений с положительной обратной связью

Рассмотрим возможные типы решений системы (1), когда сами по себе направления X и Y имеют отрицательную динамику, но поддерживают друг друга в результате взаимодействия (случай III). Если не принимать во внимание стационарное решение, являющееся сильной идеализацией с практической точки зрения, возможно два варианта результата взаимодействия: либо развитие обоих направлений, либо спад научной активности до полной деградации каждого из них (рис.10). Идентичные тенденции в эволюции направлений независимо от их начальных состояний (совместный рост или совместная деградация) объясняются кооперативным характером взаимодействия. Тип эволюции полностью

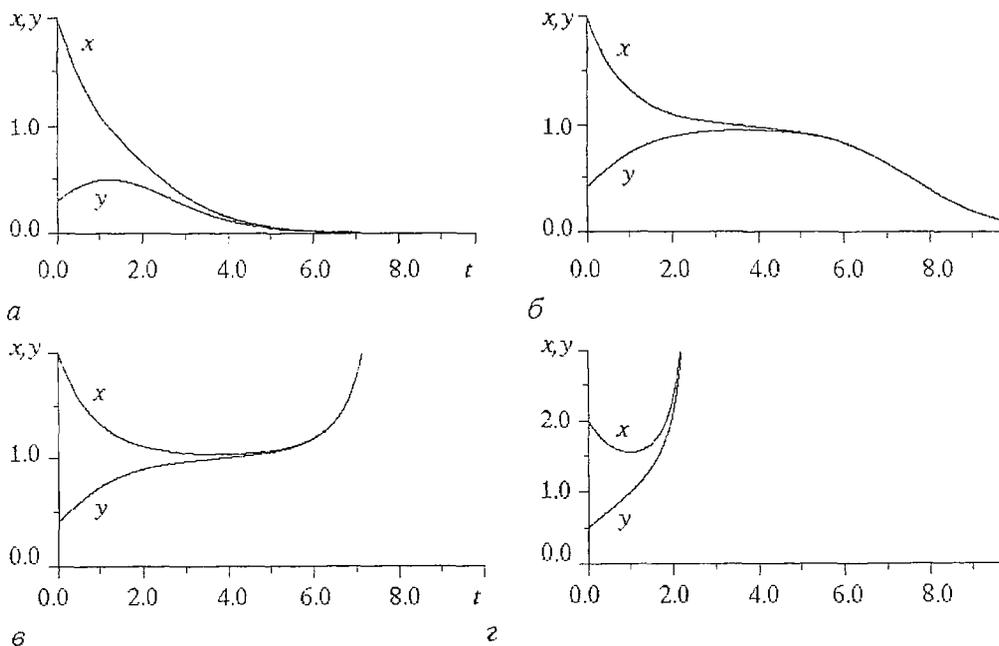


Рис. 10. Решения системы (1) для случая III при $x_0=2$; затухающие: $a - y_0=0.3$, $б - y_0=0.406$; возрастающие: $в - y_0=0.407$, $г - y_0=0.5$

определяется начальным состоянием, и малое изменение начальных условий является в данном случае критичным. Это хорошо заметно из сравнения рис. б и в и полностью соответствует структуре разбиения фазового пространства (см. рис.2,в). Отметим также, что чем ближе начальные условия к границе, разделяющей на фазовой плоскости качественно разные типы решений, тем медленнее процесс эволюции системы (ср., например, рис. а и б или рис. в и г).

5. Модель взаимодействия деградирующего и развивающегося направлений при наличии положительного взаимного воздействия

Будем полагать научное направление X «затухающим», а Y – развивающимся (случай IV), при этом $c_1=c_2=c_3=1$, $c_4=-1$. Структура фазового пространства изображена на рис. 2, г. Анализируя фазовые траектории системы нетрудно видеть, что все решения – возрастающие. Интенсивность развития процессов определяется соотношением начальных условий. Для случая, когда начальные условия равны $x_0=y_0$, или $x_0 < y_0$, решения представлены на рис.11, а, в. Следует отметить, что зависимость $x(t)$ условно можно рассматривать как состоящую из

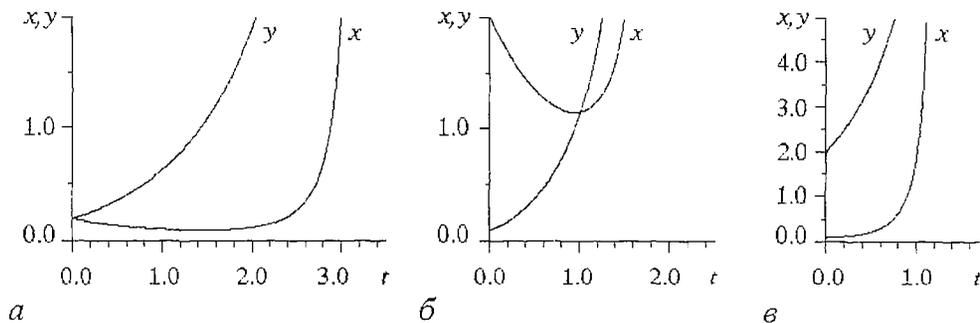


Рис. 11. Решения системы (1) для случая IV: $a - x_0=0.2, y_0=0.2$; $б - x_0=2, y_0=0.1$; $в - x_0=0.1, y_0=2$

двух стадий, соответствующих двум интервалам времени: медленного и быстрого возрастания, причем, чем ближе начальные состояния направлений, тем больший временной интервал занимает стадия медленного развития направления X (рис. 11, а, в).

Ситуация, когда начальное состояние научного направления X существенно лучше начального состояния Y , соответствует рис. 11, б. Здесь имеет место локальный минимум решения $x(t)$, что свидетельствует о временном ухудшении научных показателей направления X , что вполне соответствует его первоначальному статусу. Затем начинает проявляться позитивное влияние развивающегося направления Y и макропеременная x начинает монотонно возрастать.

6. Модель взаимодействия двух научных направлений противоположного характера развития с различным типом взаимного влияния

Пусть X – научное направление с отрицательной динамикой, оказывает негативное влияние на развивающееся направление Y , которое воздействует на X положительно, то есть $c_1=c_2=1$, $c_3=c_4=-1$ (случай V). Фазовые траектории системы (1) есть множество вложенных замкнутых кривых, а точка с координатами (1;1) – особая точка типа «центр» (см. рис. 2, д). Очевидно, решения $x(t)$ и $y(t)$ будут носить колебательный характер.

Изменяя начальные условия, можно получить периодические колебания от квазигармонических до релаксационных (рис.12). Поскольку стационарное решение, соответствующее положению равновесия, на практике не реализуется, начнем рассмотрение с колебаний малой амплитуды около состояния равновесия (см. рис. 12, а). Этому варианту можно поставить в соответствие взаимодействие хорошо сформировавшихся научных направлений,

основанных на классическом знании и не несущих в себе «революционных» для современной науки идей. По мере удаления начальных условий от тех, что соответствуют колебаниям вблизи положения равновесия, изменения макропеременных становятся более релаксационными, амплитуда и период колебаний увеличиваются (см. рис.12, б, в). Это может соответствовать тем случаям, когда начальные условия либо слишком велики, либо малы. Действительно, замечательные результаты зачастую получают либо талантливые ученые, работающие за счет собственного энтузиазма в малых группах или индивидуально без каких-либо существенных вложений со стороны (относительно малые начальные условия), либо большие и хорошо финансируемые коллективы, работающие над четко поставленными задачами в рамках некоторого направления (относительно большие начальные условия). И в том, и в другом случаях решение научных проблем скорее всего будет носить импульсный характер, а время между такими импульсами может быть достаточно велико.

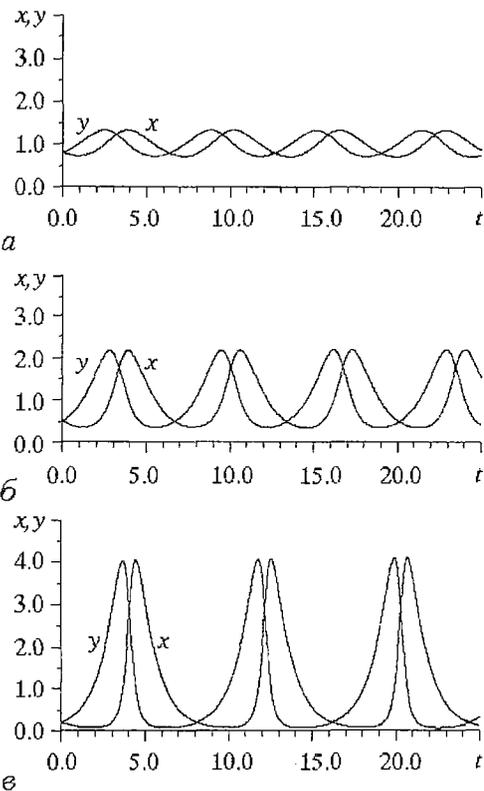


Рис. 12. Зависимости $x(t)$, $y(t)$ для случая V: а – $x_0=y_0=0.8$; б – $x_0=y_0=0.5$; в – $x_0=y_0=0.2$

Заключение

Обратимся к качественной интерпретации полученных результатов.

Ситуация, рассмотренная в разделе 2, типична для случая, когда некоторое научное направление, развиваясь, вынужденно обогащает другое направление с положительной динамикой, тем самым ограничивая свой собственный рост. Это может выразиться в том, что со временем оно либо полностью войдет в состав усиленной им области знания, либо отомрет, как исчерпавшее себя. Если такой результат взаимодействия нежелателен, необходимо внести факторы, изменяющие характер взаимодействия, или сводящие последнее к минимуму.

В условиях конкуренции двух развивающихся направлений результат взаимодействия напрямую зависит от соотношения начальных состояний: только направление с большим научным потенциалом имеет шанс развиваться в таких условиях. Эволюция другого направления неизбежно примет отрицательный характер. Однако, если начальные условия приблизительно одинаковы, показатели обоих направлений могут оставаться почти равными на протяжении интервала времени, который на практике может быть достаточно велик, чтобы одно из направлений исчерпало себя, либо данное взаимодействие разрушилось.

Кооперативное сосуществование двух направлений с изначально отрицательной динамикой может, как оказалось, приводить к их совместному росту, но это произойдет только в том случае, когда начальные условия превышают критические. В научной практике этому можно сопоставить достижения, происходящие на стыке научных направлений.

Если же кооперативное взаимодействие наблюдается для двух направлений, одно из которых развивается, а другое – деградирует, результат будет положительным при любых начальных условиях. Следует отметить только, что если показатели, характеризующие начальные состояния обоих направлений, малы, то позитивный результат взаимодействия будет наблюдаться не сразу, а через конечный интервал времени, который может оказаться критичным по отношению ко времени существования и взаимодействия направлений. В общем же случае данная модель иллюстрирует преимущества взаимного сотрудничества в науке: даже научное направление с изначально отрицательной динамикой может успешно развиваться на фоне прогрессивного направления.

И, наконец, обратимся к последнему из рассмотренных случаев, когда развивающееся направление поддерживает направление с изначально отрицательной динамикой и отрицательным типом влияния на первое. В результате получаем колебательный характер развития обоих направлений, причем колебания научных показателей сдвинуты по фазе друг относительно друга. Следует ожидать, что вероятность практической реализации рассмотренного результата достаточно велика, так как он отражает суть взаимодействия в самом общем смысле: всегда присутствует периодическое перераспределение научного потенциала между взаимодействующими областями и направлениями, что еще раз подчеркивает универсальность аппарата теории колебаний для описания подобных явлений.

Библиографический список

1. *Короновский А.А., Трубецков Д.И.* Нелинейная динамика в действии. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995. 130 с.
2. *Иваницкий Г.Р.* На пути второй интеллектуальной революции // Техника кино и телевидения. 1988. № 5. С.33.
3. *Баутин Н.Н., Леонтович Е.А.* Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1990. 488 с.

Министерство
общего и профессионального
образования РФ

Поступила в редакцию 29.09.97

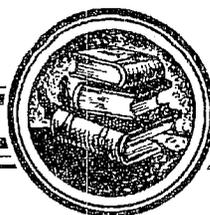
Колледж прикладных наук



Качак Валерий Владимирович – родился в Лисичанске на Украине (1948). Окончил Московский горный институт (1975). Защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук (1978). Работал научным сотрудником горного университета. С 1986 года сотрудник систем ВО СССР и РФ, в настоящее время заместитель начальника управления научно-исследовательских работ. Автор более 50 научных и научно-исследовательских статей. Сфера научных интересов: социологические и экологические проблемы развития науки в системе ВО.



Мчедлова Елена Сумбатовна – окончила Саратовский государственный университет (1993). Кандидат физико-математических наук (1996). Работает научным сотрудником ГосУНЦ «Колледж» Саратовского государственного университета. Область научных интересов – нелинейная динамика распределенных систем, компьютерное моделирование в физике и биологии, методы анализа динамических систем. Автор ряда работ по построению и исследованию моделей структурированных потоков со сверхизлучением, изучению взаимодействий в больших ансамблях связанных автоколебательных систем.



Изв.вузов «ПНЦ», т.5, № 4, 1997

УДК 534.1(075.8)

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ ДЛЯ ГУМАНИТАРИЕВ
Учебное пособие для вузов

Трубецков Д.И.

© Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1997.
392 с. 6 с. илл.
ISBN 5-900641-48-1

Современная наука о колебаниях и волнах представлена в книге своими эффектами и явлениями, встречающимися в медицине, химии, экологии, гидродинамике, электронике, экономике, социальных и других науках. Цель книги – показать, что такие понятия, как колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры позволяют понять единство современной картины мира. В книге также показано как колебательно-волновые идеи проникают в разные науки.

Отличительная черта пособия – большое количество качественных «картинок» эффектов и явлений. Использовано множество примеров из литературных прозаических и поэтических произведений, интересных историй о событиях и людях. Математический аппарат книги прост и предполагает знание школьного курса математики. Широко используется анализ размерности.

Учебное пособие предназначено для студентов-гуманитариев, изучающих курс «Современное естествознание» для направлений: 520000 – гуманитарные и социально-экономические науки, кроме направления 521900 – физическая культура; 540200 – гуманитарные знания; 540300 – социально-экономические знания; 540500 – педагогика; 540600 – искусство; а также для школьников старших классов и для всех, кого интересует современное естествознание и история науки.

Художник и автор (совместно с Козьмой Прутковым) «Плодов раздумий» кандидат физико-математических наук Д.В.Соколов.

Доктор Р.Фейнман в непревзойденных лекциях по физике воспел иерархическое древо познания, на корнях и ветвях которого разрослись разнообразные разновзглядные, разноподходные культуры. Спрашивается – возможно ли в принципе нам – людям – охватить («широкоугольно») все на свете, включая нас самих... Пусть нам выпала счастливая доля удачи, и мы решились увековечить достигнутое, записав его способами, наилучше подходящими для каждого дела, через разноязыкую словесность, матформульность, живописность, музыкальность... Ну, через все–все проникающее сквозь наши органы реагирования (включая загадочные рудиментарные). При этом я почему–то «вижу» не обычное ветвистое дерево, а огромную глубину в многокоординатном пространстве, где чего только ни отложено по осям: масштабы физических параметров (длин, времен, энергий и т.п.), химических, биологических, общественно–этических, исторических, политических параметров и показателей и прочее, прочее, прочее... У каждой искренности, у каждого научного или чувственного достижения есть в этом пространстве свои объемчики – пространственные «островки». А внутри каждого свои правила жизни, свое прошлое, свое настоящее, свои пути и методы. Сохраняя умеренную самостоятельность («суверенность»), они поддерживают как ближние (заметные), так и дальние (убывающие) связи с соседствующими областями. Восприятие каждого островка зависит от углубления (по одной из координат), от масштабов засекаемых подробностей, от наших разрешающих потребностей и способностей. «Вглядываясь» все пристальней и пристальней, мы начинаем различать все новые и новые миры...

М.А.Миллер. Раздумья про раздумья

Теория колебаний объединяет, обобщает различные области физики. Это положение можно пояснить следующим примером. Каждая из областей физики – оптика, механика, акустика – говорит на своем «национальном» языке. Но есть «интернациональный» язык, и это язык теории колебаний. Она вырабатывает свои специфические понятия, свои методы, свой универсальный язык.

Л.И. Мандельштам. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике

Предисловие

У замечательного поэта Александра Кушнера есть такие строки:

В пространстве левом опыт умственный,
Прохладный, дышащий безликостью.

Это – математика, естествознание, техника.

В пространстве правом вещный, чувственный,
С шероховатостью и выпуклостью.

Это – искусство и гуманитарные знания.

И дальше:

Пространство левое, абстрактное,
Стремящееся в неизвестное;
Пространство правое, обратное,
Всегда заполненное, тесное.¹

В 1957 году известный английский писатель Чарльз Сноу (физик по образованию) выдвинул «проблему двух культур» в своем, ставшем широко известным эссе «Две культуры». К середине XX века проблема разрослась настолько, что по мнению ряда авторов возникла угроза разделения единой культуры между гуманитариями и естественниками, которые воспринимают мир по–разному, у которых разные ценности в духовной сфере личности и общества. По А.Кушнеру это значит, что

¹ Цитируется по книге А. Кушнера «Стихотворения». Л.: Худ. лит., 1986. С. 29.

Твои друзья высоколобые
Раззять материю пыгаются.
Люблю потрогать ствол, попробовать
Кору: легко ли отдирается?
.....
Вот и боярыню Морозову
Не сдвинуть в левый, нижний угол.
Художник чувствует, где розвальни,
А где толпу раскинуть кругом.

У нас в стране эта проблема выплеснулась в шумную дискуссию в прессе о «физиках и лириках» в начале 60–х годов нашего столетия. Тогда–то и появились знаменитые строчки Б.Слущкого:

Что–то физики в почете,
Что–то лирики в загоне...

В процессе дискуссии выяснилось, что физики и «толстые» журналы читают (сейчас это сделать не так просто), и поэзию знают, и сами рифмошлетствуют, и шутят... А вот гуманитарии далеко не все знают, почему меняются времена года, почему космический корабль может стать искусственным спутником Земли, с чем связаны фазы Луны, как объяснить воспелые ими белые ночи и т.п.

Гуманитариям это почему–то прощалось. Физики ходили в героях... Правда, уже в 1975 году Д.Сухарев в стихотворении «Рыжий остров» писал:

Физики запели Слущкого,
Это достоверная история.
Я свидетель: тихо слушала
Слущкого аудитория
.....
Это что ж – разладились куранты?
С физики побилась мишура?
В лирику подались аспиранты,
Кандидаты и профессора.
Термоядерщики и акустики,
Что они хватаются за кустики,
Всемогущий разум им не мил?
Или дело в том, что муза музыки
Забегала в двери вуза физики,
Чтоб найти защиту от громил?
.....
Физики пооблиняли перьями,
Серые для них настали дни.
Все же что–то делают они.
Слущкого –
они запели первыми.

Да, «физики пооблиняли перьями»: молодые люди выбирают гуманитарные науки, велика роль последних в прогнозировании и принятии решений; гуманитарий нередко выступает в роли властителя дум, эксперта, пророка. Масштаб этих процессов, их временное развитие особенно заметны в России, где вместе со старым строем рухнула и старая социальная картина мира. Новая создается под сильным влиянием современной естественно–научной картины мира, в которой главным являются новые понятия – сложность, нелинейность, непредсказуемость. Поэтому не случайно, что новое поколение гуманитариев хочет понимать окружающий мир и объяснять его. Они хотят не только воспевать те же белые ночи, но и понимать, почему они бывают, почему их нет в Москве, но они так чудесны в Санкт–Петербурге...

У томского физика и библиографа Бориса Николаевича Пойзнера есть небольшая книжечка с длинным и необгчным названием «Vademecum студента, идущего в точную науку. или о книгах, понятиях и проблемах, которые ему стоило бы знать». Такая книга для Б.Н. Пойзнера не случайна, поскольку, наряду с физическими публикациями, у него есть статьи и по ряду

гуманитарных проблем, он инициатор издания и редактор библиографических указателей, посвященных научному творчеству, литературе и философии русской эмиграции, университетскому образованию, синергетике, он член комиссии по творческому наследию Густава Шпета, председатель Вольного Гуманитарного Семинара Томска. (Это штришок к дискуссии о «физиках и лириках»). В названии книги латинское слово. Что оно означает? Ответим цитатой из упомянутой книги. «Приглашение, звучащее по-латыни *vademecum* – иди со мной – выбрано для заглавия как наиболее точное по смыслу. В сочинениях Гоголя или, скажем, Тургенева не так уж редко встречаем упоминание о вадемекуме, когда речь заходит о карманном справочнике, путеводителе, проводнике, спутнике. Уверен, что того, кто вспомнил это слово, оно не будет раздражать. А прочитавшего его впервые оно должно привлечь широтой значений и, следовательно, возможностью освежить им обыденную речь».

Предлагаемая книга тоже вадемекуму читателя по науке о колебаниях и волнах.

Настоящее учебное пособие соответствует учебной дисциплине «современное естествознание» для студентов гуманитарных направлений и специальностей и в определенной степени соответствует разделу «III. Эволюционно-синергетическая парадигма: от целостного естествознания к целостной культуре» примерной программы дисциплины «Концепции современного естествознания», разработанной в 1995 году Государственным комитетом Российской Федерации по высшему образованию.

Цель пособия – показать единство современного естествознания с позиций науки о колебаниях и волнах в ее сегодняшней интерпретации. Ключевые слова для всей книги: колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры, т.е. понятия, лежащие в основе синергетической парадигмы. Студент должен понять, что в предлагаемой концепции (в России ее возникновение связано со школой Л.И. Мандельштама и его учеников) в первую очередь интересуются общими свойствами колебательных и волновых процессов, а не деталями поведения системы, связанными с проявлениями ее конкретной природы (физической, биологической, социальной и т.п.). Основываясь на анализе моделей, наука о колебаниях и волнах (в широком понимании, включающем хаос и структуры) позволяет человеку построить картину современного мира и понять свое место в нем.

Книга, по существу, состоит из трех частей.

Главы 1–6 посвящены линейным колебаниям и волнам, понимание которых необходимо в естествознании. В главах 7–9 дано введение в современную нелинейную динамику. Наконец, глава 10 – попытка ответить на вопрос: «Как идеи нелинейной динамики проникают в разные науки?» Математический аппарат книги прост: достаточно знать курс школьной математики. Широко используется анализ размерности. Напомню, что современная наука о методике преподавания считает использование этого аппарата основным элементом гуманизации физического образования. Впрочем, один из крупнейших наших математиков – академик А.А. Марков как-то обронил фразу: «Математика, в сущности, наука гуманитарная, потому что она изучает то, что человек напридумывал». Заметим, что Ричард Фейнман – один из замечательных физиков-теоретиков всех времен – еще «круче» высказывался о математике: «Математика, с нашей точки зрения, не наука в том смысле, что она не относится к естественным наукам. Ведь мерило ее справедливости отнюдь не опыт»². Правда, он продолжал так: «Кстати, не все то, что не наука, уже обязательно плохо. Любовь, например, тоже не наука. Словом, когда какую-то вещь называют не наукой, это не значит, что с нею что-то неладно: просто не наука она, и все».

Книга написана разговорным языком: почти каждую главу можно рассматривать как определенную лекцию. Приводится большое количество

² Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 1. М.: Мир, 1965. С. 55.

примеров из литературных поэтических и прозаических произведений. Изложение ведется на историческом фоне, даются словесные портреты ученых. Большая часть пособия читалась в качестве лекций студентам философского отделения и преподавателям Саратовского университета, а также студентам и преподавателям Поволжской академии государственной службы. В третью часть книги вошли материалы соросовской лекции автора соросовским учителям, ряда лекций для учителей и школьников области, для студентов младших курсов и книги лекций, написанной совместно с А.А. Короновским «Нелинейная динамика в действии. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки» (Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1995. 130 с.). «Линейная» часть предлагаемого учебного пособия в известной степени соответствует книге автора «Колебания, волны, электроны. Часть I. Линейные системы» (Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1993. 226 с.) Курс, основанный на этой книге, читался в течение ряда лет школьникам в лицее Колледжа прикладных наук Саратовского университета и студентам-физикам первого курса как часть «Введения в специальность».

Автор надеется, что, кроме студентов-гуманитариев, для которых книга предназначена, она будет полезна для всех, кто интересуется современной наукой о колебаниях и волнах, историей науки, характером работы исследователя. Книга доступна старшеклассникам и студентам разных специальностей, для которых важно понимание колебательных и волновых процессов, например, биологам, химикам, экологам. Учитель, по-видимому, тоже извлечет пользу из книги, поскольку идея о колебательно-волновой общности явлений самой различной природы слабо отражена в школьных учебниках. Наконец, хочется верить, что в книгу заглянут и гуманитарии-профессионалы.

Введение

В нашей стране идет бурный, чреватый большими опасностями, процесс дестабилизации: старые общественные структуры рушатся, а новые находятся лишь в стадии становления...

Разобраться в состоянии человека и общества, найти выход из тупиков и трудностей настоящего и пути к созданию фундамента будущего нам помогает молодая наука – синергетика. Она обладает экспериментально проверенной научной методологией и мощным математическим аппаратом, пригодным для компьютерной обработки, и изучает сверхсложные, комплексные системы, в частности, такие как человек и общество.

Ч.Т. Айтматов и В.Д. Поремский. Из обращения к участникам Московского синергетического форума «Устойчивое развитие в изменяющемся мире» (27–31 января 1996 года).

Совсем не легко дать определение того, что составляет предмет теории колебаний... Было бы бесплодным педантизмом стараться «точно» определить, какими именно процессами занимается теория колебаний. Важно не это. Важно выделить руководящие идеи, основные общие закономерности. В теории колебаний эти закономерности очень специфичны, очень своеобразны, и их нужно не просто «знать», а они должны войти в плоть и кровь.

Л.И. Мандельштам. Лекции по теории колебаний.

Каждый человек, начиная с детства, хочет понять окружающий его мир, а позднее свое место в нем. Увы, не всегда это удастся. Причем, как показывают исследования, мешает этому иногда система образования, которая часто отбивает охоту познавать мир. Нередко это связано с тем, что изучение отдельных предметов никак не увязывается друг с другом. Откуда тогда взяться тому, что называют картиной мира? Да и одна ли она? Пожалуй, можно говорить, по крайней мере, о трех полотнах:

естественно-научной картине мира,
социальной картине мира и
религиозной картине мира.

Если использовать для современной картины мира образ громадной фрески, которую на протяжении веков рисуют ученые – художники, то три картины будут принадлежать художникам разных школ¹. И если первая, как правило, не зависит от того, в какой стране вы живете, то две других зависят от этого. Впрочем, они зависят часто и друг от друга.

До последнего времени в нашей стране считалось, что существуют неизблемые исторические закономерности, которые предопределяют ход истории в заранее заданном направлении к светлому будущему: История уподоблялась эскалатору, движущемуся вверх к сияющим вершинам, а политике не оставалось ничего, как выполнять «предначертания исторического разума»². Финал спектакля все равно известен, но истории хочется разыграть его как можно более интересно на фоне политической борьбы сил света и тьмы. Современное естествознание, а внутри его нелинейная динамика или синергетика, уже давно ушли от подобных лапласовских представлений, открыв сложность, нелинейность, непредсказуемость. Эти открытия находят применение и в социальной картине мира, так что два первых полотна могут превратиться в одно.

Вернемся к образу фрески, процесс обновления которой идет непрерывно. Отдельные места переписываются, какие-то стираются, какие-то остаются незакрашенными... Манера выполнения фрески во многом определяется временем, из которого мы на нее смотрим. Механическую картину мира сменила электромагнитная, наш век – век квантовой теории и теории относительности, но уже настойчиво стучит в дверь нелинейная динамика. Иногда ее называют синергетикой³, иногда – наукой о сложности, иногда – неравновесной термодинамикой. Пожалуй, речь идет не просто о новой науке, а о новом взгляде на мир, позволяющем объединить естественно-научную и социальную картины мира (некоторые считают, что синергетике по силам включить в себя и религиозную картину мира).

Что же делает с любой картиной мира средняя школа? Она вырезает отдельные небольшие картины в разных местах фрески, заключает их в рамки, а потом развешивает согласно школьному расписанию. Поэтому трудно понять, как отдельные науки связаны друг с другом.

А что делает высшая школа? В высшем учебном заведении из фрески вырезают практически в одном месте большую картину. И вот в течение пяти лет студенты со своими преподавателями ее разглядывают. Хорошо, если преподаватели могут заглянуть за пределы картины и научить этому студентов, но все равно увиденное пространство фрески остается ограниченным. Как же охватить картину целиком? Нужно по-иному смотреть на нее: нужно видеть общее в разных местах фрески. Такой новый взгляд, как уже упоминалось, нелинейная динамика или синергетика. Мы говорим о нелинейной динамике или синергетике, но правильнее и шире говорить о теории колебаний и волн – области науки, исследующей колебательные и волновые явления в системах самой различной природы. Для теории колебаний и волн в первую очередь важны общие свойства колебательных и волновых процессов, а не детали поведения системы, связанные с проявлением ее конкретной физической, химической, биологической и другой природы. Эти общие свойства в реальных системах устанавливаются на основе анализа немногочисленных эталонных моделей, таких, гармонический

¹ М.А. Миллер видит не фреску, а многомерную скульптуру-глыбу, включив в нее все, что составляет познание (см. эпиграф к книге).

² Правда, в одной из популярных песенок последних лет утверждалось: «Мы просто не на тот попали эскалатор...»

³ Неологизм «синергетика» происходит от греческого «синергия» содействие, сотрудничество. Ввел его немецкий физик Герман Хакен, акцентируя внимание на согласованности взаимодействия частей при образовании структуры как единого целого.

осциллятор, линейный осциллятор, нелинейный осциллятор, на основе модельных уравнений для нелинейных волн и нелинейных структур и т.п.

Ключевые понятия здесь – колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры. Однако, можно обойтись только понятиями колебаний и волн, превратив остальные в прилагательные: неустойчивые колебания и волны, нелинейные колебания и волны, хаотические колебания и волны, автоволны (разновидность структур) и т.п. Именно поэтому в название книги вынесены только два понятия – колебания и волны.

Попробуем предварительно (конечно, пока поверхностно) разобраться в понятиях, перечисленных выше (мы возвратимся к ним в тексте книги).⁴ Итак, колебания. Начнем с малых, так называемых, линейных колебаний, рассмотрим простейший пример – маятник. Пока ограничимся словесным описанием разных маятников, вернувшись к их строгому описанию в главе 2. Если не учитывать трение маятника о воздух (диссипативные процессы), то его малое смещение от положения равновесия удовлетворяет так называемому уравнению гармонического осциллятора, а на фазовой плоскости (вертикальная ось – скорость маятника, горизонтальная – его смещение) получаются замкнутые траектории – вложенные друг в друга эллипсы. Замкнутость траекторий отражает основное свойство колебаний: туда–сюда, туда–сюда – возвращение, периодичность. Реально колебания затухают и маятник в конце концов остановится. Уравнение для смещения такого маятника – уравнение линейного осциллятора, а на фазовой плоскости будем иметь траектории в виде скручивающихся к состоянию равновесия спиралей.

Первым, кто понял, что упомянутые уравнения описывают не только механические колебания, был Релей. В свою книгу «Теория звука» он ввел раздел об электрических колебаниях применительно к колебательному контуру. Уравнения остаются теми же, только частота и затухание выражаются через разные параметры, характеризующие конкретную систему.

Рассмотрим теперь гипотетическую химическую реакцию – реакцию Лотки. Предположим, что в избыточном состоянии имеется некоторое вещество A , которое с определенной скоростью переходит в вещество X . В «избыточном состоянии» означает, что количество вещества A практически не изменяется. Вещество X превращается со скоростью k_1 в вещество Y . Чем больше вещества Y , тем эффективнее превращается в него X . Наконец, вещество Y со скоростью k_2 превращается в вещество B .

Если написать соответствующие уравнения, то в них войдут произведения концентраций, что отражает основной закон химической кинетики: чтобы взаимодействовать, надо, по крайней мере, встретиться. Кстати, такая же ситуация имеет место в экологии, где «взаимодействуют» хищник и жертва, и где ясно, чем обычно заканчивается эта встреча.

Если рассмотреть случай, в котором вещество B остается в неизменном количестве, то можно найти равновесные (не зависящие от времени) значения концентраций вещества X и Y . Предположим, что в систему внесено возмущение $x(t)$ и $y(t)$, малое по сравнению с X и Y .

В результате простых математических преобразований мы приходим для возмущений к уравнению маятника с затуханием – уравнению линейного осциллятора. Это значит, что существует периодическая химическая реакция. Наиболее известный пример – знаменитая теперь реакция Белоусова – Жаботинского – реакция окисления малоновой кислоты $KBrO_2$ и $Ce(SO_4)_2$. Раствор периодически меняет цвет. Правда, в этом случае процесс сложнее: имеют место незатухающие колебания, автоколебания, которые идут до тех пор, пока есть реагенты.

⁴ Во вводной главе практически не будем использовать математические уравнения, иногда лишь называя их. Впрочем, неважно сейчас и как называется уравнение. Важно будет, что оно одно и то же для разных процессов (для разных процессов одна модель). Необходимый математический аппарат будет излагаться в последующих лекциях.

Обратимся теперь к экологии, рассмотрим модель хищник–жертва, которую предложил Вольтерра. Соответствующие уравнения для численностей популяции жертвы (N_1) и хищника (N_2) похожи на уравнения взаимодействующих химических веществ. Результат встречи – уменьшение числа жертв и увеличение числа хищников. Если провести такой же анализ, как для модели химической реакции, т.е. найти равновесные состояния популяций, дать малые возмущения численности, то приходим к уравнению гармонического осциллятора – маятника без затухания. Кстати сказать, подобная модель проверялась экспериментально по результатам охоты в Канаде на лис и зайцев (по числу шкур). Получилась периодическая зависимость N_1 и N_2 от времени, хорошо согласующаяся с результатами решения соответствующих уравнений. Таким образом, четыре модели малых колебаний в системах разной природы совпадают: по–существу, модель одна – линейный осциллятор. Так что в разных, даже далеких, местах нашей фрески мы нашли общее! Математическое подтверждение сказанному будет дано в главе 2. Там же мы приведем и соответствующие картинки.

Большинство процессов, происходящих в окружающем нас мире, неустойчиво. Неустойчивость – нарастание во времени какой–либо величины (не обязательно физической), характеризующей данный процесс. Неустойчивость бывает разная – колебательная и волновая, по отношению к малым и большим возмущениям состояния равновесия, к возмущениям движения по траектории, неустойчивость, возникающая при изменении начальных условий... Широко известный, но не ставший от этого хуже, пример последней представляет собой ситуация из фантастического рассказа Брэдли «И грянул гром». Вот сюжет этого рассказа. Некая фирма организует сафари в прошлом. Там проложена тропка, с которой нельзя сходить, чтобы не изменить условий в прошлом, которые являются начальными для настоящего. Однако, один из охотников по трусости сходит с тропы и нечаянно раздавливает маленькую желтую бабочку. Начальные условия изменились... Экспедиция возвращается в настоящее и ее члены видят, что изменился алфавит, избран другой президент, более того, у людей изменился цвет лица, разрез глаз, т.е. произошли изменения на генетическом уровне. Малое изменение начальных условий (раздавлена бабочка) привело к серьезным изменениям за конечное время.

Колебательный процесс возникает в системе, когда наряду с силой, выводящей ее из состояния равновесия, есть и восстанавливающая (возвращающая) сила. Что будет, если восстанавливающая сила действует на систему с некоторым постоянным запаздыванием? Возникает неустойчивость. На фазовой плоскости будем иметь спирали, раскручивающиеся от начала координат. Причем, если такая неустойчивость, связанная с эффектами запаздывания, вредна для корабельных стабилизирующих механизмов, то она полезна при разработке электронных генераторов.

Рассмотрим теперь необычную модель – модель гонки вооружений в двух враждующих странах, которую предложил математик Ричардсон.

Первая страна («желтые») вооружается, опасаясь потенциальной угрозы войны с соседней враждебной страной («зеленые»). Разумеется, «зеленые», зная о росте затрат на вооружение у «желтых», также увеличивают расходы на вооружение.

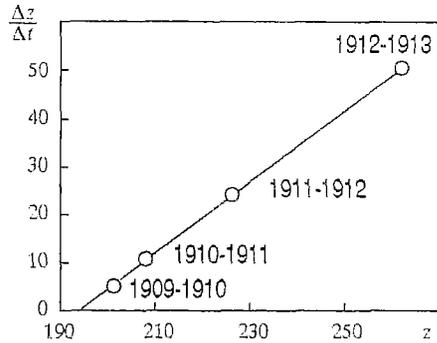
Предположим, что $x(t)$ расходы на вооружение у «желтых» в момент $t \geq 0$, а $y(t)$ – «зеленых»; причем, каждая страна изменяет скорость роста (сокращения) вооружений пропорционально уровню затрат другой, и чем больше текущий уровень затрат на оборону, тем меньше скорость его роста. Тогда простейшая модель имеет вид:

$$dx/dt = ay - mx + r, \quad dy/dt = bx - ny + s,$$

где a, m, b, n – положительные постоянные. В уравнения включены также постоянные величины r и s . Если r и $s > 0$, то это значит, что государство, руководствуясь своими державными притязаниями и враждебностью к другим государствам, наращивает вооружение, даже если другие страны не угрожают

Гонка вооружений по Ричардсону

Страна и другие данные для всех стран – участниц	1909	1910	1911	1912	1913
Франция	48.6	50.9	57.1	63.2	74.7
Россия	66.7	68.5	70.7	81.8	92.7
Германия	63.1	62.0	62.0	68.2	95.4
Австро–Венгрия	20.8	23.4	23.4	25.5	26.9
Сумма	199.2	204.8	214.9	238.7	289.0
Рост	5.6	10.1	23.8	50.3	
Среднее за два года	202.0	209.8	226.8	263.8	



существованию данного государства. Если r и $s < 0$, то их можно назвать слагаемыми доброй воли. Анализ показывает, что возможны состояния равновесия, возможно полное взаимное разоружение и возможна неустойчивость – неограниченная эскалация гонки вооружений.

Предположим для простоты, что $a=b$, $m=n$, и сложим выписанные ранее уравнения. Получим одно уравнение $dz/dt=kz+f$, где $x+y=z$, $a-m=k$, $r+s=f$. Решение этого уравнения имеет вид: $z(t)=(z_0+fk)e^{kt}-fk/k$. В последней формуле z – суммарные затраты на вооружение двух блоков, $z_0=x_0+y_0$ – начальное состояние. Легко видеть, что когда $a < m$ ($k < 0$), первое слагаемое в $z(t)$ стремится к нулю, а $z \rightarrow (-fk/k)$. Если $a > m$, то $k > 0$, и $z(t)$ при $t \rightarrow \infty$ неограниченно нарастает.

Для проверки своей весьма упрощенной модели Ричардсон использовал данные о гонке вооружений перед первой мировой войной в интервале от 1909 по 1913 год. Он изучал противоборство двух блоков: x – Франция и Россия; y – Германия и Австро–Венгрия (расходы Англии, Италии и Турции не учитывались). Военные бюджеты четырех стран приведены в таблице (все затраты даны в миллионах фунтов стерлингов). Там же приведена зависимость роста расходов на вооружение $\Delta z/\Delta t$ от суммарного военного бюджета стран обоих блоков. Четыре выделенных точки соответствуют данным из таблицы. Все они лежат на одной прямой, что хорошо соответствует уравнению для dz/dt .

Другой американский математик Томас Саати, исследуя модель Ричардсона, показал, что в принципе всегда можно прийти к условию устойчивого равновесия, которое будет означать обнищание одной или обеих сторон. Интересно, что обобщение модели на n стран ($n > 2$) неизбежно приводит к неустойчивости – к войне.

Волны... Конечно, сразу на память приходят волны на воде. Помните, у Б.Пастернака:

Передо мною волны моря.
Их много. Им немыслим счет.
Их тьма. Они шумят в мшире.
Прибой, как вафли их печет.

Их действительно тьма. Это всем известные волны на воде, электромагнитные волны, волны жизни, введенные в науку Тимофеевым–Рессовским и Четвериковым, ритмы искусства, волны эпидемий, волны пожара, волны экологических нашествий, волны слухов... После такого перечня возникает вопрос: «Что называется волной?» В учебнике физики для 11 класса средней школы приводится такое определение: «Волной называют колебания, распространяющиеся в пространстве с течением времени... При распространении волны происходит перемещение состояния колеблющегося вещества, но не перенос вещества...» Определение хорошее, но как быть, например, с волнами слухов? Можно использовать более общее определение: перемещение в пространстве изменения состояния называется волной. С таким определением мы можем заглянуть в разные уголки нашей фрески.

Задолго до нас подобное сделал Ф.Тютчев, у которого есть замечательные строки:

Дума за думой, волна за волной –
Два проявленья стихии одной:
В сердце ли тесном, в безбрежном ли море,
Здесь – в заключении, там на просторе, –
Тот же все вечный прибой и отбой,
Тот же все призрак тревожно–пустой.

Поэт с удивительной точностью объединил морские волны, ритмы мозга и сердца.

До сих пор мы говорили о линейных колебаниях, о неустойчивости к малым возмущениям. Лишь разговор о волнах был более общим. Один из классиков современной науки о колебаниях академик А.А. Андронов, говоря о линейном мире, мире, где господствует принцип суперпозиции, восклицал: «Это дико частный случай!» Но наш мир нелинеен, наш мир – мир нелинейных систем.

Свойства нелинейных систем зависят от их состояния. Математическое поведение нелинейных систем описывается нелинейными уравнениями, содержащими изучаемые величины в степенях больше единицы или коэффициенты, зависящие от этих величин. По И.В. Пригожину – одному из создателей науки о сложном – в дифференциальном уравнении, описывающем эволюцию системы, меняется некоторый управляющий параметр. При определенном значении параметра возникают, по крайней мере, два пути эволюции системы. Говорят, что имеет место бифуркация⁵.

Наука о сложном поведении нелинейных систем, эволюции их во времени и пространстве, о колебаниях и волнах в них, о развитии разного рода неустойчивостей и их стабилизации, о возникновении хаоса и рождении структур в них и называется нелинейной динамикой (иногда, как уже упоминалось, говорят о синергетике, о науке о сложности и т.п.). Более обще, это – нелинейная теория колебаний и волн.

Нелинейные эффекты описываются нелинейными функциями, позволяющими описывать колебания, резонансные выбросы, насыщение и т.п. Линейные же функции «умеют» либо расти, либо убывать: одинаковому приращению аргумента линейной функции соответствует одинаковое приращение самой функции. Нелинейная функция ведет себя иначе: одному же приращению аргумента может соответствовать разное поведение функции. Отсюда и различие двух миров – линейного и нелинейного. Что значит нелинейность для естествознания, очень образно описал известный специалист в области математической физики, автор и переводчик многих научных и научно-популярных книг Ю.А. Данилов. «В какой бы области естествознания не возникала нелинейность явлений, она глубоко «функциональна». В физике нелинейность –

⁵ Бифуркация от латинского *bi* – двойной и *furca* – развилка, т.е. означает развилку или *раздвоение нидвоог*. Однако, в науке о сложных системах этот термин означает переход в новый динамический режим, в другой мир. Читателю полезно прочитать книгу Эрвина Ласло «Век бифуркации. Постигание изменяющегося мира», опубликованную в журнале «Путь», 1995, N7, с. 3–129.

это учет различного рода взаимодействий, обратных влияний и тонких эффектов, ускользающих от более грубых сетей линейной теории. В химии нелинейность отражает обратные связи в сокровеннейших механизмах реакций. В биологии нелинейность исполнена высокого эволюционного смысла: только сильная нелинейность позволяет биологическим системам «...услышать шорох подползающей змеи и не ослепнуть при вспышке близкой молнии. Те биологические системы, которые не смогли охватить диапазон жизненно значимых воздействий среды, попросту вымерли, не выдержав борьбы за существование. На их могилах можно было бы написать: «Они были слишком линейными для этого мира» (А.И.Молчанов)».

Понимание того, что мир нелинеен, привело к разрушению многих традиционных, казалось бы незыблемых, представлений⁶. Мы коснемся здесь лишь понятий о хаосе и структурах.

Говоря о бифуркациях, мы уже упоминали, что для сложных систем существует несколько альтернативных путей развития. Как писал А.Купшнер:

Не отодвинуть нам Линкольна или Гранта,
Но будущее многовариантно.
Предсказывать его, где взять талант.
На что мой друг сказал мне очень круто,
Что Клио выбирает почему-то
Из многих – наихудший вариант.

И если раньше считалось (мы уже писали об этом), что существуют исторические закономерности, которые определяют ход истории только в одном наперед известном направлении, то стало ясно – исторический процесс включает альтернативы и варианты, представляющиеся в виде политических платформ.

И все же главным открытием нелинейной динамики было открытие детерминированного хаоса (не правда ли, существительное и определяющее его прилагательное, казалось бы, противоречат друг другу). За точкой бифуркации система может демонстрировать хаотическое поведение, подчиняющееся вполне определенным законам. Согласно Б.Слуцкому

В этом хаосе есть закон,
Есть порядок в этом борделе.
В самом деле, на самом деле
Он действительно вам знаком.

Самое удивительное в том, что при определенных условиях движение очень простых систем становится не только похожим, но и неотличимым от случайного. Как объяснить это? Объяснений не одно, остановимся на так называемом алгоритмическом подходе в теории динамических систем. Перенесемся в фазовое пространство – обычное пространство координат и пространство скоростей (или импульсов) системы. Фазовое пространство непрерывно, поэтому начальные условия движения системы задаются несколькими иррациональными числами – бесконечной непериодической последовательностью цифр. Таким образом, почти любая точка фазового пространства уже содержит в себе случайность⁷. Если теперь мы поместим в фазовое пространство динамическую систему (даже очень простую), то ее роль состоит в превращении случайности начальных условий в макроскопическую случайность движения системы. При существовании в системе, так называемой, локальной неустойчивости, когда близкие траектории расходятся экспоненциально, на каком-то этапе движение определяется деталями начальных условий и сильно зависит от них. Предположим, что фазовое пространство ограничено. Тогда, рано или поздно, разбежавшиеся траектории вернуться друг к другу. И так будет много раз. Происходит как бы перемешивание фазового пространства, проявляющееся в хаотическом движении фазовых траекторий.

⁶ Об этом много и интересно написано в статье Е.Н. Князевой и С.П. Курдюмова «Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным», Вопросы философии, 1992, № 12, с. 3–20.

⁷ Слово «почти» отмечает существование рациональных чисел, но таких неслучайных точек в фазовом пространстве очень мало.

Исследования последних лет позволили американскому физика Форду шуточно утверждать: «Нехаотические системы столь же типичны, как курица с зубами».

Образование пространственного порядка из беспорядка, сложных пространственных структур в однородной среде и т.п. связывают с явлениями самоорганизации. Что же такое самоорганизация? Будем называть самоорганизацией установление в диссипативной неравновесной среде пространственных структур (они могут эволюционировать во времени), параметры которых определяются свойствами самой среды и слабо зависят от источника неравновесности (энергии, массы и т.д.), начального состояния среды и условий на границах.

Классический пример самоорганизации – появление в подогреваемом снизу слое жидкости ячеек Бенара. Это – структура из шестигранных призматических ячеек, которые возникают из-за «борьбы» неустойчивости и диссипации в среде. В результате конвекции возникает неустойчивость, приводящая к нарастанию возмущений поля скорости и температуры в некотором интервале пространственных масштабов. Затем возникает конкуренция масштабов, что возможно только при наличии диссипации. В результате конкуренции выживает решетка лишь определенного масштаба. Шестигранники образуются в результате синхронизации фаз решеток с разной пространственной ориентацией.

Примеров образования структур много, но все же чрезвычайно интерес к ним связан с проблемами биологии. Вот еще один удивительный пример самоорганизации в ансамбле амебоподобных клеток. Такие клетки примерно один раз в пять минут выделяют гормон цАМФ. Если пищи достаточно, то клетки живут независимо и на этот гормон не откликаются. При недостатке пищи одна из клеток начинает ускоренно выделять гормон цАМФ и синхронизует его выделение у соседей. После возбуждения гормоном клетка начинает двигаться в сторону возбудителя. Возникают два встречных движения – расходящиеся волны гормона и сходящееся движение клеток. Клетки агрегируются, появляются споры, которые выживают в жестких условиях. Явления самоорганизации даже в рамках данного выше определения весьма разнообразны: волны горения, волны популяций, импульсы в нервных волокнах, спиральные волны (ревербераторы) в сердечной ткани, волны депрессии в тканях мозга и сетчатке глаза и т.д. Но все это разнообразие, как и в случае простых колебаний и волн, может быть описано в рамках небольшого числа единых моделей.

Мы попытались предварительно определить ключевые понятия теории колебаний и волн и нелинейной динамики как части этой теории. Надеемся, что читатель заметил, как эти понятия входят в разные естественные науки, говорящие, по Мандельштаму, на своем национальном языке. Поэтому, следуя опять же Мандельштаму, можем утверждать, что теория колебаний и волн – интернациональный язык науки, более того, идея колебательно-волновой общности кажущихся непохожими явлений самой различной природы составляет сущность современного научного мировоззрения. Как в одной книге одновременно изложить и классические результаты (в частности, линейную теорию колебаний и волн) и познакомить читателя с современной теорией (основами нелинейной динамики)? Попытаемся следовать Л.И. Мандельштаму, который писал следующее. «Обычно, излагая тот или иной предмет, мы стараемся дать конкретный материал, дать соответствующий математический аппарат, научить пользоваться этим аппаратом. С другой стороны, в оптике нас интересуют специфические оптические вопросы, в акустике – акустические и т.д. В результате получается разрозненность, за деревьями не видно леса. Это, конечно, естественно. Художник-специалист изучает на картине, как надо класть краски, как работать кистью и т.п. Но, для того чтобы получить общее впечатление, надо отойти от картины. Детали при этом теряются, но зато приобретается нечто другое. Мы видим тогда, как входят понятия в мировоззрение физика»⁸.

⁸ Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972. С. 402.

По-видимому, для гуманитария не менее важно овладеть понятиями современной картины мира, чем для физика. Один из выдающихся людей нашего времени Ю.М. Лотман, наверное, первым из гуманитариев грамотно использовал термин «бифуркация» в своей работе «Клио на распутье»⁹, ссылаясь на определение И.Р. Пригожина¹⁰. Он пишет, что в истории «...противоборствуют механизмы возрастания энтропии и, следовательно, растущего ограничения выбора, сведения альтернативных ситуаций к информационному нулю, с одной стороны. – и постоянного увеличения «перекрестков», альтернатив, моментов выбора пути, моментов, когда нельзя предсказать дальнейшее развитие – с другой. Здесь вступают в действие интеллект и личность человека, осуществляющего выбор. Это «минуты роковые», по Тютчеву, или моменты бифуркации, по Пригожину... История – не однолинейный процесс, а многофакторный поток. Когда достигается точка бифуркации, движение как бы останавливается в раздумье над выбором пути... В этот момент в историческом процессе в действие вступают интеллектуальные способности человека, дающие ему возможность осуществлять выбор»¹¹. Уже упоминавшаяся статья Эрвина Ласло «Век бифуркации» появится только в 1991 году (а на русском языке в 1995).

Что ж, воспользуемся советом Л.И. Мандельштама и отойдем от картины, чтобы получить общее впечатление, а иногда будем подходить к ней, чтобы изучить детали.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	9
Глава 1. Анализ размерности, оценки, два маятника	18

Основные положения теории размерности и подобия. Знаменитые задачи П.Л. Катицы и его задача № 24 об определении периода колебаний математического маятника. Задача о колебаниях маятника для астрофизики – проблема пульсации звезд. Еще одна оценка периода колебаний математического маятника и другие задачи. Правило Уилера

Глава 2. Линейные колебания	36
--	----

Галилео Галилей и понятие изохронности колебаний. Решение Гюйгенса задачи о колебаниях маятника. Джон Уильям Рэлей (Стретт) и его «Теория звука». Еще примеры маятников (осцилляторов): груз на пружине, акустический резонатор Гельмгольца, колебательный контур с затуханием, объемный резонатор для электронных приборов и микроволновой печи и ... четыре задачи. Периодическая химическая реакция – «химический маятник». Линейные колебания в популяционной модели «хищник – жертва» – «экологический маятник». «Экономический маятник» – линейные колебания в простой модели экономики. Линейный осциллятор – основная модель линейной теории колебаний. Свойства линейных систем. Квантовый осциллятор. Что такое динамическая система? Понятие о фазовом пространстве. Фазовый портрет линейного осциллятора. Атрактор и репеллер

⁹ Лотман Ю.М.. Избранные статьи. Том I. Таллинн: «Александра». 1992. С.469.

¹⁰ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: «Прогресс», 1986. С.236–237.

¹¹ Обратите внимание на полную корреляцию сказанного с приведенным выше четверостишием А. Кушнера.

Глава 3. Резонанс 66

Резонанс в гармоническом осцилляторе. Аналитическое решение, демонстрирующее неограниченный рост амплитуды в гармоническом осцилляторе при резонансном внешнем воздействии, – «месть идеализации». Что дает введение затухания? Шагают солдаты по мостам и книжным страницам. Линейный осциллятор под действием периодической силы. Резонатор Гельмгольца и... домовая, колдун, глиняные или бронзовые сосуды в античном театре. Тяжелый колокол. «Поющий камень». Осциллятор атмосфера Земли и другие глобальные резонансы. 100 – долларова идея братьев Варриан и Хансена – пример использования резонанса в микроволновой электронике и... просто интересная история

Глава 4. Связанные колебания 90

Свободные колебания двух связанных осцилляторов. Две одинаковые массы, подвешенные на двух идентичных пружинах и соединенные третьей пружиной. Нормальные координаты и нормальные частоты. Биения. Парциальные частоты. Связанность. Возбуждение двух связанных осцилляторов внешней силой. Теорема взаимности и успокоители колебаний

Глава 5. Голубое небо и Нобелевская премия по физике за 1930 год . . . 104

Леонард Эйлер: «Я покажу Вашему высочеству, что причину синевы неба должно искать...» Формула Рэлея – опять анализ размерностей. И вновь линейный осциллятор. Л.И. Мандельштам, М. Смолуховский, А. Эйнштейн: «Объяснение Рэлея неправильно, но формула верна». Л.И. Мандельштам: «Оказалось, что существует тесная связь между теорией теплоемкости и теорией рассеяния света». Раман в гостях у Мандельштама: «Я счастлив, что нахожусь в лаборатории, где открыт раман-эффект»

Глава 6. Линейные волны 126

Струна, нагруженная одинаковыми телами, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга. Волновое уравнение. Что же такое волна? Несколько определений. Об истории коронации одной русской царицы. Еще определения. Что можно сказать о свойствах волны? Волны на воде – опять анализ размерностей. Фазовая скорость. М.А.Миллер: «Все движения суть волны, но некоторые движения «волновее» других». Природа дисперсии. Групповая скорость. Пространственный резонанс. Два примера – два открытия архитектора в микроволновой электронике. Рудольф Компфнер: «...так и быть, – пусть поле движется вместе с электронами» (пример первый). Карсинотрон – «чужие следы на песке» (пример второй)

Глава 7. Нелинейные колебания 178

«Нелинейность» – эссе Ю.А.Данилова, лучше которого не написать. Нелинейный осциллятор – основная модель нелинейной теории колебаний. Чуть-чуть о нелинейном резонансе и динамической стохастичности. Автоколебания. Христиан Гюйгенс и часы. Ван-дер-Поль, Андронов и ламповый генератор. Магнетрон спасает Великобританию от гитлеровской авиации (почти по Чарльзу Сноу). Мазеры и гиротрон. Солдаты опять идут по мосту – фазовая группировка нелинейных осцилляторов

Глава 8. Нелинейные волны 228

Поток невзаимодействующих частиц и нелинейные волны. Что такое простая волна. Волны в автомобильном потоке. Ударные волны. Что

такое ударная волна? Гром, землетрясения, извержение вулканов, падение метеоритов. Сильный точечный взрыв в атмосфере и ядерное оружие (опять анализ размерностей). Звуковой удар. Об ударных волнах в космосе. Стационарные ударные волны. Уединенные волны – солитоны

Глава 9. Хаос и структуры 256

Как возникает случайность в динамической системе. С чего все началось – модель Лоренца. Сценарии перехода к хаосу. Универсальность перехода к хаосу по Фейгенбауму. Развитая вихревая турбулентность: спектр Колмогорова – Обухова (опять теория размерности). Уравнение вязкой жидкости (уравнение Навье – Стокса) и одномерное отображение. Сценарий Фейгенбаума? Другие сценарии возникновения хаоса: перемежаемость, разрушение квазипериодических колебаний. Топологическая размерность и размерность Хаусдорфа – Безиковича. Фракталы. Образование структур и самоорганизация. Классификация, определения, примеры. Немного о распределенных автоколебательных системах. Структуры Гюринга. Брюсселятор. Реакция Белоусова – Жаботинского и резонатор. Ячейки Бенара. Вихри Тейлора в течениях Куэтта. Автоволновые процессы и системы. Уединенный фронт. Бегущий фронт и бегущий импульс. Аксиоматическая модель активной среды. Ревербератор – спиральная волна. Ведущий центр – источник концентрически расходящихся волн. Клеточные автоматы. Игра «Жизнь»

Глава 10. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику, социальные науки и медицину 326

Модели развития и взаимодействия в экологии (модель Мальтуса и ее обобщение Ферхюльстом). Феномен логистического уравнения (оно описывает эволюцию популяции в экологии, в эволюцию научной продукции, деятельность «Красных бригад» в Италии, развитие готического стиля в архитектуре и др.). Детерминированный хаос в экологических моделях. Модель «хищник – жертва – пища». Циклы Кондратьева в экономике. Модели Гудвина циклов капиталистической экономики. Математическая модель сосуществования производителей и управленцев. Нелинейные модели Вайдлиха и их применение к экономическим и социальным задачам. Взаимодействие народа и правительства, перестройка по Горбачеву. Взаимодействие старой и новой отраслей промышленности. Эволюция модного ресторана. Хаос и структуры в социально-экономических моделях. Развитие системы образования в условиях конкуренции. Формирование общественного мнения. Эволюционирующий рынок. Математическая модель роста народонаселения мира. Теория эпидемий. Простые эпидемии. Общий случай эпидемии. Повторяющиеся эпидемии. Динамические болезни. О пользе дыхания Чейна – Стокса

Иллюстрированное приложение 381



*Выходит в свет в 1998 году учебное пособие
в издательстве Томского государственного университета*

ЛАЗЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТВОРЧЕСТВА
От теории доминанты – к синергетике культуры

Э.А.Соснин, Б.Н. Пойзнер

Под редакцией

А.В. Войцеховского, д.ф.–м.н., профессора

Рецензенты:

Е. С. Коваленко, д.ф.–м. н., профессор

Ю.Н. Моргалев, к.б.н.

Пособие адресовано аспирантам, магистрантам, студентам–старшекурсникам физических, радиофизических, физико–технических специальностей университетов и рассчитано на самостоятельное изучение. Часть материалов пособия может быть использована на учебных семинарах по культурологии, истории и социологии. В пособии объяснение основ лазерной физики соединено с описанием динамической природы творчества (теория доминанты, пейсмейкеры как источник структуризации) и с синергетической трактовкой социокультурной динамики. Система рекомендаций и проверочных вопросов по методологическим и психологическим основам творчества подкреплена списком аннотированной литературы.

Содержание

- Глава 1.** *Основные понятия, или О том, имеет ли отношение дипломное исследование к творческому процессу. Вопросы для самостоятельных рассуждений.*
- Глава 2.** *Поиски аналогий, или О том, где еще может быть использован лазер. Вопросы для самостоятельных рассуждений. Примечания к главам 1–2.*
- Глава 3.** *Активная среда творчества, или О том, откуда взяться новым идеям. Условия получения сверхлюминесценции. Активные центры мыслительных процессов. Доминанта и сверхлюминесценция. Чему служат доминанта и сверхлюминесценция. Застойная доминанта. Пластичность нервной системы. А вы все–таки пишите! Вопросы для самостоятельных рассуждений. Примечания к главе 3.*

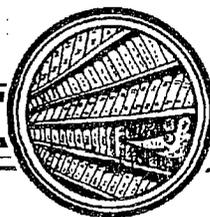
- Глава 4.** Особенности появления идей, или Вновь застойные доминанты. Одна голова хорошо, а много .. ? Удовольствие от творческого процесса. Творцы среди нас. Вопросы для самостоятельных рассуждений.
- Глава 5.** Резонатор для творчества, или Откуда берется высокое качество творческих разработок. Коротко о физике явлений в лазерном резонаторе. Свойства творческой работы. Что в зеркале твоём? Резонатор резонатору рознь. Функциональная асимметрия мозга. Истоки качественной работы. О выводах. Вопросы для самостоятельных рассуждений. Примечания к главе 5.
- Глава 6.** Накачка творчества. Преимущества импульсной накачки. Накачка отбором энергии. Вопросы для самостоятельных рассуждений.
- Глава 7.** Накачка творчества (продолжение). Усвоенные и присвоенные кванты действий. Что может батарейка? Вопросы для самостоятельных рассуждений. Список ассоциативных пар, использованных при построении лазерной модели творчества.
- Глава 8.** Лазерная модель социокультурной динамики, или От персонального к социальному. Cultiga: к биографии термина. Мир спасается открытостью. Мимон – элементарная частица культуры. Сложное = сложенное из многого. Откуда ждать нелинейность. Традицию – в рамки уравнений?! Система под бременем выбора. Лазер и философема «кашу маслом не испортишь». Будем вековать с веком бифуркации? Два образа мирового времени. О достоверности эсхатологического прогноза. В ожидании нормальной катастрофы. Self-organized criticality: откуда что берется. За фликкер-шумом различить фрактал. Кому нужна самоорганизация? Наука – мутаген культуры. На производство мемов требуется трикстер. Самоорганизация всегда в моде. Мода на творчество. Ритм добровольных уходов. Самоорганизация всегда в авангарде. Из истории синергетики, а также о ценности культурного образца. Каков субъект самоорганизации в лазере? От уникала к репликатору, или Границы аналогии. Объект самоорганизации на наших плечах. Лестница репликаторов, или Поступь эволюции. Quasi una fantasia о месте человека в Космосе.

Resume. Vale, читатель!

Направить заказ на пособие можно по адресу

634055, Томск, ул. 30 лет Победы, д.8, кв.38
 Соснину Эдуарду Анатольевичу
 E-mail: pznr@elephot.tsu.tomsk.su
 Пойзнеру Борису Николаевичу

Редакция предлагает заинтересованному читателю продолжить разговор по тематике данного выпуска на страницах нашего журнала в разделе «Методические заметки по нелинейной динамике».



Изв. вузов «ПНД», т.5, № 4, 1997

ISSN: I026-0226 DDNSFA

DISCRETE DYNAMICS IN NATURE AND SOCIETY
An International Multidisciplinary Research and Review Journal

Editors-in-Chief:

V. Gontar (Natural Sciences)
International Group for Chaos Studies
Ben-Gurion University of the Negev
P.O.B. 653, 84105 Beer-Sheva
ISRAEL
Fax: +972 7 647 29 69
E-mail: galita@bgumail.bgu.ac.il

M. Sonis (Social Sciences)
Bar-Ilan University
Faculty of Social Sciences
Department of Geography
52900 Ramat-Gan
ISRAEL Fax: +972 3 534 44 30
E-mail: sonism@ushur.cc.bin.ac.il

Honorary Editors:

H.D.I. Abarbanel, University of California, San Diego, USA, **R.H. Day**, University of Southern California, Los Angeles, USA, **D.S. Dendrinos**, University of Kansas, USA, **G. Ertl**, Fritz Haber Institute, Berlin, Germany, **P. Gray**, Gonville and Caius College, Cambridge, UK, **H. Haken**, University of Stuttgart, Germany, **I. Prigogine**, International Solvay Institutes for Physics and Chemistry, Belgium and Ilya Prigogine Center for Studies in Statistical Mechanics, USA, **O.E. Röessler**, Tübingen University, Germany

Associate Editors:

V.S. Anishchenko, Saratov University, Russia, **C.S. Bertuglia**, Turin Polytechnic, Italy, **E. Casetti**, Ohio State University, USA, **C.S. Hsu**, University of California at Berkeley, USA, **P. Plath**, University of Bremen, Germany

Book Review Editor:

J.B. Rosser, Jr., James Madison University, USA

International Advisory Board:

D. Avnir, Hebrew University of Jerusalem, Israel, **M. Batty**, University College London, UK, **S.R. Bishop**, University College London, UK, **C. Chiarella**, University of

Technology, Sydney, Australia, **J.J. Dorning**, University of Virginia, USA, **W. Ebeling**, The Humboldt University of Berlin, Germany, **Byung Chan Eu**, McGill University, Montreal, Canada, **F. Fu-Kang**, Beijing Normal University, China, **G. Haag**, Steinbeis Foundation, Germany, **B. Hannon**, University of Illinois at Urbana–Champaign, USA, **P. Hanusse**, Paul Pascal Research Centre, France, **E. Hendricks**, Technical University of Lyngby, Denmark, **W. Huang**, National University of Singapore, Singapore, **S.P. Kurdyumov**, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia, **P. Nijkamp**, Free University of Amsterdam, The Netherlands, **L. Pismen**, Technion, Israel, **J. Portugali**, Tel Aviv University, Israel, **D. Pumain**, National Institute of Demographic Studies, Paris, France, **T. Puu**, University of Umeå, Sweden, **G. Rabino**, Milan Polytechnic, Italy, **A. Reggiani**, University of Bologna, Italy, **D. Shilkrot**, Ben–Gurion University, Israel, **R. White**, Memorial University of Newfoundland, Canada, **W. Weidlich**, University of Stuttgart, Germany, **A. Wunderlin**, University of Stuttgart, Germany, **W.–B. Zhang**, Institute for Futures Studies, Stockholm, Sweden

Aims and Scope:

The main objective of *Discrete Dynamics in Nature and Society* (DDNS) is to foster links between basic and applied research relating to discrete dynamics of complex systems encountered in the natural and social sciences.

Discrete dynamics reflects a new emerging tendency towards utilization of iterative mathematical models – systems of non–linear difference equations – to describe the behaviour of complex systems. It has become clear from the latest developments in discrete modelling that such models have a simpler structure and provide many more possibilities for generating and describing complex non–linear phenomena, including chaotic regimes and fractals.

However, further developments in such a discrete mathematical approach are restricted by the absence of general principles that could play the same role as the variational principles in physics. DDNS aims to elaborate such principles, which are expected to lead to a better understanding of the exact meaning of «discrete» time and space, and, to the creation of a new «calculus» for discrete complex dynamics.

The journal will provide a channel of communication between scientists and practitioners working in the field of complex systems analysis and will stimulate the development and use of a discrete dynamical approach.

Discrete Dynamics in Nature and Society will publish original, high quality, research papers. In addition there will be regular editorials, invited reviews, a letters section and a news section containing information on future events and book reviews.

World Wide Web Addresses

Additional information is also available through the Publisher's web home page site at <http://www.gbhap.com>. Full text on–line access and electronic author submissions may also be available.

Editorial enquiries by e–mail: <editlink@gbhap.com>

Editorial

Dear Colleagues and Friends,

Welcome to the first issue of *Discrete Dynamics in Nature and Society*. We are sure that you will find new and interesting information about discrete dynamics, and we invite you to contribute your own ideas to the fascinating field of Discrete Non-linear Dynamics.

Over the past decades, Discrete Non-linear Dynamics has emerged as an active area of research in both Natural and Social Sciences. Discrete dynamics of complex systems, which by its very nature include all kinds of bifurcations and chaotic behavior, is based on the application of iterative maps as the unifying framework and operational tool for analysis, mathematical modelling and computer simulation of non-linear phenomena.

The tendency to use iterations to describe evolutionary processes raises a number of fundamental questions. Are the iterations an appropriate and adequate instrument for presentation of the evolutionary changes? Or, are they just an approximation to differential equations? If the answer to the first question is yes, what kind of new, «first principles» can be formulated for discrete dynamics, analogous to the variational principles of classical physics? What type of operational tools or «calculus of iterations» can be devised? What is the meaning of «discrete» time and space and in what way is discrete dynamics connected with continuous space-time classical dynamics?

The Journal *Discrete Dynamics in Nature & Society* (DDNS) will focus on discussions of these problems with the ultimate aim of basing discrete dynamics on the same sound theoretical footing as that of dynamic theories based on differential equations or infinitesimal calculus. We want to foster applied research in the field of Discrete Non-linear Dynamics and to stimulate debate about the modern role of computer simulations in the mathematical modelling of complex systems, in particular, areas displaying chaotic regimes and applications of Discrete Non-linear Dynamics for the next generation of models, ideas and principles in artificial intelligence, neural nets, «artificial» life, catalytic chemistry, biology, laser physics, computer science, medicine, socio-spatial dynamics and the social sciences.

The discrete dynamics of chemical reactions exhibit mathematical similarity to the discrete dynamics of socio-spatial sciences. We intend to further explore this similarity and hope that new similarities will be found in the study of natural and social phenomena as a result of the application of a new «calculus of iterations».

We would like to encourage all contributors to this Journal to present their new ideas. Here they will find friends and enthusiasts who will appreciate their participation in discussing the «New Terra» of *Discrete Dynamics in Nature & Society*.

With best wishes and hopes,

Vladimir Gontar
Michael Sonis

Contents

Vol. 1, N 1 (1997) 1–84

Editorial. *Vladimir Gontar and Michael Sonis* i
Discrete Dynamics of Complex Systems. *H. Haken* 1
Chaos: Challenges From and To Socio–Spatial Form and Policy. *D.S. Dendrino* . . . 9
The New Science of Complexity. *J.L. McCauley* 17
Theoretical Foundation for the Discrete Dynamics of Physicochemical Systems:
Chaos, Self–Organization, Time and Space in Complex Systems.
V. Gontar 31
Linear Bifurcation Analysis with Applications to Relative Socio–Spatial Dynamics.
M. Sonis 45
Collision Patterns on Mollusc Shells. *P.J. Plath, J.K. Plath and J. Schwietering* . . . 55
Book Reviews 77

Contents

Vol. 1, N 2 (1997) 85–178

Sociodynamics Applied to the Evolution of Urban and Regional Structures.
W. Weidlich 85
Universality of Oscillation Theory Laws. Types and Role of Mathematical Models.
P.S. Landa 99
Non linearity in Social Dynamics – Order Versus Chaos. *B.E. Anderson and*
W.–B. Zhang 111
Active Stabilization of a Chaotic Urban System. *G. Haag, T. Hagel and T. Sigg* . . . 127
Ergodic Cobweb Chaos. *A. Matsumoto* 135
Characteristic Phenomena in Combustion. *D. Meinköhn* 147
Spatio–Temporal Patterns with Hyperchaotic Dynamics in Diffusively Coupled
Biochemical Oscillators. *G. Baier and S. Sahle* 161
Fixed Points of Log–Linear Discrete Dynamics. *K. Sawada and Y. Togawa* 169
Book Review 177



Изв.вузов «ПНД», т.5, № 4, 1997



НЕЛИНЕЙНЫЕ ДНИ В САРАТОВЕ ДЛЯ МОЛОДЫХ

Научная школа

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА И НОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Саратов, 7–12 октября 1997

В отличие от осенних школ старшеклассников «Колебания, волны, лекторы» 1990–96 годов в настоящей школе участвуют еще и студенты, и аспиранты, и молодые ученые. В таком составе школы есть «связь времен» и преемственность поколений. Школа проходит в рамках программы «Интеграция», которая объединяет структуры Министерства общего и профессионального образования с Российской академией наук.

В качестве тематики школы выбрана нелинейная динамика. Поиск общего в разном – вот предмет лекций и оригинальных докладов участников школы. Ключевыми понятиями здесь являются колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры. Школа посвящена раскрытию этих понятий и использованию их в учебном процессе на разных уровнях.

Организаторы и спонсоры

Саратовский государственный университет
Государственный учебно–научный центр «Колледж»
Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН
Администрация Кировского района Саратова

Оргкомитет

Трубечков Д.И. чл.–корр. РАН, ректор СГУ – профессор
Левин Ю.И. доцент СГУ, Шараевский Ю.П. доцент СГУ
Анфиногентов В.Г., к. ф.–м. н., ст. преподаватель СГУ
Красичков Л.В., научный сотрудник СГУ

Программа школы

7 октября 1997

- 16:00 открытие школы
17:00 *Д.И. Трубецков* (СГУ). Колледж прикладных наук – первый маленький юбилей

8 октября 1997

- 9:00–10:00 *Ю.П. Шараевский* (СГУ). Нелинейные колебания
10:10–11:10 *А.П. Кузнецов* (СФ ИРЭ РАН). Что такое бифуркация?
11:30–12:30 *Н.М. Рыскин* (СГУ). Нелинейные волны
15:00–16:00 *Ю.А. Данилов* (МГУ, г. Москва). Случайность
16:10–17:10 *Б.П. Безручко* (СГУ). Модели и моделирование
17:30–18:30 семинар для участников школы

9 октября 1997

- 9:00–10:00 *Ю.А. Данилов* (МГУ). Герман Минковский
10:10–11:10 *В.С. Анищенко* (СГУ). Детерминированный хаос
11:20–12:30 *А.Б. Нейман* (СГУ). Стохастический резонанс
15:00–16:00 *С.П. Кузнецов* (СФ ИРЭ РАН). Как происходит переход к динамическому хаосу?
16:10–17:10 *Ю.А. Данилов* (МГУ). Давид Гильберт
17:30–18:30 семинар для участников школы

10 октября 1997

- 9:00–10:00 *Ю.А. Данилов* (МГУ). Может ли Ахиллес быстроногий догнать черепаху?
10:10–11:10 *Д.И. Трубецков* (СГУ). Паттерны нелинейной динамики
11:30–12:30 *Д.И. Трубецков*. Паттерны нелинейной динамики (экологический аспект)
15:00–16:00 *А.Г. Рожнев* (СГУ). Вакуумная микроэлектроника
16:10–18:30 семинары и доклады участников школы

11 октября 1997

- 9:00–10:00 *С.П. Кузнецов* (СФ ИРЭ РАН). Кот Арнольда и квантовый хаос
10:10–11:10 *Т.Е. Вадивасова* (СГУ). Синхронизация хаоса
11:30–12:30 *А.В. Шабунин* (СГУ). Управление хаосом
15:00–16:00 *В.С. Анищенко, А.Б. Нейман* (СГУ). О детерминированном и стохастическом подходе к описанию эволюционных процессов
16:10–17:10 *Н.Б. Янсон* (СГУ). Можно ли по экспериментальным данным реконструировать динамическую систему
17:20–18:30 стендовые доклады участников школы

11 октября 1997

- 9:00–14:00 олимпиады для студентов и учащихся старших классов

12 октября 1997

- 10:00–10:30 подведение итогов олимпиад, награждение победителей
10:40–12:30 круглый стол «Образование глазами учащихся и преподавателей»
12:30 закрытие школы

Школа будет проходить в пансионате «Салют» (5-я Дачная) Саратова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР – ФОНД ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ (МЦФПИН)

Общая информация

Научный фонд МЦФПИН – некоммерческая организация, созданная с целью поддержания высокого уровня научных исследований и образования в Нижнем Новгороде.

Основная идея МЦФПИН – активное привлечение крупных зарубежных ученых к совместной работе с ведущими нижегородскими специалистами и заинтересованной научной молодежью на базе *местных* научных центров.

Учредители МЦФПИН – Комитет по управлению госимуществом Нижегородской области, Институт прикладной физики (ИПФ) РАН и Нижегородский государственный университет (ННГУ) им. Н.И. Лобачевского. Общее руководство деятельностью МЦФПИН осуществляет **Наблюдательный совет**, в состав которого входят, помимо учредителей, представители авторитетных российских и зарубежных организаций – Министерства науки и технологий РФ, Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Института «Открытое общество» (США), Университета им. Дж. Мейсона (Вашингтон, США) и Калифорнийского университета (Сан-Диего, США).

Финансирование МЦФПИН осуществляется на паритетных началах Администрацией Нижегородской области и Институтом «Открытое общество» (Фондом Сороса). С 1996 года участие в финансировании МЦФПИН принимает также Министерство науки и технологий РФ. Суммарный объем финансирования в 1996 году составил \$ 120000, что позволило МЦФПИН реализовать целевые программы деятельности и поддержать 20 проектов международного научного сотрудничества в различных областях естествознания.

Главными направлениями деятельности МЦФПИН являются:

- содействие развитию международного научного сотрудничества в области *математики, физики, химии, биологии и экономики* на базе научных институтов и вузов Нижнего Новгорода;
- реализация различных форм поддержки научной молодежи, включая персональную финансовую поддержку участия молодых ученых и студентов в исследовательских проектах и проведение научных школ, лекций и семинаров по современным направлениям естествознания и экономики.

Научно–организационная деятельность МЦФПИН основана на конкурсном распределении **грантов** (безвозмездных субсидий), обеспечивающих целевое финансирование проектов в указанных областях знания. Организацию конкурса и контроль за реализацией поддержанных проектов осуществляет **Ученый совет МЦФПИН**, в состав которого входят ведущие научные сотрудники ряда институтов РАН и ННГУ.

Типы проектов, получающих поддержку МЦФПИН

- Проекты краткосрочных совместных исследований, осуществляемые нижегородскими и приглашенными зарубежными и российскими специалистами с обязательным участием молодых ученых (включая аспирантов и студентов нижегородских вузов).
- Проекты продвинутого образования, осуществляемые ведущими зарубежными и российскими специалистами в рамках специальных лекционных программ для студентов и аспирантов нижегородских вузов.

Помимо прямой финансовой поддержки исследовательских и образовательных проектов, МЦФПИН предоставляет оборудованные помещения для работы

приглашенных ученых и помощь в решении вопросов их проживания в Нижнем Новгороде.

Адрес МЦФПИН

603600, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
тел./факс: (8312) 36 7804, тел.: (8312) 38 4250, 38 4581
e-mail: incas@appl.sci-nnov.ru
WWW: <http://www.sci-nnov.ru/science/foundations/incas/>

Название МЦФПИН на английском языке:
The International Center for Advanced Studies in Nizhny Novgorod.

Органы управления

Органами управления МЦФПИН являются:

- **Общее собрание учредителей** – высший орган управления;
- **Наблюдательный совет**, формируемый Общим собранием учредителей для общего руководства деятельностью МЦФПИН.

Состав наблюдательного совета МЦФПИН

Я.И. Ханин,	профессор, <i>председатель</i> ИПФ РАН, Н. Новгород, Россия
Г.Д.И. Абарбанель,	профессор, Калифорнийский ун-т, Сан-Диего, США
В.В. Борисов,	Программа ISSEP, Москва, Россия
А.В. Гапонов–Грехов,	академик РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород, Россия
Г.В. Козлов,	Миннауки РФ, Москва, Россия
Б.Е. Немцов,	Правительство РФ, Москва, Россия
М.И. Рабинович,	член–корр. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород, Россия
	Калифорнийский ун-т, Сан-Диего, США
Ф. Россини,	профессор, ун-т им. Дж. Мейсона, Вашингтон, США
В.Н. Сойфер,	профессор, Программа ISSEP Ун-т Дж. Мейсона, Вашингтон, США
В.Е. Фортвов,	академик РАН, Миннауки РФ, Москва, Россия
А.Ф. Хохлов,	профессор, ННГУ, Н. Новгород, Россия

- **Ректорат** – исполнительный орган управления, формируемый Наблюдательным советом для текущего руководства деятельностью МЦФПИН;
- **Ученый совет** – совещательный орган при Ректорате, формируемый Наблюдательным советом для организации и проведения конкурса проектов на получение финансовой поддержки МЦФПИН и контроля за реализацией поддержанных проектов.

Состав Ученого совета

М.И. Рабинович,	<i>председатель</i> , член–корр. РАН, ректор МЦФПИН, ИПФ РАН, Калифорнийский ун-т
Г.А. Абакумов,	<i>зам. председателя</i> , член–корр. РАН, ИМХ РАН
А.К. Козлов,	<i>уч. секретарь</i> МЦФПИН, ИПФ РАН
А.А. Андронов,	профессор, ИФМ РАН
А.В. Гапонов–Грехов,	академик РАН, ИПФ РАН
А.Г. Литвак,	профессор, ИПФ РАН
А.И. Малеханов,	проректор МЦФПИН, ИПФ РАН
С.Л. Мушер,	профессор, Новосибирский гос. ун-т
В.А. Опритов,	профессор, ННГУ
Д.И. Трубецков,	член–корр. РАН, Саратовский гос. ун-т
Я.И. Ханин,	профессор, ИПФ РАН
Л.П. Шильников,	профессор, НИИ ПМК при ННГУ

Административно–хозяйственная деятельность МЦФПИН осуществляется его штатными сотрудниками

Программы деятельности

В основе деятельности МЦФПИН лежат две целевые программы поддержки перспективных исследований и образования в области естественных наук и экономики – программа краткосрочных исследовательских грантов и программа образовательных грантов. Обе программы направлены на установление новых и развитие уже сложившихся международных научных связей нижегородских ученых с ведущими зарубежными исследовательскими центрами. В обеих программах ключевыми являются три позиции – высокий научный уровень поддерживаемых проектов, участие в них ведущих зарубежных ученых и местной научной молодежи. Кроме того, МЦФПИН поддерживает проведение в Нижнем Новгороде научных школ, конференций и рабочих групп по передовым направлениям в области естественных наук и экономики, которые ориентированы на широкое привлечение молодых ученых, аспирантов и студентов.

Программа краткосрочных исследовательских грантов. Основной целью этой программы является содействие активному сотрудничеству молодых нижегородских ученых с ведущими зарубежными и российскими специалистами по перспективным направлениям исследований в области математики, физики, химии, биологии и экономики.

Гранты предоставляются в виде безвозмездных субсидий в результате специально организованного конкурса инициативных проектов научных исследований в указанных областях знания. Предпочтительными являются проекты продвинутых фундаментальных исследований, имеющие многообещающий научный задел для получения результатов высокого уровня.

На конкурс 1996 года поступили 17 исследовательских проектов по математике, физике, химии и биологии, из которых поддержку получили 10 проектов: 4 проекта из ИПФ РАН и по 2 проекта – из ННГУ, ИМХ РАН и НГМА. Выполнение 2-х проектов из числа поддержанных было перенесено на 1997 год, поэтому всего в 1996 году МЦФПИН реализовал 8 исследовательских проектов. Ниже приведены краткие сведения о проекте, выполненном в ИПФ РАН по тематике, соответствующей научному направлению нашего журнала.

Проект № 96–22–03

Название проекта:

Структуры и беспорядок в экспериментах Фарадея с мыльными пленками

Руководитель проекта: д.ф.–м.н. **А.Б. Езерский**, ИПФ РАН (с.н.с.)

Исполнители проекта: профессор П. Вейдман (P. Weidman), Университет Колорадо, США; к.ф.–м.н. С.В. Кияшко, ИПФ РАН (с.н.с.); В.О. Афенченко, ИПФ РАН (стажер–исследователь); Д.Ф. Ермошин, ИПФ РАН (стажер–исследователь); П.Л. Соустов, ИПФ РАН (аспирант)

Сроки выполнения проекта: 02.96 – 08.96.

Цели проекта. Целью проекта является экспериментальное и теоретическое изучение процессов возникновения упорядоченных структур и переходов от регулярных режимов к беспорядку при возбуждении мод тонкой пленки периодической во времени внешней силой.

Основные результаты проекта. Экспериментально обнаружена генерация двумерных вихрей в тонком жидком слое при возбуждении в нем изгибных волн монохроматической внешней силой. Выяснено, что генерируемые вихри могут быть как стационарными, так и демонстрировать сложную пространственно–временную динамику. Построена теоретическая модель генерации двумерных вихрей,

позволившая предсказать топологию вихрей, наблюдающихся в эксперименте с осциллирующими жидкими пленками [1–4]. Результаты проекта были представлены на 49-й сессии Американского Физического Общества (Нью-Йорк, ноябрь, 1996) [1] и на проведенной в ее рамках выставке «Gallery of Fluid Motions» (первая премия) [2]. Кроме того, были проведены предварительные эксперименты по генерации двумерных вихрей в пленках с движущейся боковой границей. Дальнейшие исследования динамики двумерных вихрей планируется провести параллельно в ИПФ РАН и Университете Колорадо.

1. Weidman P., Afenchenko V., Ezersky A., Ermoshin D., Kiyashko S., and Rabinovich M. // Excitation of two-dimensional vortex flows in flexurally oscillating soap films // Bulletin of Amer. Phys. Soc. 1996. Vol. 41, № 9. P. 1772.

2. Weidman P.D., Afenchenko V.O., Ezersky A.B., Kiyashko S.V., and Rabinovich M.I. The generation of two-dimensional vortices by transverse oscillation of a soap film // Phys. Fluids. 1997. № 9 (в печати).

3. Afenchenko V.O., Ezersky A.B., Kiyashko S.V., Rabinovich M.I. The generation of two-dimensional vortices by transverse oscillation of a soap film // Phys. Fluids. 1997 (направлена).

4. Afenchenko V.O., Ezersky A.B., Kiyashko S.V., Rabinovich M.I. The excitation of two-dimensional vortices in an oscillator soap film // Тез. докл. 11-й (2-ой между) зимней школы по механике сплошных сред. Пермь, 1997.

Научно-образовательная программа проекта. В рамках этой программы профессор П. Вейдман прочитал две лекции для сотрудников ИПФ РАН по современным проблемам гидродинамики: «Instability of Two Rigidly Rotating Immiscible Fluids in Zero Gravity» и «New Similarity Solutions in Hydrodynamics».

Финансирование проекта, \$

Финансовая поддержка молодых ученых	1,500
Расходы по визитам приглашенных ученых	4,490
Прямые и накладные расходы	1,350
Общая сумма гранта	7,340

Программа образовательных грантов. Основной целью программы является организация в нижегородских вузах специальных лекционных программ и семинаров в области естественных наук и экономики, осуществляемых ведущими зарубежными и российскими специалистами.

В 1996 году МЦФПИН реализовал два проекта в области прикладной математики по программе образовательных грантов, краткие сведения о которых приведены ниже.

Проект № 96–Е–01

Название проекта: Элементы теории динамических систем

Приглашенный лектор: профессор **Дж. Н. Мазер** (J.N. Mather), Принстонский университет, США

Координаторы проекта: профессор Л.П. Шильников, НИИ ПМК

Сроки выполнения проекта: 1.07.96 – 10.07.96

Образовательная программа проекта. Прочитано две лекции – для участников Международной конференции «Contemporary Problems in Theory of Dynamical Systems» (ННГУ, июль, 1996) и сотрудников ИПФ РАН – по применению

вариационных принципов в теории динамических систем. В основу первой лекции легли новые результаты проф. Дж. Мазера, относящиеся к построению траекторий лагранжевых систем. Рассмотрена динамическая система, лагранжиан которой может быть представлен в виде $T=L-U$, где T – кинетическая энергия, соответствующая римановой метрике на двумерном торе, U – периодический во времени потенциал на двумерном торе. Сформулированы достаточные условия существования решений с неограниченно возрастающей энергией. Вторая лекция была посвящена вопросам применения новейших вариационных методов к решению конкретных физических задач.

Лекции проф. Дж. Мазера:

Variational construction of orbits (Лекция на Международной конференции «Contemporary Problems in Theory of Dynamical Systems», ННГУ)
Billiards which change direction (лекция в ИПФ РАН).

Проект № 96–Е–02

Название проекта:

Современные подходы к компьютерному моделированию динамических систем

Приглашенный лектор: д-р Э. Аурель (E. Aurell), Стокгольмский университет, Швеция

Координатор проекта: профессор С.Н. Гурбатов, ННГУ

Сроки выполнения проекта: 15.09.96 – 20.09.96.

Образовательная программа проекта. Основу программы составил курс лекций (прочитанных на русском языке) для студентов и сотрудников радиофизического факультета ННГУ по широкому кругу задач моделирования нелинейных динамических систем с использованием современных методов вычислений на параллельных компьютерах (parallel computing). Особое внимание было уделено приложениям новых результатов к практическим задачам – прогноза в теории турбулентности, минимизации риска на рынке опционов и др.

Лекции д-ра Э. Ауреля:

1. The Predictability Problem in Turbulence
2. Option Pricing and Hedging Beyond Black–Scholes
3. Parallel Computing at PDC in Stockholm: History and Perspectives
4. Burgers' Equation with Brownian Motion Initial Data
5. Theoretical Developments in the Old Problem of Burgers' Equation (семинар в ИПФ РАН)

Результаты работы МЦФПИН показывают, что основная идея фонда оказалась явно востребованной среди научных групп, уровень которых позволяет им привлечь к своей работе ведущих зарубежных коллег и способных молодых сотрудников. Это означает, что успешная деятельность МЦФПИН является одной из реальных возможностей для поддержания высокого уровня естественно-научных исследований в нижегородских институтах и вузах. Важно также и то, что даже относительно небольшой опыт работы МЦФПИН оказался способным привлечь внимание крупных зарубежных ученых и исследовательских центров, что позволяет надеяться на дальнейшее развитие эффективного сотрудничества с ними.

Зав. редакцией *Н.Н. Лёвина*
Редакторы *М.В. Попова, Н.Н. Лёвина*
Художник *Д.В. Соколов*
Оригинал-макет подготовлен *Г.А. Суминой, И.А. Пономаревой*
на компьютерной системе Apple Macintosh

Распространение журнала по подписке и предварительным заявкам осуществляется Государственным учебно-научным центром «Колледж» при Саратовском государственном университете. ИНН 6452006136
Банковские реквизиты – р/с № 000609446 в АКБ «Экономбанк» г. Саратова, БИК 046311722, корсчет банка 700161122

Подписка на I-ое полугодие 1998 года
по каталогу «Газеты и журналы», индекс 73498

Сдано в набор 16.09.97. Подписано к печати 17.10.97. Формат 70x108/16
Бумага финская. Печать офсетная. Гарнитура Латинская
Усл. печ.л. 12,95 (9,25). Уч.-изд. л. 10,9. Тираж 200 экз. Заказ 53

Издательство ГосУНЦ «Колледж»
410026, Саратов, ул. Астраханская, 83.
Тел. (845-2)514298, факс (845-2) 240446
E-mail:and@ccollege.saratov.su

Отпечатано на ризографе RA 4200 издательства ГосУНЦ «Колледж»

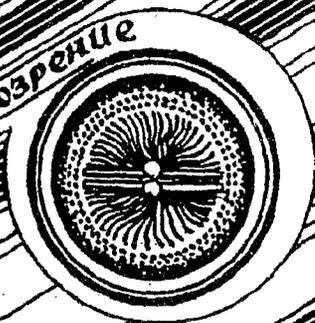
© Издательство ГосУНЦ «Колледж»



© Оформление художника Д.В. Соколова, 1997



Книжное обозрение



EDITOR-IN-CHIEF

Yu.V. Gulyaev, Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Radioengineering and Electronics, Moscow

EDITORS

D.I. Trubetskov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Saratov University

D.A. Usanov, Member of the International Academy of Sciences of High School, Saratov University

SECRETARY-IN-CHIEF

B.P. Bezruchko, Professor, Institute of Radioengineering and Electronics, Saratov University

EDITORIAL BOARD

V.S. Anishchenko, Professor, Saratov University

Yu.A. Danilov, Kurchatov Scientific Centre, Moscow

B.A. Kalinikos, Professor, St. Petersburg Electrotechnical University

V.I. Krinsky, Professor, Institute of Experimental and Theoretical Biophysics, Puschino

S.P. Kuznetsov, Professor, Institute of Radioengineering and Electronics, Saratov

P.S. Landa, Professor, Moscow University

L.A. Ostrovsky, Professor, Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod

Yu.M. Romanovsky, Professor, Moscow University

E.E. Son, Professor, Institute of Physics and Technics, Dolgoprudny

V.D. Shalfeev, Corresponding Member of the Russian Academy of Engineer Sciences, Nizhny Novgorod University

V.V. Tuchin, Professor, Saratov University

V.K. Yulpatov, Professor, Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod



для студентов и преподавателей в журнале



Современной нелинейной динамики

ВСЕМЕРНО ВНЕДРЯТЬ ДОСТИЖЕНИЯ СИВЕРГЕТИКИ



В ДЕЛО НАРОДНОГО ОБРАЗОВАНИЯ!