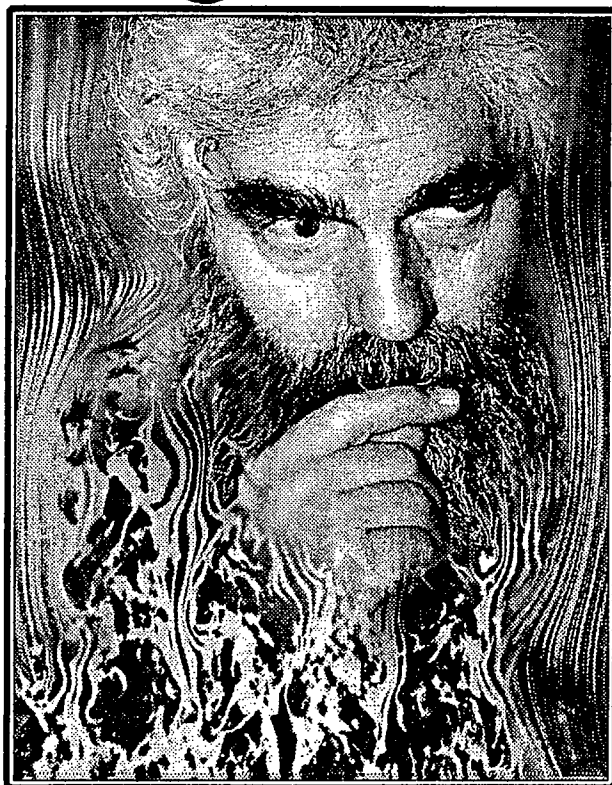
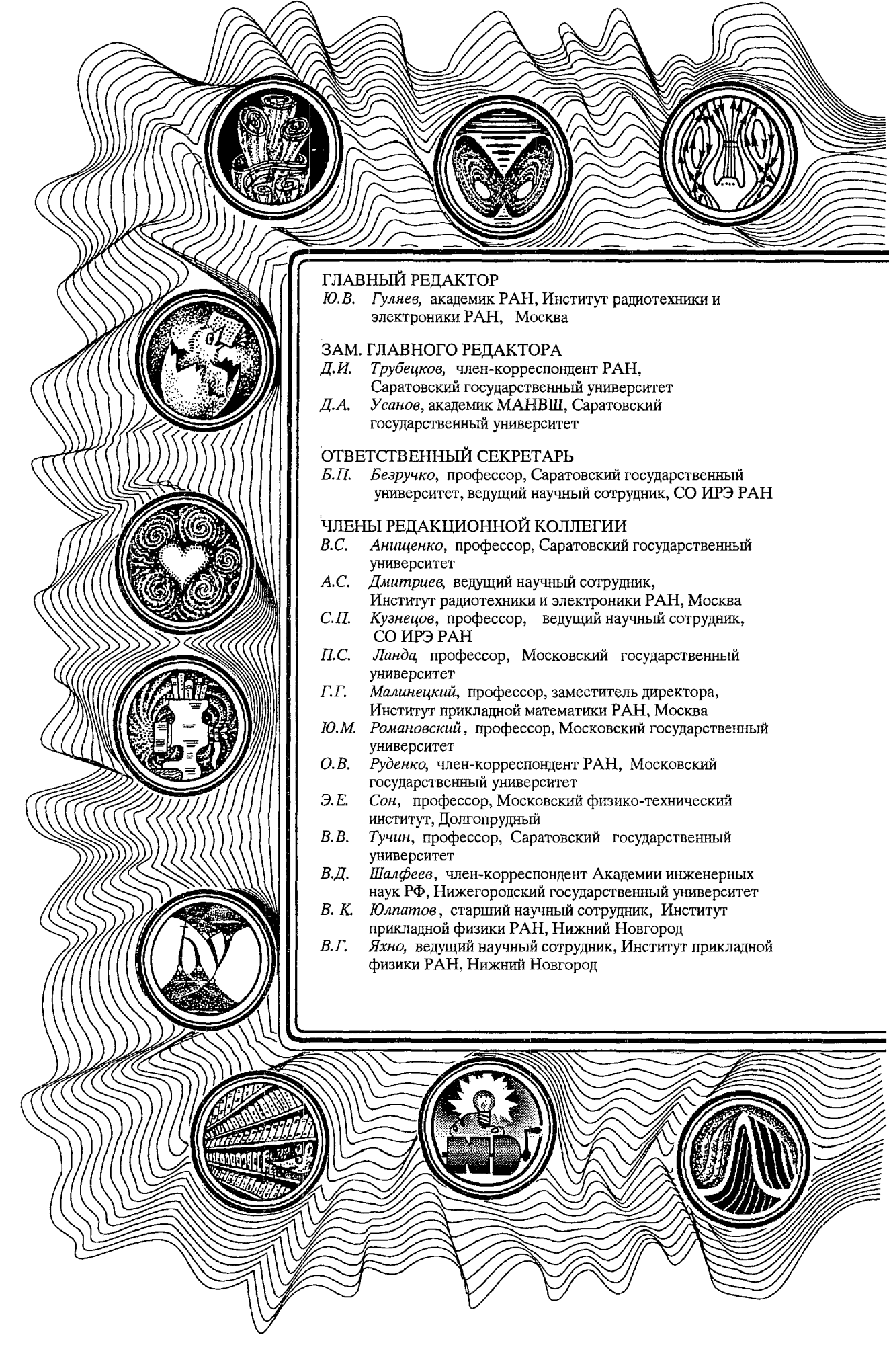


Трикладная Делнейная Динамика



80 лет со дня рождения Ю.Л.Климонтовича

ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



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, СО ИРЭ РАН

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

В.С. Анищенко, профессор, Саратовский государственный университет

А.С. Дмитриев, ведущий научный сотрудник, Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

С.П. Кузнецов, профессор, ведущий научный сотрудник, СО ИРЭ РАН

П.С. Ланда, профессор, Московский государственный университет

Г.Г. Малинецкий, профессор, заместитель директора, Институт прикладной математики РАН, Москва

Ю.М. Романовский, профессор, Московский государственный университет

О.В. Руденко, член-корреспондент РАН, Московский государственный университет

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. Юлпатов, старший научный сотрудник, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В.Г. Яхно, ведущий научный сотрудник, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Известия высших учебных заведений

ПРИКЛАДНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА

научно-технический журнал

издается с 1993 года

Выходит 6 раз в год

Том 12, № 4, 2004, Саратов

СО Д Е Р Ж А Н И Е

К 80-летию Ю.Л. Климонтовича

PERSONALIA

Бониц М., Эбелинг В., Романовский Ю.М. Вклад Ю.Л. Климонтовича в кинетическую теорию неидеальной плазмы 4

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА В ЛИЦАХ. ИСТОРИЯ. PERSONALIA

Романовский Ю.М. Человек необычайной силы воли и необычной судьбы. . . 11

Гурия Г.Т. Ученый с очень широким взглядом на мир 23

Ризниченко Г.Ю. Он всегда проявлял пристальное внимание к людям 30

Якушевич Л.В. Несколько встреч 31

Кобелев Л.Я. Памяти друга 33

Емельянов В.И. Сорок лет назад 35

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ. СОЛИТОНЫ

Эссер Б., Ржевский В.В. Модель связанных ротаторов в исследовании динамики взаимодействующих магнитных слоев 38

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН

Ланда П.С. К вопросу о частичной синхронизации 48

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ХАОС

Анищенко В.С., Акопов А.А., Вадивасова Т.Е., Окрокверцхов Г.А., Астахов В.В.
Временной хаос в автоколебательной среде как следствие пространственной неоднородности 60

PERSONALIA

Сергей Павлович Курдюмов. Некролог 71

DEPARTMENT OF EDUCATION OF RUSSIAN FEDERATION

Izvestiya VUZ

APPLIED NONLINEAR DYNAMICS

scientific-technical journal

published since 1993

Published 6 times a year

Vol.12, № 4, 2004 Saratov

CONTENTS

To 80th anniversary of Yu.L. Klimontovich

PERSONALIA

- Contributions of Yuri L. Klimontovich to the kinetic theory of nonideal plasmas.
M. Bonitz, W. Ebeling, Yu.M. Romanovsky 4

HISTORY OF NONLINEAR DYNAMICS. PERSONALIA

- The person of extraordinary strength of will and unusual destiny. *Yu.M. Romanovsky* . 11
The scientist with very wide sight at the world. *G.T. Guria* 23
He always showed steadfast attention to people. *G.Yu. Rznichenko* 30
Some meetings. *L.V. Yakushevich* 31
To memory of the friend. *L.Ya. Kobelev* 33
Forty years ago. *V.I. Emel'yanov* 35

NONLINEAR WAVES. SOLITONS

- Coupled rotators approach to the dynamics of interacting magnetic layers. *B. Esser,*
V. Rzhetskii 38

APPLIED PROBLEMS OF NONLINEAR OSCILLATION AND WAVE THEORY

- On the partial synchronization. *P.S. Landa* 48

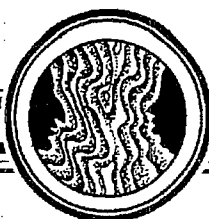
DETERMINISTIC CHAOS

- Chaos in autooscillating medium due to spatial inhomogeneity. *V.S. Anishchenko,*
A.A. Akopov, T.E. Vadivasova, G.A. Okrokvertskhov, V.V. Astakhov 60

PERSONALIA

- S.P. Kurdyumov. The obituary. 71





ВКЛАД Ю.Л. КЛИМОНТОВИЧА В КИНЕТИЧЕСКУЮ ТЕОРИЮ НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ*

М. Бонитц, В. Эбелинг, Ю.М. Романовский

Дано краткое описание жизни и научной деятельности Ю.Л. Климонтовича и обзор его основных научных работ. Особое внимание уделено работам по физике неидеальной плазмы.

В конце концов мы достигли конечной точки нашего долгого пути. Несомненно, не все на этом долгом пути было достаточно гладко.

Ю.Л. Климонтович, «Статистическая физика», 1982

Биография Ю.Л. Климонтовича

Юрий Львович Климонтович родился 28 сентября 1924 года в Москве. Его мать, Наталья Владимировна Владыкина, была родом из известной знатной русской семьи Владыкиных. Семья была татарского происхождения и служила при царе Иване Грозном. В то время они получили в собственность большие земельные владения и стали состоятельными людьми. Отец Юрия Львовича также был из знатной семьи (дворянской уже во втором поколении). Он был арестован при Сталинском режиме в 1931 году и спустя две недели расстрелян. Только через 62 года семья получила официальное сообщение об этом. Вскоре после ареста отца мать Юрия Львовича умерла. Юрию Львовичу и его двум братьям пришлось жить в семье его тети, которая была очень бедной. Чтобы поддержать семью, Юрий Львович работал - перевозил багаж на тележке от железнодорожных станций. Еще школьником он заболел туберкулезом и перенес очень тяжелую операцию. По этой причине Юрий Львович был освобожден от службы в армии и смог поступить в Инженерный институт. После войны, в 1946 году Юрий Львович перешел на физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Руководителем его дипломной работы по «радиационному тренингу» [1] был профессор В.С. Фурсов. Юрий Львович как очень активный молодой человек хотел стать аспирантом. Однако ему было отказано

* Перевод статьи © *M. Bonitz, W. Ebeling and Yu. Romanovsky*. Contributions of Yuri L. Klimontovich to the kinetic theory of nonideal plasmas. Contrib. Plasma Phys. **43**, No.5-6, 247-251 (2003).

администрацией университета, так как его отец был репрессирован. Вскоре после отказа в возможности обучения в аспирантуре, а также и в поступлении на работу в Академию наук, по счастливой случайности Юрий встретился с профессором Н.Н. Боголюбовым, который заинтересовался насчет его дальнейших планов. Будучи очень высокого мнения о Юрии Львовиче, Н.Н. Боголюбов лично взял его к себе в аспирантуру, проигнорировав официальное решение. В 1951 году Юрий Львович защитил кандидатскую диссертацию. Впоследствии он подчеркивал, что без поддержки В.С. Фурсова (который позже долгое время был деканом физического факультета) и академика Н.Н. Боголюбова он никогда не имел бы возможность сделать научную карьеру. Юрий Львович всегда был самого высокого мнения о своих учителях.

Приступив к занятию физикой с ряда проблем, предложенных его учителями, Юрий Львович продолжал работать (совершенно независимо) над созданием новой теории плазмы, в основе которой лежал его собственный метод «вторичного квантования в фазовом пространстве» [3]. Среди его соавторов в этот период были В.П. Силин (работа по спектрам возбуждения [2]) и В. Эбелинг (гидродинамическое приближение). С 1952 года Ю.Л. Климонтович работал доцентом в Авиационном технологическом институте, а с 1955 года - в Московском государственном университете, на кафедре профессора С.П. Стрелкова. В то время на кафедре сформировалась великолепная группа молодых ученых, в которую входили Р. Стратонович, В. Шмальгаузен, П. Ланда и др. Все эти ученые внесли значительный вклад в различные разделы физики и математики. При поддержке Н.Н. Боголюбова Юрий Львович защитил докторскую диссертацию в Математическом институте им. В.А. Стеклова и в 1965 году получил должность полного профессора в МГУ.

Ю.Л. Климонтович проработал в МГУ 40 лет. Он был прекрасным преподавателем и никогда не пользовался записями при чтении лекций. Будучи сначала доцентом, а затем профессором, Юрий Львович вел курс статистической физики на механико-математическом факультете и факультете повышения квалификации. У него обучалось большое количество студентов и кандидатов наук, среди последних - Анищенко, Асташкина, Белый, Чечкин, Четвериков, Емельянов, Кучаренко, Слинко и др. Среди его зарубежных учеников - Bonitz, Bornath, Ebeling, Engel-Herbert, Handrich, Kraeft, Kremp, Leven, Schlanges, Ulbricht и др.

Работа Ю.Л. Климонтовича была оценена многими институтами и университетами. Он был приглашенным профессором университетов Берлина, Брюсселя, Комо, Грайфсвальда, Парижа, Рима и Ростка. За научные достижения Юрий Львович был награжден Почетной медалью и званием Почетного доктора Ростокского университета (1986, 1990), Государственной премией РФ (1991), премией Фонда им. А. фон Гумбольдта (Германия, 1994), многократными стипендиями Фонда Сороса (1995-1998), Золотой медалью им. П.Л. Капицы Российской академии естественных наук (1997).

27 ноября 2002 года Ю.Л. Климонтович ушел из жизни, вскоре после серьезной операции. В его семье остались жена, Светлана Иосифовна Маевская*, сын Николай, дочь Катя и внук Ваня.

Ранние работы и первая книга по неравновесной плазме 1950-1964

Ю.Л. Климонтович испытал определенное влияние своих научных руководителей лишь на начальной стадии своей деятельности, что можно видеть по его дипломной работе [1] и кандидатской диссертации. Позже, абсолютно

* Ныне покойная. - Ред.

самостоятельно, Юрий Львович разработал совершенно новый подход к статистической теории плазмы. Основная новая идея (1957) состояла во введении случайной функции (фазовой плотности), построенной на динамических траекториях всех частиц $\mathbf{r}_i(t), \mathbf{p}_i(t)$ [3]

$$N(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) = \sum_{i=1}^N \delta[\mathbf{r} - \mathbf{r}_i(t)] \delta[\mathbf{p} - \mathbf{p}_i(t)].$$

Данная функция удовлетворяет классическому уравнению Власова, которое является замкнутым (обозначим $x \equiv (\mathbf{r}, \mathbf{p})$),

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} - \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} U_{\text{eff}}(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) \frac{\partial}{\partial \mathbf{p}} \right) N(x, t) = 0,$$

$$U_{\text{eff}}(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) = U_{\text{ext}}(\mathbf{r}, t) + \int dx' \Phi(|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|) N(x', t)$$

в полной аналогии с полевыми операторами ψ, ψ^\dagger в квантовой теории поля. Поэтому Юрий Львович назвал свой метод «вторичным квантованием в фазовом пространстве». В настоящее время он называется просто «методом Климонтовича». В частности, этот метод дает следующее.

1. Статистические величины. Применение статистического усреднения дает одночастичную функцию распределения $\bar{N}(x, t) = n f_1(x, t)$, и непосредственно бесконечную цепочку уравнений Боголюбова (BBGKY), так как $\overline{N(x, t) \cdot N(x', t)} = n d(x - x') f_1(x, t) + n^2 f_2(x, x', t)$, а также все корреляционные функции g_2, g_3, \dots

2. Интегралы столкновения. Используя данный метод, Юрий Львович смог явно вычислить интегралы столкновения для неидеального газа и плазмы, включая интеграл Ландау и Ленарда - Балеску и сделать далеко идущие обобщения этих интегралов.

3. Флуктуации. Вычитанием средних значений получаем флуктуации плотности частиц $dN(x, t) = N(x, t) - n f_1(x, t)$ и полей dE . Метод Климонтовича позволяет развить полную неравновесную теорию флуктуаций..

4. Спектральные функции. Из анализа (двухвременных) корреляторов $dN dN$ и $dE dE$ непосредственно получают спектральные функции частиц и полей.

Ю.Л. Климонтович смог показать, что этот элегантный метод работает также в квантовом случае и может быть непосредственно обобщен на случай релятивистских систем [4,5]. Метод стал основой всей его последующей работы в многочисленных областях науки. Первое подробное изложение данного метода было дано в его известной монографии «Статистическая теория неравновесных процессов в плазме» (1964) [7]. Среди других ранних работ отметим его статьи:

- по электромагнитным флуктуациям в плазме, диэлектрической проницаемости и дисперсионному соотношению в квантовой плазме (1952) [2] (сделана в соавторстве с В.П.Силиным, за 2 года до работы Линдхарда);

- по квантовым кинетическим уравнениям для функций распределения, зависящих от времени и энергии (1956);

- по связанным кинетическим уравнениям для заряженных частиц и плазмонов (1959; независимо от Бома и Пайнса), по влиянию турбулентных возмущений и нелинейных волн на интеграл столкновения;

- по гидродинамическим приближениям (совместно с В. Эбелингом);

- обзор по неравновесной динамике плазмы (1960) [6] (в соавторстве с В.П.Силиным) оказал глубокое влияние на развитие статистической физики в целом, и, в частности, на разработку Келдышем оснований теории неравновесных функций Грина [E].

Эффекты неидеальности и электромагнитные процессы 1965-1980

Вскоре Ю.Л. Климонтович убедился, что обычные кинетические уравнения для идеальных газов и плазмы дают только равновесные результаты и перешел к выводу обобщенных кинетических уравнений [10,13]. В частности, он

- вывел немарковское уравнение Ландау;
- разработал концепцию разложения интегралов с запаздыванием;
- показал, что члены первого порядка в разложении с учетом нелокальности обеспечивают сохранение полной энергии;
- вывел из этих уравнений гидродинамические и газодинамические уравнения неидеальной системы;
- вывел на микроскопическом уровне поправки на неидеальность к термодинамическим (давление, энергия и т.д.) и кинетическим (проводимость, оптическое поглощение, формы спектральных линий и т.д.) величинам;
- получил интегралы столкновений в кинетических уравнениях в присутствии электромагнитных полей [14];
- сформулировал кинетические уравнения для атомов в электромагнитных полях и для частично ионизированной плазмы [14];
- систематизировал и развил теорию флуктуаций в газе, плазме и активных системах, включая нелинейные колебательные системы с обратной связью и лазеры [12].

Эти и многие другие результаты послужили основой двух его монографий: «Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы» (1975) [13] и «Кинетическая теория электромагнитных процессов» (1980) [14].

Характерной чертой всех публикаций и монографий Ю.Л. Климонтовича являлось то, что он избегал частого обращения к формальным математическим аспектам. Его главной целью всегда были практические приложения, расчет характеристик, которые допускают измерение. С конца 1970-х годов Юрий Львович часто посещал своих бывших учеников и коллег в Восточной Германии и, в частности, в Ростокском университете. В мае 1979 года в Lähnwitz проходила конференция, посвященная явлениям переноса в плотной плазме. Эта конференция была предшественником серии PNP-конференций. Первая подобная конференция (с которой начался отсчет этих мероприятий) состоялась в Matzlow-Garwitz. Юрий Львович также принимал участие во многих последующих конференциях: в Wustrow (1980,1988), Biesenthal (1984), Greifswald (1986), Berlin/Gosen (1991), Rostock/Markgrafenheide (1993), Binz (1995), Rostock (1998), Greifswald (2000).

В 1984 году появилась книга, которую мы считаем первой публикацией трудов PNP-конференции [18]. В этой книге опубликованы две статьи Юрия Львовича (в соавторстве с Эбелингом, Крэфтом, Крэмпом, Репке, Шлангес и др.).

Принципы статистической физики и физики открытых систем 1982-1999

Опубликовав большое количество оригинальных статей в различных областях науки, многочисленные обзорные статьи и три адресованные специалистам монографии, Ю.Л. Климонтович решил собрать и изложить свои результаты и опыт в учебнике, который был бы доступен студентам. Эта работа оказалась очень успешной. Учебник «Статистическая физика» (1982) [15] является уникальным в своей области, так как полностью базируется на неравновесном подходе. Поэтому вся статистическая физика излагается внутренне последовательным образом. Юрию Львовичу удалось представить все разделы как части одной общей области физики (в ярком контрасте со многим стандартными

учебниками). В таком подходе многие связи между «обычно» независимыми областями и приложениями становятся очевидными

И последнее по порядку, но не по значению. Ю.Л. Климонтович очень много сделал для развития теории квантовой плазмы, излучения и квантовых открытых систем. Исследование взаимодействия излучения с квантовыми системами и, в частности, с квантовой плазмой, являлось центральной темой исследований Юрия Львовича. Он начал с этой темы в своей дипломной работе, которая была вскоре опубликована в его первой статье (в соавторстве с Фурсовым): «Влияние взаимодействия между молекулами на торможение излучением в классической теории дисперсии света» (1949) [1]. Наконец, он посвятил одну из последних своих книг [32] квантовой теории и теории излучения. Фундаментальные проблемы, в которых ему удалось существенно продвинуться, включают:

- вывод неидеальных квантовых кинетических уравнений;
- формулировку новой флуктуационно-диссипационной теоремы для диссипативных систем;
- флуктуационно-диссипационные соотношения для атомов в полях излучения;
- новые подходы к явлениям сверхтекучести и сверхпроводимости.

Заключение

Научная биография Юрия Львовича Климонтовича является неординарной и уникальной. Несмотря на непростые жизненные ситуации, он смог проделать огромную научную работу, которая позволила некоторым ученым назвать его «Больцманом XX века». Укажем только наиболее значимые достижения Ю.Л. Климонтовича в области теории плазмы:

- вывод кинетических уравнений для заряженных частиц и полей, учитывающих частичную ионизацию, взаимодействие с плазмонами, нелинейные волны, турбулентность и др.;
- создание микроскопической теории флуктуаций и ее приложение к кинетической теории гидродинамики;
- вывод квантовых кинетических уравнений и их релятивистские обобщения;
- самое важное: разработка метода микроскопической фазовой плотности (микроскопической плотности в фазовом пространстве), который останется одним из самых мощных и последовательных подходов в статистической физике.

Статьи, посвященные Ю.Л. Климонтовичу

A. Ebeling W., Romanovsky Yu.M. *On the 75th birthday of Yuri L. Klimontovich*, *Contr. Plasma Physics* **39**, 285-286 (1999).

B. *Contr. Plasma Physics*: **39**, № 4 (1999): Special issue with articles dedicated to Yu.L. Klimontovich's 75th birthday.

С. Анищенко В.С. *Ю.Л. Климонтович*. Изв. вузов Прикладная нелинейная динамика, 2003. Т. 10, № 6. С. 147-149.

Д. Гдалевич Г.И. *Памяти Юрия Львовича Климонтовича*. Научная газета «Наука и технология в России». Март 2003.

E. Bonitz M. *In memoriam Yuri Klimontovich*. P. vii in: *Progress in Nonequilibrium Green's Functions II*. M. Bonitz and Dirk Semkat (eds.), World Scientific Publ., Singapore 2003.

**Библиография книг, обзоров и избранных статей Ю.Л. Климонтовича
(в хронологическом порядке)**

1. *Климонтович Ю.Л., Фурсов В.С.* Влияние взаимодействия между молекулами на торможение излучением в классической теории дисперсии света. *ЖЭТФ* **19**, 819 (1949).
2. *Климонтович Ю.Л., Силин В.П.* О теории спектров возбуждения макроскопических систем. Докл. Акад. Наук **82**, 361 (1952); О спектрах систем взаимодействующих частиц, *ЖЭТФ* **23**, 151 (1952).
3. *Климонтович Ю.Л.* О методе «вторичного квантования» в фазовом пространстве. *ЖЭТФ* **33**, 982 (1957) [*Sov. Phys. JETP* **6**, 753 (1958)].
4. *Климонтович Ю.Л.* Релятивистские кинетические уравнения. *ЖЭТФ* **37**, 375 (1959); *ЖЭТФ* **38**, 1212 (1960).
5. *Klimontovich Yu.L.* Relativistic transport equations for a plasma. *Sov. Phys. JETP* **10**, 524 (1960); **11**, 876 (1960).
6. *Климонтович Ю.Л., Силин В.П.* О спектрах систем взаимодействующих частиц и коллективных потерях при прохождении заряженных частиц через вещество. *УФН* **70**, 247 (1960).
7. *Климонтович Ю.Л.* Статистическая теория неравновесных процессов в плазме. М.: Изд-во МГУ, 1964; Oxford: Pergamon Press, 1967.
8. *Климонтович Ю.Л.* Вопросы статистической теории взаимодействия атомов с излучением. *УФН* **101**, 577 (1970) [*Sov. Phys. Usp.* **13**, 480, 1971].
9. *Климонтович Ю.Л., Ковалев А.С., Ланда П.С.* Естественные флуктуации в лазерах. *УФН* **106**, 279 (1972).
10. *Климонтович Ю.Л., Эбелинг В.* Квантовые кинетические уравнения для неидеального газа и неидеальной плазмы. *ЖЭТФ* **63**, 905 (1972).
11. *Климонтович Ю.Л.* Кинетические уравнения для неидеального газа и неидеальной плазмы. *УФН* **110**, 537-568 (1973).
12. *Зейгер С.Г., Климонтович Ю.Л., Ланда П.С. и др.* Волновые и флуктуационные процессы в лазерах. М.: Наука, 1974; *Климонтович Ю.Л.* Квантовые генераторы света и нелинейная оптика. М.: Просвещение, 1966, 200 с.
13. *Климонтович Ю.Л.* Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы. М.: Наука, 1975; Oxford: Pergamon Press, 1982.
14. *Климонтович Ю.Л.* Кинетическая теория электромагнитных процессов. М.: Наука, 1980; Springer, Heidelberg, 1982.
15. *Климонтович Ю.Л.* Статистическая физика. М.: Наука, 1982.
16. *Климонтович Ю.Л.* Диссипативные уравнения для многочастичных функций распределения. *УФН* **139**, 689-700 (1983).
17. *Ebeling W., Klimontovich Yu.L.* Selforganization and turbulence in liquids. Teubner, Leipzig, 1984.
18. *Ebeling W., Fortov V.E., Klimontovich Yu.L., Kovalenko N.P., Kraeft W.D., Krasny Yu.P., Kremp D., Kulik P.P., Riaby V.A., Röpke G., Rozanov E.E., Schlanges M.* Transport properties of dense plasmas. Birkhäuser, Basel, Boston, Stuttgart, 1984.
19. *Климонтович Ю.Л.* Флуктуационно-диссипационные соотношения. Роль конечного времени корреляции. Квантовое обобщение формулы Найквиста. *УФН* **151**, 309-332 (1987).
20. *Klimontovich Yu.L., Kremp D., Kraeft W.D.* Kinetic theory for chemically reacting gases and partially ionized plasmas. *Adv. Chem. Phys.* **68**, 175-253 (1987).
21. *Klimontovich Yu.L. and Bonitz M.* Evolution of the entropy of stationary states in selforganization processes in the control parameter space. *Z. Phys.* **B70**, 241 (1988).
22. *Климонтович Ю.Л.* Проблемы статистической теории открытых систем: критерии относительной степени упорядоченности состояний в процессах самоорганизации. *УФН* **158**, 59-91 (1989).
23. *Klimontovich Yu.L., Wilhelmson H., Yakimenko I.P., Zagorodny A.G.*

Statistical theory of plasma-molecular systems. Physics Reports **175**, 263 (1989); Климонтович Ю.Л., Вильгельмсон Х., Якименко И.П., Загородний А.Г. Статистическая теория плазменно-молекулярных систем. М.: Изд-во МГУ, 1990.

24. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. М.: Наука, 1990.

25. Климонтович Ю.Л. Нелинейное броуновское движение. УФН **164**, 811 (1994).

26. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной степени упорядоченности в открытых системах. УФН **166**, 1231-1244 (1996).

27. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. Т. 1. М.: Янус, 1995.

28. Климонтович Ю.Л. Физика бесстолкновительной плазмы. УФН **167**, 23 (1997).

29. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. Т. 2. М.: Янус, 1995.

30. Климонтович Ю.Л. Что такое стохастическая фильтрация и стохастический резонанс? УФН **169**, 39-47 (1999).

31. Климонтович Ю.Л. Энтропия и информация открытых систем. УФН **169**, 443 (1999).

32. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. Т. 3. Теория квантовых открытых систем. М.: Янус, 2001.

33. Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем. М.: Янус-К, 2002. 284 с.

34. Климонтович Ю.Л. Штрихи к портретам ученых. Дискуссионные вопросы статистической физики (последняя рукопись, не опубликована).

*Перевод с английского Г.И. Стрелковой
под редакцией В.И. Емельянова и Ю.М. Романовского*

CONTRIBUTIONS OF YURI L. KLIMONTOVICH TO THE KINETIC THEORY OF NONIDEAL PLASMAS

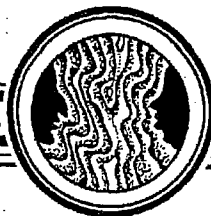
*M. Bonitz*¹, *W. Ebeling*², *Yu. M. Romanovsky*³

¹ Rostock University, Physics Department, D-18051, Rostock, Germany,
e-mail: bonitz@uni-rostock.de, Phone: +0049 381 498 1608, Fax: +0049 381 498 1603

² Humboldt University, Physics Department, D-12489 Berlin, Germany

³ Lomonosov University, Physics Department, 119992 Moscow, Russia

We give a short summary of life and work of Yuri L. Klimontovich (1924-2002), in particular we discuss his work on nonideal plasma physics.



ЧЕЛОВЕК НЕОБЫЧАЙНОЙ СИЛЫ ВОЛИ И НЕОБЫЧНОЙ СУДЬБЫ*

Что я могу вам сказать о Юрии Львовиче? Действительно, я его знаю почти 50 лет, просто я пришел в качестве аспиранта в 1955 году на кафедру С.П. Стрелкова на физфак МГУ. И приблизительно в это время Стрелков взял Юрия Львовича в качестве доцента. И поэтому я с ним прожил бок о бок очень много лет, причем это «бок о бок» - не только служебные отношения. Это и всяческие совместные туристические походы, и за границей мы живали в одной квартире по несколько недель и даже месяцев, то есть взаимоотношения были у нас очень тесные. Квартира его находилась рядом с нашей работой, буквально через триста метров. Последние 30 лет он жил за кинотеатром «Литва», там несколько университетских домов стоит, вот он там жил. Юрий Львович умер, когда ему 78 стукнуло.

Родился он в сентябре 1924 года в Москве. У него еще было два брата и оба попали на фронт в Великую Отечественную. Один сразу погиб, а другой вернулся инвалидом, у него ноги не было до колена. Он был редактором издательства «Просвещение», не главным, а просто редактором. А вот Юрий Львович на фронт не попал, так как в детстве заболел очень тяжелым туберкулезом, костным, и лежал несколько лет, я не помню точно, но не два года, а больше. Перенес тяжелую операцию. Если кто-нибудь замечал, у него шея повернута немножко, это последствие операции в детстве. И несмотря на все это, он кончил школу великолепно.

Вообще Юрий Львович был человеком необычайной силы воли и необычной судьбы. Время было сложное, семья очень бедствовала, там репрессии были и всякие такие вещи, а он все же кончил университет, физфак. Научным руководителем у него был В.С. Фурсов. Занимался Юрий Львович статфизикой, теорией плазмы, а кандидатскую он делал у Н.Н. Боголюбова. Такие вот у него были учителя. И, как я понимаю, с этими людьми остались у него теплые отношения, и личные, и всякие. В том числе и с Фурсовым. Кто помнит, Фурсов был крепким человеком и уж за тех людей, в которых был уверен как в ученых, как в личностях, всегда стоял, поддерживал их и за них ложился, как говорится,

* По материалам «Круглого стола памяти Ю.Л. Климонтовича», проходившего в рамках X Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». Январь, 2003 г. Председатель орг. комитета Г.Ю. Ризниченко. См. также сб.: «Языки науки - языки искусства» / Под ред. З.Е. Журавлевой. Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. С. 336.

костями перед парткомом, перед кем угодно. Это личность была уникальная. Он 35 лет был деканом физфака, а физфак был, наверное, самым крупным факультетом в России. У нас сотрудников было в лучшие времена 4,5 тысячи человек, сейчас - около 3 тысяч. Туда сейчас институты включаются - ГАИШ, НИИЯФ, а все это был наш физфак, и Фурсов держал все в руках. Это на самом деле очень важно, что он был учителем Юрия Львовича - у них остались потом теплые отношения навсегда.

В 1957-58 годах появились известные публикации Юрия Львовича. Главное его научное направление - теория неидеальных газов и теория неидеальной плазмы. Он, конечно, в своей науке поднялся высоко. Фактически Юрия Львовича можно сопоставить с такими физиками, как И. Пригожин и Г. Хакен. А они его признавали, если хотите, не только как товарища, но и как равновеликого человека. Сюда можно еще присовокупить Вернера Эбелинга. Он поступил аспирантом на нашу кафедру в 1961 году. И сейчас к нам постоянно приезжает из Германии. Вот такие личности. Были и в Америке люди, научно близкие Юрию Львовичу. Майкл Конрад, например. К сожалению, уже умер. Эти люди совершенно по-новому взглянули на мир как физики. Этот взгляд, в отличие от огромного числа замечательных работ, посвященных закрытым системам, заключался в рассмотрении всех систем в качестве открытых. А Юрий Львович за последние пятнадцать лет, когда был чрезвычайно болен и много раз оперирован по поводу рака, написал трилогию из трех книг - это теория открытых систем, то есть статистическая теория открытых систем. А последний том, он читается как роман, посвящен квантовым открытым системам. Это уникальные книги.

Немного о Юрии Львовиче как о человеке. Я что-то не помню, чтобы в нашем коллективе кафедры у него были какие-то конфликты, правда, пока не появился С.А. Ахманов. У них с ним был антагонизм. Юрий Львович был человек весьма доброжелательный, очень внимательно относящийся к молодым. Он был самодостаточен в том смысле, что мог наукой заниматься сам. Ведь есть разные ученые, некоторые собирают коллективы, используют учеников при написании монографии и так далее. А он свои монографии, которых, наверное, около пятнадцати и которые все сразу переводились на английский язык, писал собственной рукой. Более того, когда я с ним жил в Германии, я видел, что он и переводил их очень современным образом - с помощью компьютера.

Еще я хочу сказать, как он повлиял на мое развитие. Казалось бы, мы с ним находились рядом. Но ведь не с ним одним я находился рядом. С Р.Л. Стратоновичем, великим человеком, мы тоже находились рядом и, казалось бы, ближе соприкасались по нашим интересам. У нас было несколько совместных научных трудов. Стратонович меня учил, хотя и был моим сверстником. У него я очень много взял, будучи его соавтором. С Юрием Львовичем я не написал ни одной работы, но вся жизнь моя определялась именно его замечаниями. Я просто перечислю эти моменты, и это типичный пример. Многие именно так воспитывались и руководились им. Когда я пришел в аспирантуру, у меня была тема - полет самолетов в турбулентной атмосфере. Шефом моим был Стрелков, великий специалист по части авиации, самолетов. И вот я этим делом занимаюсь, и вдруг однажды Юрий Львович говорит мне: «Что ты!? Вот я предложу тебе тему, ей никто еще не занимался, все флюктуациями занимаются, а вот в колебательных системах частота флюктуирует. Будет ли при этом параметрический резонанс или нет? Вот бы занялся ты этим». Я спрашиваю: «А как? А что делать?» Зеленый был, так как пришел в аспирантуру с завода. Юрий Львович посоветовал идти к Стратоновичу. И все. Ну, я пошел к Руслану, он мне чего-то там написал, но я ничего не понял. Однако, в конце концов, получилась серия работ.

А вот как я занялся биофизикой. Начинать с самолетов, потом, вообще,

занился военной тематикой. Деньги в то время зарабатывались хоздоговорами. И много экспедиций у нас было. Правда, Юрий Львович никогда не участвовал ни в этих хоздоговорах, ни в экспедициях, а мы со Стратоновичем участвовали. Однажды, это было в шестидесятых годах, и еще не было широко известно о реакции Белоусова - Жаботинского, мне Юрий Львович и говорит: «Что ты ерундой занимаешься! Знаешь, кафедру биофизики сделали на факультете? А ты не знаешь, что там делается! Вот и диплом Букатиной ты не знаешь! Там три компонента в модели биохимической реакции, и в трех компонентах происходят колебания. Вот и посмотри!» И я начал этим заниматься. А потом судьба свела меня с Д.С. Чернавским. У нас получились совместные работы с ним и Н. Степановой, а Юрий Львович все время наблюдал. Потом вдруг говорит: «Чего это вы тут делаете? Давно пора книгу писать по этой вашей математической биофизике. Ведь нет ни одной в России!» Это было сказано в конце шестидесятых годов. Я ему: «А что же делать?» А он мне: «Вот тебе телефон моего брата, позвони ему, он тебе закажет книгу». Так появилась эта книжка - «Что такое математическая биофизика». Она была переведена во многих странах. Потом опять он мне говорит: «Ты что до сих пор диссертацию докторскую не написал?!» А я ему в ответ: «А что, надо?» А он: «Конечно, надо». Ну, я как всегда: «А что мне делать?» «Ну, вот завтра принеси мне введение». И так далее. Почему я рассказываю эту историю? Я думаю, что очень многие взаимодействовали с ним именно так. В результате у Юрия Львовича на самом деле очень много учеников, в судьбе которых он сыграл ключевую роль. И именно благодаря неформальным встречам, беседам, дискуссиям. Для этого было не обязательно быть у него аспирантом. Достаточно было просто общаться с ним. Он удивительно умел слушать и мгновенно понимал суть любого вопроса.

Я наблюдал его последние двадцать лет на семинаре по синергетике. Кстати сказать, мы создали его втроем - я, В.В. Алексеев и Н. Степанова. Потом появился Ю.А. Данилов и пришел Юрий Львович. И стал семинар по синергетике Юрия Львовича. Туда приглашались самые разные люди со всего Советского Союза. И люди рассказывали по 120 минут, им и сейчас предоставляется такое время - только расскажи! И Юрий Львович интересовался всем - и экономикой, и математикой, и биологией. У него всегда была крайне доброжелательная реакция, если даже ему не нравилось, что говорил докладчик. Он видел, что человек способный, и никакого безобразия не было. У меня есть с кем сравнить. Я, например, присутствовал на семинарах такого человека, как И.М. Гельфанд. Великий человек! Но это было что-то ужасное. Вы даже себе это не представляете! Он просто хватал докладчика за шиворот и неизвестно что с ним делал. Единственный, кто его мог усмирять - это М.Л. Цетлин. Цетлин всегда сидел с трубкой на задней парте и говорил: «Подождите, Израиль Моисеевич, прекратите, сядьте на место». А у Юрия Львовича всегда по любому поводу был интересный комментарий. Он старался человека мягко увести туда, где ему самому было интересно.

В последние годы жизни, особенно в последние лет десять, у Юрия Львовича появилось такое свойство - когда у него возникали новые идеи, он всюду с этими идеями выступал. Он уже был Гумбольдтовским профессором и ездил по всему миру. Его все приглашали. И он всюду проповедовал свои теории. Например, вопрос в том, что более организовано - ламинарное течение или турбулентное. Он все время ставил именно такие спорные вопросы. Некоторые даже считали его каким-то заикленным человеком и не понимали, что это он и здесь выступает, и там. Что такое? А мне Г.Ю. Ризниченко лет семь тому назад объяснила: «Понимаешь, ведь он же так мыслит. У него такой способ мышления». Это она правильно объяснила. Он хотел успеть рассказать и выслушать мнения аудитории.

Последний месяц жизни ему было очень тяжело. У него были сильные боли, и он очень страдал. Но при этом он мне мог сказать: «Вы монографию написали? У вас дискета есть?» Это о нашей монографии с Эбелингом. «Я хочу ее посмотреть. И мы ее с тобой обсудим». У него всегда был такой разговор. По телефону звонит и говорит: «Что-то давно тебя не было, я хочу с тобой обсудить неважно что». И я уверен, что такие предложения поступали самым различным людям. В последний месяц он уже не мог это делать, ему было трудно даже использовать свой notebook. У него руки очень болели.

За последний год, несмотря на тяжелое состояние, он написал новую книгу «Нерешенные задачи статистической физики и пятнадцать портретов». Он был очень настойчивый человек, и хотел эту книгу увидеть при жизни. Он обратился к издательству на факультете, которое печатает авторефераты и другие мелкие работы. Хотел, чтобы эту книгу напечатали именно таким способом, чтобы быстро. По этому поводу заседал Ученый Совет, и члены Совета испугались, потому что в книге идет очень большая дискуссия с академиком В.Л. Гинзбургом. Если вы читаете книгу, вы это поймете. Они с Гинзбургом были заиклены друг на друге. Это очень интересное психологическое явление. Никто же не ниже, и не выше. На протяжении многих веков всегда были ученые противоположной направленности. И наш Ученый Совет струсил, побоялся дать разрешение на публикацию.

Потом уже члены Совета мне об этом говорили, после того, как Юрий Львович умер. Но сейчас решили отдельно издать, по крайней мере, часть книги, посвященную пятнадцати портретам. А что это за пятнадцать портретов? Это люди, которые повлияли на его жизнь и на его научную судьбу. Там есть и Фурсов, и еще другие великие, но там есть и совершенно незнакомые фамилии, которые, может быть, только каким-то специалистам известны. И я надеюсь, что мы увидим эту книжку. Надеюсь также, что Зоина и Галина организация¹ это тоже поддержит. Ведь сейчас все очень просто публиковать. А перед этим он написал еще одну книгу, которая уже переводится и представляет собой квинтэссенцию этих трех его томов. Я, правда, ее еще не читал.

1. На кафедре теоретической физики УрГУ им. А.М. Горького после возвращения с Зимней теоретической школы в Коуровке Свердловской обл., слева направо: Ю.Л. Климонтович, Л.Я. Кобелев (УрГУ, Свердловск), А.А. Рухадзе (ФИАН, Москва). Свердловск, начало 1960-х. Фото В.П. Силина. *Архив Л.Я. Кобелева*

2. Свердловск, весна 1961 года.

Фото и архив Л.Я. Кобелева

3. На отдыхе у истока Волги близ деревни Пальки. Лето 1984 года.

Фото и архив В.С. Анищенко

4. Ю.Л. Климонтович, профессор СГУ В.С. Анищенко, аспирант МГУ М. Бониц, ныне профессор Ростокского университета, Германия. Общежитие МГУ, 1985 год

Архив В.С. Анищенко

5. Участники Зимней теоретической школы в Коуровке Свердловской обл. слева направо: А.А. Рухадзе (ФИАН, Москва), В.П. Силин (ФИАН, Москва), П.С. Зырянов (ИФМ, Свердловск), Ю.Л. Климонтович, А.В. Гуревич (ФИАН, Москва). Свердловск, начало 1960-х.

Фото и архив Л.Я. Кобелева

6. В парке Качивели. Школа «Дифференциальные уравнения, бифуркации и хаос». Крым, май 1991(?) года.

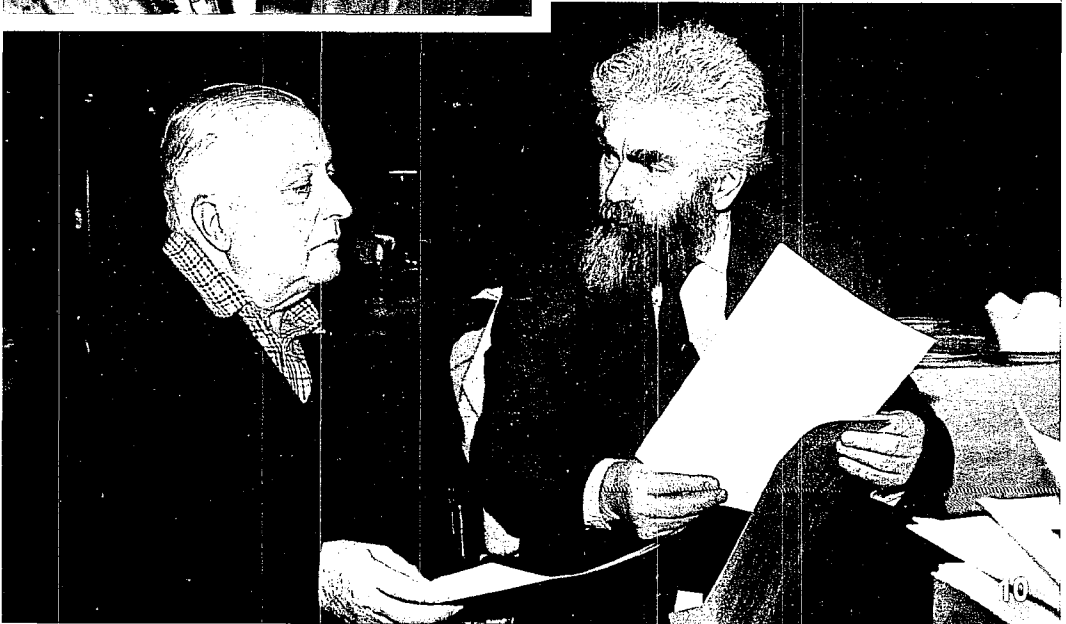
Фото и архив В.С. Анищенко

7. Ю.Л. Климонтович и И. Пригожин перед лекцией И. Пригожина «О парадоксе времени». МГУ, июнь 1993 года.

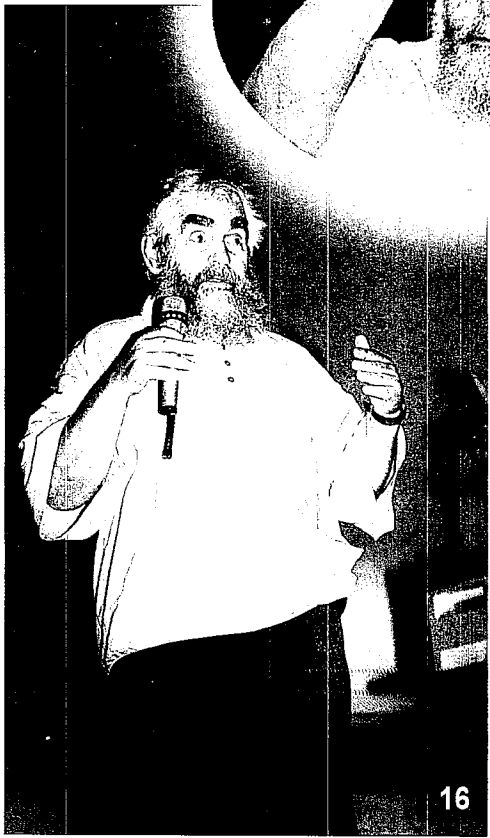
Архив семьи Климонтович

¹ З.Е. Журавлева и Г.Ю. Ризниченко, с 1999 года Международная общественная организация «Женщины в науке и образовании»









Продуктивность его работы была просто сногшибательной. Ведь он писал и сам набирал. В его работах очень много сложных формул. Эти сложные формулы занимают иногда несколько страниц. Мне кажется, что там мало ошибок, насколько я разбираюсь в них. Конечно, у Юрия Львовича были и свои недостатки в изложении материала, что некоторых людей не могло удовлетворить. Особенно это касается его первых монографий, которые сразу переводились на английский язык. В них, например, трудно найти числовые оценки. Но он самовоспитывался, и в книге «Статистическая физика» уже можно найти и расчеты броуновского движения, и другие оценки распределений. В своей трилогии он потом все это развил.

На вкладке есть очень грустная фотография № 11, стр.17. Она была сделана в 2001 году в Берлине, осенью. У Юрия Львовича в руках третий том трилогии. Он привез два сигнальных экземпляра в Берлин. Это, повторяю, очень грустная фотография, потому что она как бы перелом эпох. Юрий Львович был уже очень болен и лечился в известной клинике Шарите, главной Берлинской клинике, которая относится к Гумбольдтскому университету. Вернер о нем очень заботился и буквально его туда водил. И еще, на следующий день после того, как сделали эту фотографию, кабинет Вернера закрыли, потому что ему исполнилось шестьдесят пять лет. По этому поводу устроили большую торжественную конференцию. И все. Человек без должности - никто. Так вот! Кстати сказать, у него в кабинете была большая библиотека. Много и русских изданий. Эта библиотека была перенесена в другое место, а в кабинете Вернера сидит теперь совсем другой человек - Игорь Соколов, из ФИАНА, русский. Но он - человек пока временный. Еще раз хочу повторить, что для меня эта фотография - рубеж эпох. Что-то закрылось, эпоха кончилась. Чтобы еще как-то охарактеризовать Юрия Львовича, скажу, что были люди, которые его очень уважали, ценили и любили. Именно любили. Например, Ф.В. Бункин, замечательный физик, А.А. Рухадзе и многие другие. И я знаю со слов одного человека, что Рухадзе на Всемирной конференции по теоретической физике в Триесте буквально сказал следующее: «Юрий Львович - это Больцман двадцатого века».

8. Ю.Л. Климонтович и Г. Хакен во время прогулки на пароходе.
Конференция «Синергетика- 83» в Пуццино.

Архив семьи Климонтович

9. Ю.Л. Климонтович и И. Пригожин на открытии конференции «Синергетика-83» в Пуццино.

Архив семьи Климонтович

10. И. Пригожин и Ю.Л. Климонтович. МГУ, 1993 год.

Архив семьи Климонтович

11. Ю.М. Романовский, Ю.Л. Климонтович, В. Эбелинг в кабинете В. Эбелинга в последние дни перед уходом его на пенсию. Гумбольдтский университет, Берлин, 2001 год.

Архив семьи Климонтович

12. Выступление на конференции по статистической физике. Париж, 2000 год.

Архив В.С. Анищенко

13. МГУ, 1980 год

Архив семьи Климонтович

14. Ю.Л. Климонтович и Г. Хакен во время прогулки. Международный симпозиум «Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium». Пуццино, июль, 1983 год.

Архив семьи Климонтович

15. С коллегами из УрГУ после оппонирования на защите кандидатской диссертации и чтения лекций по проблемным вопросам статистической физики открытых систем, слева направо: академик РАН В.П. Скрипов, Ю.Л. Климонтович, профессора физического факультета УрГУ Л.Я.Кобелев, А.Н. Бабушкин, А.С. Москвин. Екатеринбург, май 2001.

Фото Я.Л. Кобелева, архив Л.Я. Кобелева

16. Выступление на конференции по статистической физике. Париж, 2000 год.

Архив семьи Климонтович

17. На даче у семьи профессоров СГУ В.С. Анищенко и Т.Г. Анищенко под Саратовом. Осень 2001 года.

Архив В.С. Анищенко

А теперь я скажу о некоторых спорных моментах той науки, которой занимался Юрий Львович, в том смысле, как я их понимаю, и о том, что его в ней волновало.

Термодинамика и статистика открытых систем является совершенно новой областью науки. Она совершенно по-другому смотрится. Например, вы берете уравнения гидродинамики Навье - Стокса или то, что на любой конференции сейчас часто звучит - уравнение «хищник - жертва» Вольтеры. Вы эти уравнения исследуете, решаете и делаете с ними, что хотите, навешиваете много систем, параметров и т.д. А что Юрий Львович говорил?! В чем он меня воспитал. Он говорил: «Господа! Эти уравнения для средних величин. Для каких-то функций распределения. В них обязательно должны быть флюктуационные члены, так как эти уравнения имеют дело с физически малым объемом, а не с точкой. В этом объеме должно быть много физических точек. А уж если говорить об уравнении «хищник - жертва», если вы моделируете что-то с белыми медведями и там физический объем - километр на километр, так вы там белого медведя и не найдете». И он дал метод, как эти флюктуационные члены вводить.

Он имел свои взгляды на то, что такое хаос, которые были изложены в двух книгах по хаосу, одна - с Вернером, а другая, только его, вышла в издательстве «Наука». У него было точное представление о хаосе. Он говорил: «Ламинарное движение - самое беспорядочное движение, а турбулентное движение - это движение с самой высокой организацией». При таких словах люди лезли на стену. Как это может быть?! А, на самом деле, это действительно так. Что такое ламинарное движение? При этом движении каждая молекула движется в тепловой флюктуации и число степеней свободы - порядка числа Авогадро и даже более. И там есть единственная выделенная координата - координата-профиль. А в турбулентном движении существует много осмысленных координат, очень интересных, помимо флюктуаций, которые там, безусловно, есть. Это уже и есть самоорганизация природы. Это же касается галактик и т.д. Такой взгляд встречал сопротивление. Но он же не просто слова говорил, он давал критерии, он доказал «S-теорему». Например, как описать состояние генератора, который только должен возбудиться? Предположим, что он еще не перешел границу возбуждения, и там флюктуации очень сильно растут. И вот из одной флюктуации вырастает этот предельный цикл. Как эту систему рассматривать? Какие веса должны иметь эти координаты, и в каком направлении развиваются эти неравновесные системы? Он дал соответствующие теоремы, а его последователи - В.С.Анищенко, например, или мой бывший аспирант В.А.Васильев - применяли их в радиофизике или других местах, например в медицине.

Ну что вам еще сказать о научных переживаниях Юрия Львовича? В последнее время его волновали несколько проблем. Например, проблема сверхтекучести и сверхпроводимости. В последней книге про квантовую механику этой проблеме посвящена целая глава. Я боюсь соврать, но я понял так, что представление о «вечном токе» надо рассматривать как очень долгий переходный процесс, а это все опирается на его теорию фликкер-шума. Юрий Львович считал, что есть очень много процессов в физике, где очень важно поведение спектра, который стремится к нулю бесконечно. Он очень четко и ясно понимал, что не существует такого генератора, у которого есть совершенно поразительно тонкая линия. Потому что у любого генератора есть время включения и выключения. Никогда нельзя исключить влияния внешнего мира.

И как подходить к квантовой механике с этих точек зрения - мало понятно. Насколько я знаю, по Шредингеру, обычно рассматривается консервативная система, а как быть с внешними влияниями? Здесь есть очень много интересного, которое еще мало проанализировано, и это волновало Юрия Львовича. В беседах с ним я критиковал его вот за что. Он говорил, что в уравнения Навье - Стокса необходимо включать случайные источники. Я с этим соглашался, но просил его

определить, в каких конкретно задачах это нужно делать, потому что есть целый класс задач, где это не нужно делать. Где граница этих поправок? По этому вопросу некоторые его ученики пытались продвинуться, но сам он обычно шел дальше, не останавливаясь на этих вопросах, хотя и пытался приводить массу примеров, связанных с броуновским движением и со структурами генераторов. Если вы возьмете второй том монографии, то там эти задачи есть.

Что можно еще сказать? Я вообще рассматриваю человека как аналога Вселенной. Тем более такого человека, как Юрий Львович. Это целая Вселенная, которая вмещает в себя и историю того, что было, и то, как устроен мир, и как мы с вами устроены. В нем все это вмещалось. Вселенная, конечно, неисчерпаема, огромна, но она без души, она не может даже предсказать своего будущего. А Юрий Львович представлял собой такое море, такую Вселенную, из которой следовало, что может случиться и в природе, и со всеми нами. Он очень интересовался общественными вопросами, при этом он никогда не был партийным человеком. Он никогда не был злопыхателем. Он очень мобильно подходил ко всем событиям социальной жизни.

Юрий Львович очень любил природу, любил уезжать на дальние острова. Галину женскую организацию он очень любил и поддерживал, и всегда был желанным гостем на всех конференциях. Он любил сам встречать гостей, и если это случалось в университете, водил их в профессорскую столовую МГУ. Университет он очень любил и Москву тоже. Любил водить гостей по Москве и рассказывал удивительные истории об улицах, зданиях Москвы и т.д. Он был очень компанейским и демократичным человеком, вообще любил компании, туристские походы. Мог спорить до одурения до трех часов ночи. Водочку любил выпить. Даже до самого последнего времени. У него дома стопочки были в виде хрустальных сапожков.

Юрий Львович всегда читал физику на мехмате, причем там было довольно много часов. И он читал полный курс статфизики. Много лет прокатывал этот курс. А на физфак он тоже хотел выйти со статфизикой, но ему не давали. Была конкуренция за часы, и читать не давали.

Когда С.П.Стрелков, наш заведующий кафедрой, умер, к нам пришел С.А. Ахманов с большой командой. Кафедра стала большой и к тому же, помимо преподавания общей физики математикам, выпускающей (до 40 дипломников-радиофизиков в год). Когда погиб Р.В. Хохлов, С.А. Ахманова поставили заведующим над кафедрами общей физики и волновых процессов. Получился огромный конгломерат, из которого вылез маленький коллектив с академиком Л.В. Келдышем во главе. Кафедра Л.В. Келдыша стала называться кафедрой квантовой электроники. Она сейчас маленькая. А наша кафедра общей физики и волновых процессов выпускает в год 35-40 специалистов. Юрий Львович работал на нашей кафедре с 1955 года до 1989 года. Но у него начались конфликты с Ахмановым. Ахманов был очень своеобразным человеком, безусловно, талантливым. Стратоновича он считал гением, а Климонтовича просто не замечал. И Юрий Львович спокойно ушел на кафедру физики низких температур. Там ему ректор дал лабораторию синергетики, где он и работал. Он очень много ездил по свету, и для него это было очень важно. А у нас на кафедре была большая педагогическая нагрузка, и Ахманов все время заводился из-за частых отъездов Юрия Львовича. Так что жизнь он закончил на кафедре физики низких температур, где читал курс «Открытые системы». Но читал нерегулярно. А общие курсы Юрий Львович последние годы не читал.

*Ю.М. Романовский,
д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики и
волновых процессов физического факультета МГУ,
руководитель Лаборатории лазерной и
математической биофизики МГУ*

Комментарии

Стрелков Сергей Павлович - профессор, заведующий кафедрой общей физики для механико-математического факультета МГУ, на которой работал ЮЛК с 1955 года.

Фурсов Василий Степанович - профессор, декан физического факультета МГУ (с 1954 до начала 1990-х годов), научный руководитель дипломной работы ЮЛК.

Конрад Михаил - известный физик из США.

Ахманов Сергей Александрович - профессор, заведующий кафедрой общей физики и волновых процессов физфака МГУ (с 1975 по 1991 год), ЮЛК работал на этой кафедре (с 1975 по 1989 год).

Стратонович Руслан Леонтьевич - профессор физфака МГУ, работал на одной кафедре с ЮЛК.

Букатина Анна биофизик, работала в институте биофизики АН в Пушкине.

Чернавский Дмитрий Сергеевич - профессор кафедры биофизики биофака МГУ, руководитель секции теоретической биофизики ФИ РАН.

Алексеев Вячеслав Викторович - профессор, руководитель лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ.

Степанова Наталья Вячеславовна - д.ф.-м.н., научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов физфака МГУ (с 1955 по 1993 год).

Данилов Юлий Александрович - профессор, работал ведущим научным сотрудником РНЦ «Курчатовский институт».

Гельфанд Израиль Моисеевич - математик, академик РАН, глубоко интересовался проблемами биологической кибернетики.

Цетлин Михаил Львович - в последние годы жизни профессор физфака МГУ, один из основоположников теории автоматов.

Эбелинг Вернер - профессор Гумбольдтского университета в Берлине, аспирант ЮЛК (с 1960 по 1961 год).

Гинзбург Виталий Лазаревич - физик-теоретик, академик, Нобелевский лауреат.

Соколов Игорь - профессор Гумбольдтского университета, выпускник физфака МГУ, ученик Л.В.Келдыша.

Бункин Федор Васильевич - физик-теоретик, академик РАН.

Рухадзе Анри Амвросьевич - физик-теоретик, профессор МГУ, главный научный сотрудник ИОФ РАН.

Анищенко Вадим Семенович - профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физфака Саратовского госуниверситета.

Васильев Владислав Андреевич - руководитель лаборатории моделирования Института скорой помощи им. Склифосовского, выпускник кафедры общей физики и волновых процессов физфака МГУ.

Хохлов Рем Викторович - академик РАН, ректор МГУ (с 1973 по 1977 год), создатель кафедры волновых процессов физфака МГУ.

Келдыш Леонид Вениаминович - академик РАН, создатель кафедры квантовой электроники физфака МГУ.

Ризниченко Галина Юрьевна - профессор кафедры биофизики биофака МГУ, выпускница кафедры общей физики и волновых процессов физфака МГУ, создатель и руководитель Межрегиональной общественной организации «Женщины в науке и образовании».

Журавлева Зоя Евгеньевна - писатель, редактор газеты «Госпожа удача», издаваемой Межрегиональной общественной организацией «Женщины в науке и образовании».

Боголюбов Николай Николаевич - академик РАН, руководитель ЮЛК в аспирантуре.

ГАИШ - Государственный астрономический институт им. Штейнберга при физфаке МГУ.

НИИЯФ - Научно-исследовательский институт ядерной физики при физфаке МГУ.

ВМиК - факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ.

УЧЕНЬЙ С ОЧЕНЬ ШИРОКИМ ВЗГЛЯДОМ НА МИР*

Вспоминая сегодня Юрия Львовича, я думаю, что мой взгляд на него имеет глубоко личный, субъективный характер. И у меня, поверьте, нет никакого желания казаться объективным. Стремиться к этому, на мой взгляд, значит - грешить против истины. Поэтому мне хотелось бы заранее извиниться перед слушателями за то, что о некоторых своих личных обстоятельствах, связанных со встречами с Юрием Львовичем, я буду вынужден рассказывать подробнее, чем, может быть, следовало бы.

По молодости нас воспитывали так, что все люди, пока речь идет об обсуждении научных проблем, как бы равнокалиберные, одного уровня, что ли. Казалось, что никто из моих сверстников, будучи студентами, не разделял точки зрения, что только в силу своего возраста и большего жизненного опыта кто-либо может иметь более авторитетную точку зрения, чем ты сам. Важны только аргументы и факты, а не «мнения авторитетов». Мне не единожды приходилось убеждаться впоследствии, что в реальности все обстоит иначе. И часто точка зрения тех, кто сильно младше, вообще никого не интересует. Удивительно, но в общении с Юрием Львовичем, о чем бы речь ни шла, я никогда не чувствовал нашей разницы в возрасте.

Поскольку я принадлежал к другому поколению, мне долгое время приходилось встречаться с Ю.Л. Климонтовичем на конференциях и семинарах, на которых он делал доклады, а я был в числе слушателей. И у меня с начала 1980-х сложилось твердое убеждение, что «он что-то не договаривает». Со стороны казалось, что за приводимыми им математическими выкладками стоит какая-то скрытая целостная система взглядов, отличная от принятой. Бросалось в глаза и то, что его самого несколько не смущает, что его точка зрения расходится с излагаемой в известных руководствах по теоретической физике.

Впервые шанс сколько-нибудь подробно поговорить о развиваемых Юрием Львовичем идеях представился мне в 1993 году. Случилось так, что мы с присутствующим в этом зале сегодня Юрием Михайловичем Романовским и Ю.Л. Климонтовичем оказались приглашенными в качестве докладчиков на конференцию в Польшу. Стоял сентябрь 1993 года, организаторы из института физической химии Польской академии наук сделали все для того, чтобы гости чувствовали себя, как «в старое доброе время». В небольшом пригороде Варшавы был арендован пансионат человек на сорок. В нем мы жили и в нем же проводились наши научные штудии. Программа была рассчитана дней на десять-двенадцать. В первой половине дня были доклады и их обсуждение, а во второй прогулки и беседы на природе о «том же самом и обо всем прочем». Стояло теплое бабье лето, полное безветрие и тишина. Гостеприимство и ненавязчивость хозяев, нежесткая программа располагали к тому, чтобы каждый говорил о своем, о сокровенном. В эту «болдинскую осень» и довелось мне услышать массу интересного.

В аудиториях и на природе обсуждалось много научных вопросов. Хочу обратить ваше внимание на то, что Юрий Львович совершенно спокойно обсуждал самые «проклятые» старые вопросы физики - обратимость и необратимость процессов, направление эволюции разных систем то ли в сторону увеличения энтропии, то ли в сторону упорядоченности, сложность систем. По всем этим вопросам есть много точек зрения, по ним высказывались такие великие, по общему мнению, ученые как Колмогоров, Винер, Больцман, Боголюбов. Поражало то, что у Юрия Львовича всегда была своя оригинальная

* По материалам «Круглого стола...».

«равновеликая» точка зрения. Причем его точка зрения в первый момент ошарашивала. Она казалась абсолютно экзотичной, если не сказать больше. Потом, когда начинаешь к ней привыкать, то выясняется, что в ней имеется своя логика, причем в каком-то смысле убойная. Степень «непотопляемости» аргументов Юрия Львовича проверялась нашими долгими беседами во время прогулок. Система взглядов на суть статистических проблем у него действительно была. Подкупала не только своеобразная «глубокая» манера видеть предметы и обсуждаемые вопросы в укрупненном масштабе, но и невозмутимость, несуетность и простота Юрия Львовича.

Было видно, что Юрию Львовичу приятно видеть, что и мне традиционно излагаемая в учебниках точка зрения кажется не вполне удовлетворительной. А объявление некоторого круга вопросов «табуированными» - явным признаком слабости научных аргументов. Мне, со своей стороны, было ясно, что Климонтович имеет свою «линейно независимую» точку зрения, и хотя ее внутренняя полнота и непротиворечивость не казались мне самоочевидными, хотелось уяснить ее суть. Особенно импонировали мне спокойствие и методичность, с которыми Юрий Львович обсуждал «неявные» допущения, лежащие в основе традиционных процедур «усреднения». И без его слов многое «висело в воздухе», а после них становилось ясно, что дальше закрывать глаза на эти «дыры» можно только сильно того желая.

Научная программа Ю.Л. Климонтовича, излагаемая им нам во время польской конференции, содержала в своей мотивационной части критику, но не испытывалась ею. Она включала в себя и совокупность позитивных положений и идей, которые сегодня принято группировать вокруг так называемой «S-теоремы». Судьбе было угодно, чтобы публикация этих идей в развернутом виде встретила, мягко говоря, ряд затруднений. И только с выходом известного трехтомника из печати они стали общедоступны для широкой научной публики. Убежден, что время расставит все на свои места. Смысл, как известно, постигается a posteriori.

Теперь, вспоминая Юрия Львовича, мне хочется сказать несколько слов о необычных обстоятельствах нашей первой встречи. Я познакомился с Юрием Львовичем при довольно странных обстоятельствах. В 1980 году, летом, на русском языке вышла книга Г. Хакена «Синергетика». Ее выход ожидался, она была анонсирована в каталоге издательства МИР, и казалось, что она сразу же привлечет внимание научной общественности, особенно молодежи. Надо сказать, что в английском варианте книга была мне доступна с 1978 года. Один экземпляр книги был у моего шефа, М.В. Волькенштейна. Но выход русского издания стал для меня подлинным открытием. Как много всего, идейно важного, ускользнуло от моего внимания прежде! В далеком южном городе в тени огромного инжира я все лето читал с карандашом в руках книгу Хакена и думал, что, придя первого сентября в аспирантуру, буду ее обсуждать со всеми.

Но учебный год начался, а никто, кроме самых близких коллег по лаборатории, Б.Н. Белинцева и М.А. Лившица, не спешил обсуждать книгу. По крайней мере, со мной. Никаких семинаров, никаких докладов. И вот как-то уже в феврале 1981-го, находясь в теоретическом отделе ФИАН, где должен был состояться семинар Д.С. Чернавского, вижу, что семинар отменен и пояснено: «Все уехали на школу в Горький!». На доске объявлений повестка дня горьковской школы по нелинейным волнам и там первый доклад Б.Б. Кадомцева и Ю.А. Данилова посвящен проблемам синергетики. А школа должна была начаться уже завтра. Первая мысль, почему я здесь, а все там! Я несусь в общежитие, хватаю портфель, еду на вокзал, наутро приезжаю в Горький. Еду в университет, там меня отправляют еще дальше, на Ветлужскую (а это то ли 8, то ли 10 часов езды на поезде). Не без приключений добираюсь на школу.

И вот настал долгожданный день доклада. Зал полон, докладывает Б.Б. Кадомцев, он осторожно говорит, что появилась такая новая научная дисциплина. Что вот, видите ли, ко многим критическим явлениям применимы методы теории возмущений и разложений по масштабам. Что, строя огрубленное описание в окрестности критических точек, никуда не денешься от процедур усреднения, что проектирование на критические моды можно производить и в не интегрируемых системах и т.д. Но как-то весьма осторожно говорит, хотя он, как было известно всем присутствующим, всячески содействовал выходу книги Хакена на русском языке. Те, кто постарше, помнят, что в то время издание переводных книг вообще и книг проблемного междисциплинарного характера в особенности шло не всегда гладко. Помимо бюрократической и идеологической оппозиции часто бывала и научная оппозиция.

Перевод был выполнен под редакцией Ю.Л. Климонтовича, но доклад делал Б.Б. Кадомцев. Было видно, что он как-то не очень тверд в своих высказываниях. Затем на трибуну стремительно выскакивает Яков Борисович Зельдович и начинает говорить, что он и его коллеги (один из которых в это время находился в Горьком в ссылке) много занимались взрывами, кумулятивными эффектами, затопленными струями и отрывными течениями, то есть «знают массу систем, в которых наблюдаются кооперативные эффекты». Ни понятие бифуркации, ни понятия «показатели Ляпунова», ни все другие, о которых сегодня он слышал в докладе уважаемого Б.Б. Кадомцева, не являются новыми. Откуда возникла необходимость говорить о какой-то новой науке - синергетике?

Было ясно, что Зельдович не испытывает никакого энтузиазма по поводу новой дисциплины. И уже сходя со сцены, он заметил, что его соображения навеяны самим докладом, книги он не читал. Но из доклада не понял, в чем тут дело. Потом выходят второй, третий, четвертый, пятый ораторы и все говорят примерно об одном и том же. Что шуму вокруг термина «синергетика» много, но трудно разобрать, в чем новизна подхода и почему старые, идущие от Л.И. Мандельштама и А.А. Андропова, термины «теория колебаний и волн» следует отбросить, а вместо них использовать другие, так ли уж это необходимо. Все выступающие корректны в том смысле, что честно говорят, что книгу не читали, но, слушая доклад, не услышали ответов на свои недоуменные вопросы.

Б.Б. Кадомцев просит Ю.А. Данилова пояснить аудитории достоинства развиваемого в книге Г. Хакена подхода. Выходит на трибуну Ю.А. Данилов. Зал затихает. Он говорит, что достоинством книги является универсальность в трактовке весьма широкого круга коллективных явлений в рамках целостного подхода. Зал постепенно начинает опять шуметь, слушают плохо и, наконец, выходит Григорий Исаакович Баренблатт. Уже потом я узнал его имя и то, что он один из учеников А.Н. Колмогорова. Он вообще камня на камне не оставил. Его резкость в суждениях, простота и ясность примеров, лихость и изящество в форме подачи мыслей завораживают зал. И, уже кончая свою речь, он замечает, как бы извиняясь перед Даниловым и Кадомцевым: «Я честно скажу, книги не читал, но и того, что мы здесь слышали достаточно, чтобы судить о том, с чем мы имеем дело».

Только закончил Г.И. Баренблатт, выходит Л.П. Питаевский, соавтор последнего X тома: «Физическая кинетика» курса Л.Д. Ландау и Е.М. Лившица. Все продолжается, говорит о том, что у всякой науки есть свойственные ей методы. Скажем, хирургия - наука, так как основана на использовании специфических методов рассечения тканей и их соединения. А вот по поводу синергетики этого сказать нельзя. Сам он книгу, как и предыдущие ораторы, не читал, но признать за синергетикой право на существование только на том основании, что в рамках этой дисциплины решаются дифференциальные

уравнения, считает неверным. Возникла короткая полемика о том, идет ли речь об обыкновенных дифференциальных уравнениях или об уравнениях в частных производных. Ю.А. Данилов пояснил, что к чему.

Для меня все происходящее в тот момент было как гром среди ясного неба. Было видно, что ни Кадомцев, ни Данилов, в силу интеллигентности или по каким-то иным причинам, не желают хлестко ответить своим оппонентам. Председательствующий, М.И. Рабинович, берет слово и, подводя общий итог, резюмирует, что картина в целом ясна. «Синергетика», по-видимому, понятие чисто лингвистическое, в своей содержательной части совпадающее с давно принятым у нас термином «теория колебаний и волн». Так что нет оснований для того, чтобы думать, что в области нелинейных исследований мы нечто крупное «проморгали». Наступила пауза. Осматривая зал, председательствующий дружелюбно спросил: «Есть ли еще желающие выступить?»

Повисла тишина. Казалось, что в аудитории достигнута полная синхронизация. И в этот момент я увидел, что моя рука предательски взметнулась вверх. Председатель роняет: «Вот, тут молодой человек, хочет что-то сказать. Прошу Вас!» Поднимаюсь на сцену. Зал полон, человек двести пятьдесят. Пока не наступает полная тишина, не начинаю говорить. Слышу свой голос: «В отличие от предыдущих ораторов, выступавших в дискуссии, я книгу Г. Хакена внимательно читал!» Наступила гробовая тишина.

Говорю еще минут пять. Отмечаю бесспорную заслугу Г. Хакена в том, что «он дал себе труд обратиться к «грязным» дисциплинам, таким как биология, социология, психология, в которых нет малых параметров. Да и вообще не всегда возможно отделить параметры от переменных!» И главная из его заслуг, на мой взгляд, в том, что он осознал возможность расширительного использования аппарата теории нелинейных критических явлений далеко за рамками традиционной естественнонаучной проблематики.

Но эти слова были не важны. Важно было, как я теперь понимаю, что я встал против большинства, на стороне тех, кто «пробивал» издание книги и кто отстаивал свою правоту с трибуны. Не помню, как я сошел со сцены¹. Но до сих пор помню, что шел на ватных ногах к своему месту в конце зала....

Да, именно в этот момент я и познакомился с Юрием Львовичем. К сцене вышел какой-то крепкого телосложения «мужик». Без бороды. Все взгляды устремились на него. А он в наступившей тишине произнес, как отрезал: «Я предлагаю сегодня разойтись, а синергетику воспринимать как лозунг». Все насторожились. Он, разъясняя, повторил еще раз: «Давайте воспринимать синергетику как лозунг, скажем, как “Пролетарии всех стран, соединяйтесь!”».

Не нужно говорить, что в то время это был сильный лозунг. На такое неожиданное сравнение мог решиться сильный, уверенный в своей правоте человек. Этим человеком был Юрий Львович! Именно он поставил вескую точку в той исторической дискуссии, когда в силу многих причин за синергетикой могла с самого начала закрепиться дурная слава, так дорого стоившая отечественной генетике и кибернетике. После его слов возникла длинная пауза. Спорить с Климонтовичем желающих не нашлось. По всему было видно, что книгу он читал и мог еще «добавить от себя», так что «мало не покажется». Так я познакомился с человеком, под чьей редакцией был выполнен перевод книги Г. Хакена.

По приезде из Горького выяснилось, что в Москве пошла куча семинаров по синергетике. Наверно, не было такого академического НИИ, в котором бы не прошло пары семинаров на данную тему. Табу с этого слова было как-то негласно

¹ События, предшествующие обсуждению на Школе проблем Синергетики, подробно описаны в статье Г.И. Баренблатта в мемориальной книге, посвященной памяти М.А. Леонтовича.

снято. Джин вышел из бутылки, и всем захотелось прочитать ставшую знаменитой книгу. И оказалось, что изложенное в ней не такая уж чужь. Дело в некотором смысле закончилось проведением в 1982 году первой в СССР Таллинской конференции по синергетике, в которой принял участие и сам автор книги, Г. Хакен. После чего в Москве в МГУ был организован научный междисциплинарный семинар «Синергетика», в оргбюро которого ведущую роль играл Ю.Л. Климонтович. Этот семинар, как известно присутствующим, сыграл выдающуюся роль в развитии научных исследований в этой области. Он продолжал действовать под руководством Юрия Львовича и Ю.А. Данилова все «новое смутное время» и продолжает действовать до сих пор.

Возвращаясь к горьковской Школе 1981 года, хочется заметить, что поставленная Ю.Л. Климонтовичем точка в открытой полемике перевела обсуждение в кулуары. Но оказалось, что и там доводы сторонников правомочности новой дисциплины не так-то легко поколебать. Примечательно, что и в дальнейшем на моих глазах Юрию Львовичу удавалось ставить точки в некоторых сложных дискуссиях. Когда уже казалось, что ситуация может вот-вот выйти из-под контроля и перейти, например, в «базарную» плоскость. Он, безусловно, имел особый дар в нужном месте и в нужное время ставить точку. Поражало то, что он умел делать это и в ситуациях, когда определенно принимал какую-то одну сторону, и в ситуациях, когда, оставаясь при особом мнении, фиксировал сам факт разногласий по какой-либо проблеме.

Прошло много времени после этой знаменитой конференции, и в 1993 году, когда мы познакомились уже более тесно, оказалось, что он не только человек с очень широким взглядом на мир, но и человек, способный азартно играть на бильярде, и очень здорово. Признаюсь, я не думал, что среди ученых такого ранга кто-то может так блестяще играть. Он интересовался и многими предметами из области биологии, причем «сущностно». Полагаю, что он один из немногих современных ученых, кто систематически интересовался онтологическими аспектами физики и не стыдился этого. То есть, не процедурами и описаниями, а сущностью. Что значит то или иное явление по своему содержанию. С этих позиций обсуждались самые разные предметы и явления. В том числе, у нас была очень большая дискуссия о книжке Н.С. Крылова: «Работы по обоснованию статистической физики». Крылов был учеником Фока и рано умер. Юрий Львович высоко ценил книгу и знал много неизвестных мне вещей, оставшихся за кадром. Знал ли он эти «теоремы» от самого Крылова, был ли это научный фольклор или его собственные результаты, спрашивать было неудобно.

Безусловно, он полагал, что за всем аппаратом математических моделей должны стоять общие физические принципы. Основные принципы далеких от равновесия систем должны быть выстраданы и сформулированы. Они должны носить характер неравенств. Это должны быть оценки типа критериев. Что-то должно быть больше или равно, что-то меньше и т.д. Юрий Львович легко и просто обсуждал эти вещи, очень демократично.

Когда мы вернулись из Польши осенью 1993 года, - а вы помните, какая тогда была обстановка - факультативные спецкурсы на физфаке для студентов практически никто не читал. Встречавшая прежде каждого входящего огромная доска объявлений о семинарах опустела. Юрий Львович был из тех, кто не пал духом. К тому, что он читал лекции на одной из кафедр (по-моему, кафедре низких температур), он дополнительно решил провести со студентами цикл семинаров по «нелинейным» проблемам. Огромный прежде список спецкурсов и семинаров в те годы, помнится, сжался. По теме, о которой идет речь, в университете кроме Ю.Л. Климонтовича читали спецкурсы Ю.А. Данилов, ваш покорный слуга и еще кто-то. Причем Ю.А. Данилов читал «Нелинейную динамику» на химфаке.

Ю.Л. Климонтович читал постоянный курс на кафедре низких температур. И так случалось, что мы с ним очень часто встречались то на лестнице, то в аудитории, один заканчивал, другой начинал. Он приходит, а я выхожу, или наоборот. И он каждый раз говорил: «О, идемте!» Там на втором этаже было небольшое кафе, а может быть, это заведение в то время назвалось «кафетерий». И он заводил меня туда и рассказывал разные вещи, спрашивал мнение по их поводу. Его интересовало мое мнение не как вычислителя, а, как говорит Галина Юрьевна Ризниченко, «на вскидку», с общефизических позиций. Например, он спрашивал: «А вот это (далее обычно шел вопрос о сопряжении - сращивании эффектов разных масштабов) куда лезет?» Я отвечаю: «Это - в греческую мифологию». Он мне: «Вы действительно так думаете? Значит, никуда не лезет. Ну, ничего, будем пытаться второй раз это сделать иначе!»

Бывало еще так. Мы разговариваем о каком-нибудь очень далеком от его «служебных» научных интересов и «старом» предмете, давным-давно вышедшем из «научной моды», в это время подходит сотрудник физфака, который его очень хорошо знает и хочет поговорить о более злободневных вещах, о вчерашнем ученом совете, или еще о чем-нибудь. И Юрий Львович ему отвечает, и ты видишь, как сквозь один разговор проходит какой-то другой. Как сквозь одни слова проходят другие. Меня поражало то, что «сечение рассеяния» было нулевое. То есть, практически нет никакого зацепления. Он спокойно отвечает своему коллеге и продолжает разговаривать со мной. То есть, наша тема не выгружается из его оперативной памяти. При разговоре с этим сотрудником он продолжал все время размышлять и разговаривать со мной. В таких ситуациях иногда я пытался делать какие-то паузы, или пытался откланяться. Мне было неловко. Я видел, что передо мной люди одного возраста, им надо что-то обсудить, они хорошо знакомы. Ничего подобного, он меня не отпускал. Иногда я даже опаздывал на свою лекцию, впрочем, об этом не жалел ни тогда, ни позже.

В некотором роде я считаю себя виноватым перед Юрием Львовичем. Когда вышла первая часть трехтомника, он, видимо, ждал моей реакции, ведь там многое из того, о чем мы беседовали. А у меня что-то «не пошло» связное чтение, да и каждодневные проблемы придавили, так что все время вспоминалось его знаменитое: «А ты не подкладывайся!». По каким-то моим невпопад сказанным репликам он понял это. Прошло несколько лет, и вдруг он меня спрашивает, защитил ли я диссертацию. Я ему ответил утвердительно, а он мне с иронией: «Слава Богу! Теперь у вас найдется время прочитать мои книги». Сейчас, готовясь к этому выступлению, я перечитал его «Введение в физику открытых систем». Конечно, страшно жаль, что уже нет возможности спросить автора, почему он в одном месте пишет так, а в другом - иначе. Почему внешний масштаб всегда есть, а внутренний - нет. Он ушел. А мы остались со своей «нормой хаотичности» и памятью о нем. Большом мыслителе и ученом.

Последний раз я встретил Юрия Львовича в октябре 2002 года у дверей нашего Гематологического научного центра РАМН. А надо сказать, что он всегда был внешне настолько бодр и свеж, что казалось, он только что прошел, как говорят лыжники, «полтинник», снял варежки, и весь полон этим чувством преодоления. Я его спрашиваю: «Что Вы тут делаете?», а он отвечает: «Да вы знаете, мне тут Н. Шкловский сказал, что мы должны с Е. Либерманом пойти к какому-то врачу». И называет фамилию.

Мы простояли около часа у проходной. Я предложил ему проводить его к врачу, но он не сразу согласился. В конечном итоге, пошли к этому врачу и по дороге встретили Е. Либермана. Он ждал в другом месте. Чем закончился их визит, я не узнал, но спустя какое-то время ему перезвонил и посоветовал показаться еще другому врачу. Очень жалею, что не настоял. Среди врачей тоже существуют

разновеликие люди - и по массе и по другим критериям. Казалось, что среди моих знакомых специалистов был один врач, который мог бы ему помочь. Но, увы, не хватило моего «крутящего момента»! Правда, пути Господни неисповедимы. Может быть, я и ошибаюсь. Но повлиять на его мнение относительно его здоровья я не сумел. Говорят, так часто бывает с такими крупными личностями, как Юрий Львович. У них свои взгляды на вопросы жизни и смерти, и т.д. Какое-то посвоему исключительно гармоничное восприятие всего.

Иногда в моих разговорах с ним проскальзывали пессимистические ноты относительно будущего человечества, науки, современной жизни, образования в стране и на факультете. Он же мне отвечал: «Какие проблемы! У России вообще нет проблем. Во все времена было трудно. 1918-й год, 1925-й или после войны - что, сейчас труднее, чем тогда?» Действительно, все относительно. Сейчас никаких проблем нет, только денег нет. Да и - разве это проблема. Это как-то очень сильно успокаивает. Юрий Львович обладал очень интересным чувством юмора и большой благожелательностью. Именно к молодежи. Мне доводилось несколько раз выступать на семинарах по синергетике, проводимых под его руководством. И его корректирующие вопросы и замечания были всегда вовремя поданы, в нужное время и невероятно к месту. Или мне так казалось?

Безусловно, его работы будут жить долго. Они переживут наше поколение и будущее, и к ним будут возвращаться. Потому что в них спрессованы мысли, которые были высказаны «несмотря на». Мы знаем его полемику и с истеблишментом физического сообщества и т.д. Мне кажется, одна из его главных мыслей восходит к Платону и его античным последователям. К тому времени, когда формировалась античная эстетика, в рамках которой и по сей день развивается современное рациональное знание. Ю.Л. Климонтович был тем человеком, который показал, что идеальные понятия, с которыми мы работаем, например, «плоскость», «прямая», «абсолютно гладкая поверхность», дифференцируемые функции, «ансамбль», не абсолютны - они имеют естественные пределы применимости. Они работают - корректно отражают реальность - в неких областях управляющих параметров, ограниченных бифуркационными линиями, а за этими областями они превращаются в фикции, перестают быть релевантными. Само собой всплывают мотивы критики Аристотелем использования отвлеченных понятий, как элементов, адекватных реальности.

В тех случаях, когда мы мысленно используем понятия за пределами их «устойчивой соотносимости» с реальностью, наши мысленные конструкции эфемерны, содержат в себе внутренние фантомы (как бы сверхидеальны). По Климонтовичу, в таких ситуациях исследователи недостаточно полно учитывают факторы, в том числе флуктуационные, которые перестают быть малыми за границами естественных областей стабильности. Недоучет такого рода факторов, в том числе факторов, отражающих диссипативные процессы, формально приводит к необходимости оперировать с актуальными бесконечностями. По Юрию Львовичу, наличие в формализме бесконечностей всегда есть результат *гиперидеализации* рассматриваемой системы, результат попытки рассмотреть предмет вне естественного контекста, но в априори заданной стилистике. При более реалистичном описании, как правило, несложно выявить неучтенные каналы межмодовых взаимодействий, ответственные за нелинейную лимитацию критических характеристик в реальности.

Надо сказать, что сам по себе спор о том, определяет ли содержание форму (в том числе стилистическую) или же форма выражения чего-либо, скажем, сам по себе математический аппарат, определяет существо дела (по сути, содержание), является очень старым. Идет с античности. Юрий Львович Климонтович имел мужество в новое время встать на отвергнутую «архаическую точку зрения»,

полагая, что дело мастера найти те формы, которые позволят раскрыть содержание. Вне сомнения, он считал форму вторичной. Связанной к тому же с точкой зрения наблюдателя на предмет.

В заключение хочу вернуться к далекому 1995 году, когда мне выпала честь вместе с Юрием Львовичем и присутствующими сегодня в зале Галиной Юрьевной Ризниченко и Юрием Михайловичем Романовским выступить сопредседателем Суздальской конференции². В центре внимания той конференции были проблемы, поднятые Юрием Львовичем. Эта конференция имела большой научный резонанс. Она привлекла многих ученых. Обсуждавшиеся на ней идеи получили дальнейшее развитие. Хочется верить, что в будущем нам доведется еще быть свидетелями новых научных достижений, основанных на идеях Ю.Л. Климонтовича.

*Г. Т. Гурия,
д.ф.-м.н., заведующий лабораторией Научного
центра гематологии РАМН, профессор МФТИ*

ОН ВСЕГДА ПРОЯВЛЯЛ ПРИСТАЛЬНОЕ ВНИМАНИЕ К ЛЮДЯМ...*

Ю.Л. Климонтович был крупным ученым в классическом смысле этого слова. Предметом его научных интересов были кардинальные проблемы термодинамики, устойчивости, организации материи. При этом Юрий Львович никогда не занимался общественной деятельностью, интригами, честолюбивыми продвижениями. Он не представлялся на премии, не подавал на гранты, ничего такого не делал. Он занимался чистой наукой, но всегда проявлял пристальное внимание к людям, относился к ним по-человечески. Я его знаю очень давно, я училась на кафедре, где работали и Юрий Львович, и Юрий Михайлович Романовский, и Руслан Леонтьевич Стратонович, и Наталья Вячеславовна Степанова, автор знаменитых книг по математическому моделированию в биологии.

Юрий Львович у нас на четвертом курсе вел семинар, на котором обсуждали студенческие работы. Обычно там заслушивались курсовые. Он всегда задавал вопросы и вообще вел семинары чрезвычайно доброжелательно и с интересом к любым, часто совершенно новым проблемам. Мы немного над ним подсмеивались и называли его молодым Карлом Марксом, так как у него была черная борода, и этим он напоминал Маркса. Однажды мы сдавали экзамен по статистической физике, принимал его Кукин. После сдачи подаю зачетку, а лектор у меня спрашивает: «У вас подпись Климонтовича, что же он у вас ведет?» Я отвечаю, что он ведет семинар для студентов. Кукин этим был очень удивлен. Он уже тогда, конечно, понимал, что Климонтович - великий ученый. Неужели он ведет семинар, возится со студенческими работами, тратит свое время? У нас действительно была очень хорошая кафедра.

По окончании университета я сразу ушла работать на биологический факультет на кафедру биофизики, где и проработала вся жизнь. Но как-то остались теплые дружеские отношения со всеми членами выпускающей кафедры. Когда я училась, заведующим кафедрой был Стрелков Сергей Павлович. Он был исключительно теплым человеком. Вообще и к нему, и к любому сотруднику

² Международная конференция «Критерии самоорганизации в физических, химических и биологических системах». Суздаль, 12-18 июня, 1995 года.

* По материалам «Круглого стола...».

кафедры можно было обратиться с любым, даже житейским вопросом. Мы по молодости и не считали их особо великими людьми - скорее всего, думали, что в Московском университете и должны преподавать великие люди.

В последующие годы я встречала Юрия Львовича, слушала его доклады и разговаривала с ним. Он всегда принимал участие в деятельности нашей Ассоциации «Женщины в науке и образовании» и в ее конференциях. Так, на первой конференции Ассоциации в 1994 году в Пущино только два доклада сделали мужчины: профессор МГУ Ю.Л. Климонтович и директор Института математических проблем биологии РАН профессор А.М. Молчанов. Добавлю, что организатором той Суздальской конференции 1995 года - первой из наших междисциплинарных конференций «Нелинейный мир» - был Юрий Львович. Наверное, за год до этого он уже составлял списки, кто придет, кого пригласить. Хотя он был и самодостаточен, но всегда ценил встречи с коллегами из разных стран и из разных областей знаний. Георгий Теодорович Гурия пригласил многих своих коллег из-за рубежа. Это была очень квалифицированная конференция, очень хорошего уровня, и Юрию Львовичу это тоже было нужно. В последний год он уже очень болел, но возвращался к мысли, что нам надо повторить такую конференцию, многое надо обсудить.

*Г. Ю. Ризниченко,
д.ф.-м.н., профессор кафедры биофизики
биологического факультета МГУ,
президент Ассоциации «Женщины
в науке и образовании»*

НЕСКОЛЬКО ВСТРЕЧ

Мое знакомство с Юрием Львовичем состояло всего из нескольких встреч. Первый раз мы увиделись с ним на конференции, которая проходила в Пущино в 1983 году. Очень большая конференция, посвященная автоволнам¹. Тогда была задействована вся лаборатория. Моими обязанностями было - выдавать радионаушники. Я сидела в холле и занималась своим делом. Юрий Львович их взял, немного со мной поговорил, так, вообще. Потом он еще раз ко мне подошел, сказал какие-то поддерживающие слова, что, само по себе, всегда приятно. Он очень выделялся из общей толпы. Его отличали, с одной стороны, большая доброжелательность, с другой стороны, очень острый взгляд, и первое, что обращало на себя внимание - это его глаза. Такие живые, ясные, внимательные, даже цепкие. Из них всегда будто лился свет, и это сразу его выделяло, сколько бы людей вокруг ни было. Для нас, представителей молодого поколения, он всегда был человеком более высоких сфер. Мы не решались к нему приближаться, что-то у него спросить, но он, наверное, это чувствовал и сам подходил. Потом мы с ним общались и на пароходе, была такая конференция, и на банкетах. Но всегда вокруг него была такая аура, что я так и не отважилась по собственной инициативе к нему обратиться.

В другую, более близкую категорию моих знакомых он перешел совершенно неожиданно. И это было связано с его болезнью. Вдруг я узнаю, что он оказался в

* По материалам «Круглого стола...».

¹ Международный симпозиум «Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium». Пущино, 18-23 июля 1983 года.

он оказался в очень тяжелой ситуации. Ему должны были делать операцию. Из разговоров пуштинцев я понимаю, что ему хорошо было бы что-нибудь передать в больницу. Посещать его нельзя было, а передать что-то можно. Например, хороший словарь, книгу или еще что-нибудь. Я очень долго над этим думала, и решила передать ему рисунок. Я ходила в это время в изостудию, у меня был творческий подъем и все хорошо шло. И я передала ему рисунок яблони, которая только собиралась еще зацвести. Мне самой этот рисунок очень нравился и казалось, что в нем можно увидеть много хорошего, поднимающего настроение, философского, жизненного. Эта яблоня должна была его настроить на хороший лад. И потом, это такая вещь, которую разрешат держать в больнице. Я решила: пусть она там у него постоит в палате.

Какое-то время ничего не было известно о состоянии Юрия Львовича, а потом вдруг - звонок от друзей, что Юрий Львович уже дома и очень приглашает зайти в гости. Потом звонила его жена. Я по какому-то поводу была в Москве, оставила специально немного времени (мы же всегда торопимся обратно в Пушкино, так как связаны автобусом) и решила его посетить. И сразу окунулась в атмосферу замечательной семьи. Мне очень понравилась его жена, которая приготовила необыкновенно вкусные вещи. Как все пуштинцы в Москве, я была очень голодной и усталой, измятой, пропахнувшей автобусом, укаченной. Но мы замечательно провели время. А перед моим уходом он предложил заглянуть в свой кабинет. И я вдруг вижу, что на стене под стеклом висит мой рисунок. Он специально привел меня в кабинет показать, что мой рисунок висит у него перед глазами. И еще он сказал, что этот рисунок его очень поддержал в больнице. Не знаю, правда это или нет. Но он так сказал.

И после этой встречи наши отношения резко перешли совершенно в другую плоскость. Он меня еще много раз приглашал, но, к сожалению, у меня как-то не получилось больше навестить его дома, чтобы еще раз почувствовать эту атмосферу: его дома, семьи, культуры, которой все там было пропитано. Мы встречались только на конференциях. Это были разные города. Разные конференции, разные ситуации, были и телефонные звонки и совершенно случайные встречи. Однажды я села в 34-й троллейбус, который ходит от «Юго-Западной» до «Университета», и встретила Юрия Львовича. Мы ехали, разговаривали, он мне тут же подарил свою книжку. У него оказалось несколько экземпляров.

Вот такие вот случайные, редкие встречи. Но я всегда ощущала его присутствие и всегда осознавала, что я всегда могу на него опереться в трудную минуту. И однажды такая минута настала. У меня была очень сложная ситуация в институте. Время было такое, и он действительно мне помог. Я тогда написала книжку² и попросила Юрия Львовича быть редактором. Он сразу сказал, что с удовольствием это сделает. Said, что счастлив, что я созрела для книжки. Книжку мою он прочитал и стал редактором этой первой моей книжки, хотя как всегда был ужасно занят. И сейчас, когда я беру эту книжку, я всегда вспоминаю, как это было, и очень благодарна Юрию Львовичу.

Юрий Львович, безусловно, был сильной, цельной личностью. Он был смелый человек. На конференциях, в кулуарах всегда долго обсуждалось, что вот хочется его пригласить, а вдруг там возникнет ситуация, ну, для него некомфортная? Но он умел быть доброжелательным при всех ситуациях. Вокруг него мгновенно возникала творческая атмосфера, когда делаешься и умнее, и лучше. Юрий Львович всегда делился своими идеями, давал читать свои статьи.

² Якушевич Л.В. Методы теоретической физики в исследованиях свойств биополимеров /Отв. ред. Ю.Л. Климонтovich. Пушкино: ОНТК НЦБИ АН СССР, 1990. 126 с.

Спрашивал - какое Ваше мнение, какие замечания, что Вы скажите по этому поводу. Но бывали случаи, и я знала это изнутри, что в журнале, например, искали способ не допустить к печати его статью. Ведь его идеи далеко не все понимали. Он работал над слишком серьезными вопросами. Мы же знаем: так всегда бывает - новые идеи пробиваются с трудом. И, помню, я его осторожно спрашивала: «А если не напечатают?», а он мне: «А куда они денутся? Ну, обсудят, ну, еще что-нибудь скажут, а все равно напечатают!» Меня всегда его присутствие успокаивало. Я тоже начинала думать, что ведь не важно, где напечатают и когда, а важно, что он эту работу сделал, что она уже есть, он везде ее рассказывает, и число его сторонников растет. Растет число учеников и просто людей, разбирающихся и желающих разобраться в этом.

В заключение хочу опять сказать, что в его портретах мне не хватает его глаз. На портретах не создается тот образ человека, которым он был на самом деле, которого я знала. Я узнала его, к сожалению, поздно. К сожалению, не могла присутствовать на похоронах. А с другой стороны, это даже и лучше. Я думаю, что он всегда в моей памяти будет живым. Он всегда нас будет сопровождать по жизни. Во многом, что удалось сделать, и в том, что дальше будет делаться, есть его вклад. Это ведь Школа, и мы все это понимаем.

*Л.В. Якушевич,
д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник
Института биофизики клетки РАН*

ПАМЯТИ ДРУГА

Я познакомился с Юрием Львовичем в аспирантуре физического факультета осенью далекого 1950 года. В то время он был аспирантом второго года обучения у профессора Николая Николаевича Боголюбова, а я - аспирантом первого года у профессора Анатолия Александровича Власова. Наши взгляды на физику и общество, в котором мы жили, совпадали (к тому времени я уже прошел через Отечественную Войну), и это способствовало нашему сближению. С тех пор, более пятидесяти лет наша дружба не прерывалась, хотя я и жил в Свердловске (ныне Екатеринбург). Часто бывая в Москве (два-три раза в год), я обязательно заходил к нему домой, иногда ночевал у него. Мы звонили друг другу практически каждый месяц, обмениваясь научными и другими новостями. Встречи с Юрием Львовичем всегда пробуждали новый оптимизм и новые идеи, приносили радость и в чем-то обогащали. Это был удивительно жизнерадостный человек (до сих пор странно звучит слово «был»), всегда полный новых замыслов, огромного трудолюбия, энтузиазма. Как ученый, он, несомненно, стоит в одном ряду с великими физиками XX столетия, творцами современной статистической физики, Л. Больцманом, А. Власовым, Н. Боголюбовым, И. Пригожиным, Г. Хакеном. Я не хотел бы перечислять здесь его научные достижения. Полагаю, что в воспоминаниях В. Эбелинга, Ю. Романовского и воспоминаниях других друзей и учеников Юрия Львовича это уже сделано. Не могу не отметить, однако, что «S-теорема» Климонтовича (теорема о производстве энтропии в самоорганизующихся системах), кинетическое уравнение Климонтовича для неравновесной плазмы, его удивительные, совершенно уникальные монографии по статистической физике и статистической физике открытых систем, статистической теории электромагнитной плазмы, турбулентности (совместно с В. Эбелингом) и многие другие монографии и оригинальные статьи будут долгие годы настольными

книгами физиков, занимающихся этими вопросами. Научная деятельность Климонтовича принесла ему признание физиков всего мира.

Юрий Львович был исключительно талантливым человеком. Его талант был многогранен и проявлялся во всем, чем занимался Юрий Львович, в общении с учениками и друзьями. У него огромное число учеников, многие из которых стали выдающимися учеными. К Юрию Львовичу тянулись все, его знающие, с ним было всегда интересно. В этом отношении Юрий Львович очень напоминал великого биолога Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского (с которым я, пока он жил в Свердловске, одно время довольно часто встречался, так как входил в кружок физиков во главе с профессором П.Зыряновым, группировавшихся вокруг Тимофеева-Ресовского). В чисто человеческом плане у Юрия Львовича было много общего с Тимофеевым-Ресовским: могучий интеллект, демократичность в общении, доброжелательность, хлебосольность истинного русского интеллигента и т.д. Дом Юрия Львовича всегда был открыт для всех: друзей, коллег, аспирантов, учеников. В науке его талант приводил к оригинальным математическим методам, новым интерпретациям, неожиданному развитию теории, казалось бы, хорошо известных явлений, оригинальным идеям. Известно, что все новое с трудом пробивается в жизнь, поэтому некоторые из работ и идей Юрия Львовича не сразу и не у всех находили понимание. В этом нет ничего странного, неприязнь к новому - основное свойство большинства людей (включая и физиков).

Юрий Львович был очень мужественным человеком. У него была нелегкая судьба. Его отец, блестящий русский офицер, русский интеллигент, после Первой мировой войны уехал в США. Там он стал близким другом Джека Лондона. Вернувшись из Америки после нескольких лет спокойной жизни, он был репрессирован в 1930-х годах и расстрелян (посмертно реабилитирован в 1950-х годах). Нелегко было жить сыну такого человека в стране того времени. Последние двадцать лет Юрий Львович был неизлечимо болен. Никто, кроме его близких родственников и друзей, об этом не знал. Он никому о болезни не говорил, стойко, без жалоб, переносил ее до последних дней жизни, сохраняя при этом жизнерадостность и юмор.

Принципы, по которым жил Юрий Львович, прежде всего, это глубокая порядочность как в жизни, так и в науке, верность своим друзьям, душевное благородство. Никогда он не поддавался обстоятельствам и то, что считал верным, всегда отстаивал до тех пор, пока у него хватало сил. В науке он был бескомпромиссен, всегда сохраняя при этом доброжелательность. Юрий Львович был очень чистым, светлым человеком, и эта чистота, так или иначе, передавалась окружающим. Он посвятил всю жизнь науке и достиг в этом блестящих успехов и признания физиков всего мира. Занимаясь он любой другой деятельностью, несомненно, стал бы и в ней корифеем, так как природа щедро одарила его талантами.

Юрий Львович любил Свердловск и в молодости часто приезжал в этот город. Последняя встреча с физической общественностью города, уже Екатеринбурга, была в 2001 году. Тогда, в мае, Юрий Львович приезжал на оппонирование диссертации. При этом он прочел несколько лекций по проблемам статистической физики для профессоров, преподавателей и сотрудников физического факультета Уральского университета. Это были прекрасные лекции, как по форме, так и по содержанию, посвященные оригинальной трактовке ряда важных вопросов статистической физики. Он читал, как всегда, энергично, уверенно, очень эмоционально и, как всегда, аудитория была покорена и убеждена его неотразимой логикой. До последних дней своей жизни Юрий Львович сохранял острый ум, юмор, оптимизм. У него были большие творческие планы. Закончив фундаментальную четырехтомную монографию по статистической физике

открытых систем, совершенно уникальную и являющуюся настольной книгой теоретиков всего мира, занимающихся статистической физикой открытых систем, Юрий Львович собирался ближайший год посвятить написанию монографии по фрактальному подходу к физике твердого тела и квантовой механике. Некоторые оригинальные мысли о таком подходе уже содержатся в третьем томе его «Статистической физики открытых систем».

Большую роль в жизни Юрия Львовича играла его прекрасная семья. Супруга, Светлана Иосифовна Маевская, была исключительно добрым, честным и принципиальным человеком. Трудные условия жизни (ее отец, так же как и отец Юрия Львовича, был репрессирован в 1930-е годы и погиб в сталинских лагерях, реабилитирован в 1950-е годы) не сломили ее. У нее, как и у Юрия Львовича, были твердые принципы, от которых она никогда не отступала. В этом они были похожи. Это был верный друг и помощник Юрия Львовича, посвятивший ему и семье всю жизнь и избавлявший его от досадных мелочей повседневности. Светлана Иосифовна была известным в Москве логопедом, вернувшим к нормальной жизни сотни своих пациентов. Уход из жизни Юрия Львовича привел и ее к быстрой смерти. Она не прожила и двух лет после его кончины. Юрий Львович трепетно любил ее и детей - Колло и Катю, внука Ваню. Сын, Николай Юрьевич, получил физическое образование, и сейчас он - один из известных российских писателей, автор многих книг и пьес, философ, член Союза писателей России и ПЕН-клуба. Дочь, Екатерина Юрьевна, пошла по стопам матери и в настоящее время является одним из лучших московских логопедов. Друзья Юрия Львовича не забывают их.

Судьба подарила мне счастливую возможность хорошо знать Юрия Львовича и быть его другом. Люди такого масштаба и интеллекта рождаются редко и составляют эпоху в тех областях, которым они посвятили свою жизнь. Смерть Юрия Львовича была огромным ударом для всех его знавших и любивших, для всех физиков России, Европы, мира. Безмерно жаль. Мир без Юрия Львовича, как и теоретическая физика, стал намного беднее.

Екатеринбург, 20.09.2004

*Л.Я. Кобелев,
Заслуженный деятель науки России, почетный
профессор Уральского государственного
университета им. А.М.Горького, д.ф.-м.н.,
профессор кафедры физики низких температур,
научный руководитель Проблемной лаборатории
физики экстремальных воздействий на вещество*

СОРОК ЛЕТ НАЗАД...

Сорок лет назад, в 1963 году, я, тогда двадцатилетний третьекурсник физического факультета МГУ, шел по коридору второго этажа факультета и остановился перед стенной газетой «Советский физик» (она и сейчас под тем же названием появляется там регулярно). Внимание мое привлекла заметка, в которой сообщалось, что на кафедре общей физики для механико-математического факультета профессором Ю.Л.Климонтовичем создан новый подход к статистической теории плазмы. Предстояло распределение студентов по кафедрам, и перед каждым третьекурсником стояла проблема выбора кафедры и научного руководителя. Я мало что понял в физической сути этого подхода, но почему-то сразу решил, что должен попытаться распределиться на эту кафедру. Так я впервые встретился с Ю.Л. Климонтовичем. Юрий Львович - среднего роста,

плотного телосложения, с гривой волос на голове и сильным рукопожатием - производил впечатление физически сильного человека, я бы даже сказал, спортсмена (в то время он бегал кроссы по Ленинским горам). С самого начала я был покорен простотой и демократичностью его отношения к студенту. Он был научным руководителем моей сначала дипломной, а затем и аспирантской работы. После защиты кандидатской диссертации наше научное сотрудничество продолжалось до середины 1970-х годов.

Еще будучи студентом, я проштудировал его первую, только что вышедшую в 1964 году, монографию «Статистическая теория неравновесных процессов»¹ и опубликовал свою первую работу в ТМФ полностью под влиянием этой книги.

В аспирантуре, однако, я увлекся более прикладными проблемами. Тем аспирантам, которые, как и я, были склонны к прикладным задачам, предоставлялась полная свобода творчества. «Что делаете, что подельваете?» - вопрос, который Юрий Львович задавал, встречая меня в коридоре физфака. Лишь значительно позже я осознал, до какой степени Юрий Львович был поглощен тем кругом фундаментальных проблем, которые он сам разрабатывал. Вместе с тем, он всегда с большим вниманием и интересом обсуждал с нами наши аспирантские работы. Эти обсуждения он обычно предпочитал проводить у себя дома. Впрочем, случалось, что он назначал аспиранту обсуждение работы на 4-5 часов вечера 31 декабря в своем рабочем кабинете на физфаке. «Не чувствую себя как дома, пока не сниму пиджак, - говаривал он, входя в свой домашний кабинет. - Снимайте и Вы». Будучи весьма стеснительным молодым человеком, я отвечал ему в том духе, что не чувствую себя в гостях, если снимаю пиджак. Юрий Львович улыбался своей характерной улыбкой, хорошо переданной фотографией в его последней книге², и приглашал на кухню выпить чаю. Помню и семейные обсуждения художественной литературы и литературных новостей, которые велись за кухонным столом во время ужина, на которых я чувствовал себя профаном.

На его домашнем рабочем столе, всегда заваленном кипами бумаг и книгами, лежал камень с надписью на немецком языке: «Здесь лежат мои долги», под которым собирались первоочередные для ознакомления статьи (научную литературу он читал на трех иностранных языках - французском, немецком и английском). Юрий Львович отличался простотой в одежде, в манере говорить и читать лекции, играть в шахматы и писать. Простота была и во всей домашней обстановке его дома. Кажется, что принцип достижения ясности через простоту изложения он использовал при написании всех своих научных работ. При встрече Юрий Львович обязательно задавал какой-либо кажущийся простым научный вопрос, и если получал ответ в традиционном духе, лукаво задавал следующий вопрос, который уже ставил в тупик. Эти вопросы, как потом становилось ясно, относились к той проблеме, которую он разрабатывал в данный момент.

Его высшим научным достижением, по-видимому, является создание «метода вторичного квантования в фазовом пространстве»³. В этой работе он сформулировал уравнение для случайной фазовой плотности, позднее названное в западной литературе уравнением Климонтовича, и вошедшее в золотой фонд науки. На основе этого уравнения он сформулировал и развил новый альтернативный подход к выводу цепочки уравнений Боголюбова. Его последующие монографии содержат систематическое развитие и применение

¹ Климонтович Ю.Л. Статистическая теория неравновесных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1964.

² Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем. М.: «Янус-К», 2002. 284 с.

³ Первая публикация по этому вопросу: Климонтович Ю.Л. О методе «вторичного квантования» в фазовом пространстве. ЖЭТФ, 1957.Т.33. С.982.

этого метода для описания газовых, плазменных, а также твердотельных систем. Его творческое наследие изумляет - он единоличный автор, насколько мне известно, 9 монографий, каждая из которых издана также на Западе в английском переводе, и одной коллективной монографии. Поражает также и широта круга научных проблем, объятых в этих монографиях. В некоторых областях полученные им результаты противоречат общепринятым. Это вызывало естественное противодействие. «Что же вы, Юрий Львович, против течения плывете?» - спросил его однажды один именитый ученый. - «Так если бы все плыли по течению, то и судоходства никакого не было бы», - последовал ответ.

Увлеченный задачами, связанными с экспериментом, я еще в аспирантуре отошел от того круга фундаментальных проблем, которые разрабатывал Ю.Л.Климонтович. Самое сильное влияние, которое он оказал на меня, заключается в его живом моральном примере человека, преданного науке и философски спокойно и естественно игнорирующего столь привлекательные псевдоцели жизни.

Москва, 14.03.2004

*В.И.Емельянов,
профессор физического факультета МГУ*



Изв. вузов «ПНД», т.12, № 4, 2004

COUPLED ROTATORS APPROACH TO THE DYNAMICS OF INTERACTING MAGNETIC LAYERS*

Bernd Esser, Vladimir Rzhevskii

The dynamical properties of two anisotropic rotators modelling magnetic layers coupled by bilinear and biquadratic interactions terms are considered. The easy plane case is considered in detail and it is shown that the presence of the biquadratic coupling produces a sequence of bifurcations in the rotational phase spaces. In a first bifurcation a new ground state with rotators located in the easy plane and including a finite angle is generated. Hyperbolic points appear by increasing the biquadratic coupling in a second bifurcation. These hyperbolic points correspond to a nonparallel rotator configuration with rotators splitted off from the easy plane and symmetrically displaced along the transversal direction. The corresponding energy is located between the energies of the ground state and the parallel rotator configuration. Phase space portraits displaying how the stationary states are embedded in the rotational flow are shown.

*80th anniversary of Professor
Yu.L.Klimontovich is devoted*

Introduction

Magnetic materials display a wealth of nonlinear phenomena [1] among which in the last decade the biquadratic coupling mechanism between magnetization vectors in layer systems has attracted particular attention (see e. g. [2-4]). In such systems the coupling between the magnetization vectors of different layers can be influenced to a large extent by selecting specific spacers through which the magnetic layers interact. Then by changing the spacer material and layer configurations the magnetic properties of the layer systems can be varied to a great extent and desired properties for applications produced, for the calculations of the interlayer exchange coupling from microscopic quantum models for different systems we refer to the recent work [5]. In the discussion of the coupling between the magnetic layers the relation between the bilinear and biquadratic coupling types has turned out to be of particular importance [2]. Systematic studies of the coupling coefficients for different magnetic layer systems reveal that the magnitude of the biquadratic coupling coefficient can be well above the bilinear

* Данная работа выполнена на кафедре физики низких температур и сверхпроводимости МГУ, на которой долгие годы работал профессор Ю.Л. Климонтович, и на кафедре статической физики и нелинейной динамики Гумбольдтского университета Берлина, возглавляемой в течение многих лет профессором В. Эбелингом.

coefficient for some parameter regions (e. g. for some values of the spacer layer thickness [6]). So far the corresponding calculations were static in the sense that they focussed on the energies of the energetically lowest states, which can display transitions when the bilinear and biquadratic coupling coefficients are changed, as was pointed in [2,3].

The aim of this paper is to consider the implications of the presence of both the bilinear and biquadratic coupling mechanism on the dynamical level for coupled magnetization vectors. By using a classical approach familiar from the Landau-Lifshitz equations we investigate the dynamics of the magnetization vectors in a model of coupled rotators with both the bilinear and biquadratic interaction terms present. Starting from the equations of motion for the coupled rotators we will show that a sequence of bifurcations is possible in the rotational phase space of the rotators. In order to restrict the number of possible relations between the parameters in the equations of motion we will consider this bifurcation sequence for the easy plane case of the intralayer part. Analysing the bifurcation sequence we find all the stationary rotator configurations including the ground state and the relations between these configurations from the energetic side. In particular we will show that besides the bifurcation to a new ground state there is another bifurcation in the excited state region of the rotator configurations creating hyperbolic points. The full dynamic analysis presented here is a necessary condition for a further understanding of dynamical phenomena in coupled magnetic layer systems such as switching between different stationary states and relaxation.

The paper is organized as follows. In the section 1 the model for the coupled rotators is formulated and the basic equations are derived. Stationary states and their stability are treated in the sections 2 and 3, respectively. Based on the results of the sections 2 and 3 in the 4 section the bifurcation sequence is discussed and representative phase space portraits are shown. Finally in the last section we summarize our conclusions.

1. Model

We consider a system of two magnetic layers with coupled magnetization vectors. The magnetization vectors are represented by rotators and described by a classical Hamilton function

$$H = H_0 + H_{\text{int}}, \quad (1)$$

where H_0 and H_{int} are the Hamiltonians of the isolated rotators and their interaction, respectively. The Hamiltonian of the isolated rotators H_0 is taken as to characterize an anisotropic system with different in plane and out of plane constants $\alpha > 0$ and $\beta > 0$, i.e.

$$H_0 = \sum_{i=1}^2 \alpha/2 (M_{ix}^2 + M_{iy}^2) + \beta/2 M_{iz}^2. \quad (2)$$

In (2) the z-axis is chosen transversal to the plane, M_{ix} , M_{iy} and M_{iz} are the components of the angular momentum vectors of the rotators \mathbf{M}_i , $i=1,2$. The interaction is taken as an expansion in powers of the scalar products of these vectors $(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2)$

$$H_{\text{int}} = \sum_k A_k (\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2)^k, \quad (3)$$

where A_k , $k=1,2,..$ are the corresponding interaction constants. We will consider the case of two anisotropic rotators coupled by both the bilinear and biquadratic interaction terms, i.e. we will keep the interaction terms up to the second order $k=2$. For the sign of A_1 we will take the case $A_1 = -|A_1| < 0$. Then in the absence of biquadratic coupling the minimum energy corresponds to a parallel orientation (ferromagnetic case) of the magnetization vectors of the layer system. For the sign of the biquadratic interaction constant A_2 we assume for the sake of definiteness that $A_2 > 0$, which is observed in different systems relevant for applications [2]. A schematic representation of the model is shown in the fig. 1.

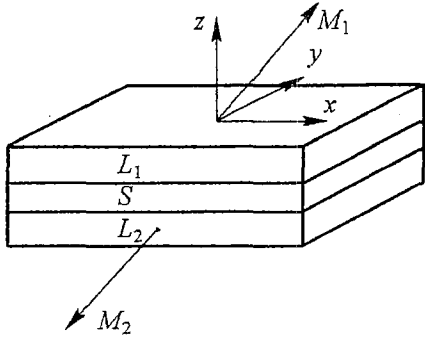


Fig. 1. Schematic representation of the magnetic layer system. Two magnetic layers L_1 and L_2 are shown with the magnetization vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 , respectively. The anisotropy axis of both layers is directed transversal to the layer planes and is parallel to the z -axis. The magnetizations \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 interact through the spacer S by both bilinear and biquadratic interaction terms, see eq. (3). By changing the spacer material and/or thickness the interaction strength is changed.

The equations of motion for the coupled rotators are obtained from

$$d\mathbf{M}_i/dt = \{\mathbf{M}_i, H\}, \quad (4)$$

where $\{..,\}$ represent the classical Poisson brackets. The r.h.s. of (4) is calculated by using the explicit forms of H_0 , H_{int} and the standard angular momentum brackets for M_{ix} , M_{iy} and M_{iz} . In particular for the interaction part one finds the relation

$$\{\mathbf{M}_i, (\mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2)^k\} = (-1)^i k (\mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2)^{k-1} [\mathbf{M}_i \times \mathbf{M}_2], \quad i=1,2. \quad (5)$$

Collecting all terms one obtains the system of coupled rotators

$$d\mathbf{M}_1/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{n} \mathbf{M}_1)[\mathbf{n} \times \mathbf{M}_1] + (A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2))[\mathbf{M}_2 \times \mathbf{M}_1], \quad (6)$$

$$d\mathbf{M}_2/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{n} \mathbf{M}_2)[\mathbf{n} \times \mathbf{M}_2] + (A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2))[\mathbf{M}_1 \times \mathbf{M}_2]. \quad (7)$$

Here \mathbf{n} denotes a unit vector directed transversal to the (x, y) -plane along the z -axis. The equations of motion (6), (7) conserve the system energy $E=H$, the z -projection of the total momentum $M_z = M_{1z} + M_{2z}$ and the square of each of the vectors \mathbf{M}_i^2 , $i=1,2$, as is easily verified by calculating the corresponding Poisson brackets. We will assume conditions for which $M^2 = M_1^2 = M_2^2$, i. e. the moduli of the angular momenta of rotators are equal and will be denoted by M below. This represents the situation when the interacting layers are prepared from the same magnetic material. The easy plane case, i. e. $\beta > \alpha$, will be considered. As will be shown below, in this case by remaining in the plane the magnetization vectors can pass from the parallel into a nonparallel ground state configuration, if the biquadratic coupling becomes strong enough.

2. Stationary states and energies

In view of the conservation of \mathbf{M}_i^2 the phase space of each of the vectors \mathbf{M}_i , is located on a sphere (rotational phase space). On this sphere according to (2) an equator and poles formed by the intersections of the (x, y) -plane and the z -axis with the sphere are distinguished (the interaction part (3) is isotropic and does not introduce particular directions). The z -axis transversal to the equator plane determines a reflection symmetry with respect to the two half spaces $z > 0$ and $z < 0$. This symmetry is present in the locations of the stationary states outside the equator plane and in the structure of the phase space portraits.

From the zeros of the r.h.s. of the system (6) and (7) we now find the following stationary configurations of the coupled rotators.

Parallel equator plane configuration. From the r.h.s. of the equations of motion (6) and (7) one obviously finds a stationary state when both vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 are parallel and located in the equator plane. According to (2) and (3) the energy of this stationary state is given by

$$E_\alpha = \alpha M^2 - |A_1| M^2 + A_2 M^4. \quad (8)$$

Nonparallel equator plane configuration. For \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 located in the equator plane the r.h.s. of the equations (6) and (7) admit another solution for a stationary state if

$$A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2) = 0 \quad (9)$$

holds. This condition determines an angle θ between the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 , for which the vectors are at rest. The angle is given by

$$\cos\theta = |A_1|/(2A_2M^2). \quad (10)$$

The solution (10) exists for parameters A_1 , A_2 and moduli of angular momenta M , for which the condition

$$|A_1|/(2A_2M^2) < 1 \quad (11)$$

is fulfilled, i.e. the stationary state (10) exists, if the biquadratic coupling is strong enough. The stationary configuration with both vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 located in the equator plane and constituting the angle θ , eq. (10), is degenerate with respect to a total rotation of both vectors in the equator plane. This configuration was also found from an experimentally analysis of the domain structure in magnetic multilayer systems modelled by an energy function with a biquadratic coupling term and called the canted configuration in the literature on coupled magnetic layers [3]. We will call this stationary state the nonparallel equator plane configuration in order to distinguish it from another nonparallel configuration in which the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 are located outside the equator in the meridian plane. The nonparallel meridian plane configuration will be considered below. Inserting (10) into (2), (3) one obtains for the energy E_θ of the nonparallel equator configuration

$$E_\theta = E_\alpha - A_2 M^4 (1 - \cos\theta)^2 \quad (12)$$

where E_α is the energy of the parallel equator configuration given by (8). As is evident from (12) the energy E_θ is below E_α .

Nonparallel meridian plane configuration. These stationary states are found by representing the system (6), (7) in the equivalent form

$$d\mathbf{M}_1/dt = [\mathbf{K}_{21} \times \mathbf{M}_1], \quad (13)$$

$$d\mathbf{M}_2/dt = [\mathbf{K}_{12} \times \mathbf{M}_2], \quad (14)$$

where the vectors \mathbf{K}_{21} and \mathbf{K}_{12}

$$\mathbf{K}_{21} = (\beta - \alpha)(\mathbf{nM}_1)\mathbf{n} + (A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2))\mathbf{M}_2 \quad (15)$$

and

$$\mathbf{K}_{12} = (\beta - \alpha)(\mathbf{nM}_2)\mathbf{n} + (A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2))\mathbf{M}_1 \quad (16)$$

were introduced. Zeros of the r.h.s. of the equations (13) and (14), corresponding to stationary states are obtained if the vector \mathbf{K}_{21} is parallel to \mathbf{M}_1 and the vector \mathbf{K}_{12} parallel to \mathbf{M}_2 , simultaneously. This occurs for the special configuration when the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 are located in the meridian plane transversal to the equator plane and have opposite projections on the z -axis. In this plane they form a configuration symmetric with respect to a reflection in the equator plane and include the angle ϕ

$$\cos\phi = [1/2(\beta - \alpha) + |A_1|]/(2A_2M^2). \quad (17)$$

The solution (17) exists for parameters A_1 , A_2 and angular momenta M , for which the condition

$$[^{1/2}(\beta - \alpha) + |A_1|]/(2A_2M^2) < 1 \quad (18)$$

is fulfilled. The solution (17) can be directly checked by noting that for this particular value of ϕ

$$A_1 + 2A_2(\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2) = ^{1/2}(\beta - \alpha). \quad (19)$$

Inserting (19) into (15), (16) and using for $\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2$ the decompositions $\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_e + \mathbf{M}_z$, $\mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_e - \mathbf{M}_z$, where the vectors \mathbf{M}_e and \mathbf{M}_z denote the parts located in the equator plane and directed along the z-axis, respectively, one obtains $\mathbf{K}_{21} = ^{1/2}(\beta - \alpha)\mathbf{M}_1$ parallel to \mathbf{M}_1 and $\mathbf{K}_{12} = ^{1/2}(\beta - \alpha)\mathbf{M}_2$ parallel to \mathbf{M}_2 as required.

Using (17) in (2), (3) one finds for the energy E_ϕ of the nonparallel meridian plane configuration

$$E_\phi = E_\alpha - A_2M^4(1 - \cos\phi)^2 \quad (20)$$

which similar to (12) is lower than the energy of the parallel equator configuration. The relation between the energies E_θ and E_ϕ is established by comparing (10) with (17), which gives $\cos\theta \leq \cos\phi$, $0 \leq \phi \leq \theta \leq \pi/2$ and consequently $E_\theta \leq E_\phi$, if both the solution branches E_θ and E_ϕ coexist. We will consider the implications for the phase space flow of the latter situation when the discussing the bifurcation sequence below.

3. Stability

We now turn to the results for the stability and local phase space structure around each of the stationary points found in the previous section.

3.1. Parallel equator plane configuration. We start the stability analysis with small deviations from the parallel equator configuration when the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 are almost parallel and deviate by a small vector \mathbf{m} , i. e.

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{M} + \mathbf{m}, \quad \mathbf{M}_2 = \mathbf{M} - \mathbf{m} \quad (21)$$

and

$$\mathbf{M} = ^{1/2}(\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2), \quad \mathbf{m} = ^{1/2}(\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2). \quad (22)$$

The vector \mathbf{M} is located in the equator plane, i. e. $(\mathbf{M}\mathbf{n})=0$, and $|\mathbf{m}| \ll |\mathbf{M}|$. With this assumption one obtains from the r.h.s. of (6), (7) to first order in $|\mathbf{m}|$

$$d\mathbf{M}_1/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{nm})[\mathbf{n} \times \mathbf{M}] + 2(A_1 + 2A_2M^2)[\mathbf{M} \times \mathbf{m}], \quad (23)$$

$$d\mathbf{M}_2/dt = -(\beta - \alpha)(\mathbf{nm})[\mathbf{n} \times \mathbf{M}] - 2(A_1 + 2A_2M^2)[\mathbf{M} \times \mathbf{m}]. \quad (24)$$

Adding both equations one finds $d\mathbf{M}/dt=0$, i. e. the central vector \mathbf{M} is constant and remains in the equator plane. Subtracting the equations one obtains for \mathbf{m}

$$d\mathbf{m}/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{nm})[\mathbf{n} \times \mathbf{M}] + 2(A_1 + 2A_2M^2)[\mathbf{M} \times \mathbf{m}]. \quad (25)$$

We now choose the x-axis parallel to \mathbf{M} . Then for the components of \mathbf{m} one has

$$dm_x/dt = 0, \quad (26)$$

$$dm_y/dt = (\beta - \alpha)Mm_z - 2(A_1 + 2A_2M^2)Mm_z, \quad (27)$$

$$dm_z/dt = 2(A_1 + 2A_2M^2)Mm_y. \quad (28)$$

The transition to the tangential space with $m_x = \text{const}$ is a result of the linearization. The phase space structure of the remaining system of two coupled variables m_y and m_z is of

elliptic or hyperbolic type depending on the sign of the roots λ of the characteristic equation

$$\lambda^2 = 4M^2\{(\beta - \alpha)/2 - (A_1 + 2A_2M^2)\}(A_1 + 2A_2M^2). \quad (29)$$

For $\lambda^2 < 0$ ($\lambda^2 > 0$) the point $\mathbf{m}=0$ is elliptic (hyperbolic), i. e. the parallel equator configuration is stable (unstable).

3.2. Nonparallel equator plane configuration. In this case the linearization of the equations of motion (6) and (7) has to be performed around the configuration of vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 located in the equator plane and including the fixed angle θ , eq. (10). We denote the particular vectors, which satisfy (10), as $\mathbf{M}_1=\mathbf{P}$ and $\mathbf{M}_2=\mathbf{Q}$, respectively. Introducing now the small vectors \mathbf{m}_1 and \mathbf{m}_2 for the deviations as

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{P} + \mathbf{m}_1 \quad (30)$$

and

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{Q} + \mathbf{m}_2 \quad (31)$$

one obtains by keeping the linear terms for the components of \mathbf{m}_1 and \mathbf{m}_2 in the equator plane

$$d\mathbf{m}_{1;x,y}/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{n}\mathbf{m}_1)[\mathbf{n}\times\mathbf{P}], \quad (32)$$

$$d\mathbf{m}_{2;x,y}/dt = (\beta - \alpha)(\mathbf{n}\mathbf{m}_2)[\mathbf{n}\times\mathbf{Q}] \quad (33)$$

and for the components transversal to the equator plane

$$d\mathbf{m}_{1;z}/dt = -2A_2[\mathbf{P}\times\mathbf{Q}]\{(\mathbf{m}_1\mathbf{Q})+(\mathbf{m}_2\mathbf{P})\}, \quad (34)$$

and

$$d\mathbf{m}_{2;z}/dt = +2A_2[\mathbf{P}\times\mathbf{Q}]\{(\mathbf{m}_1\mathbf{Q})+(\mathbf{m}_2\mathbf{P})\}. \quad (35)$$

Now calculating the roots λ of the characteristic equation for the system (32)-(35) one finds

$$\lambda^2 = -4A_2(\beta - \alpha)|[\mathbf{P}\times\mathbf{Q}]|^2, \quad (36)$$

i.e. the nonparallel equator plane configuration is elliptic for the easy plane case $\beta > \alpha$.

3.3. Nonparallel meridian plane configuration. In this case we proceed in analogy to the nonparallel equator plane configuration and denote the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 satisfying the condition (17) as $\mathbf{M}_1=\mathbf{P}$ and $\mathbf{M}_2=\mathbf{Q}$, respectively. Introducing the small vectors \mathbf{m}_1 and \mathbf{m}_2 for the deviations from \mathbf{P} and \mathbf{Q} as

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{P} + \mathbf{m}_1, \quad (37)$$

and

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{Q} + \mathbf{m}_2, \quad (38)$$

and performing the linearizations of the equations of motion (6) and (7) one obtains

$$\begin{aligned} d\mathbf{m}_1/dt = 1/2 (\beta - \alpha)\{2(\mathbf{n}\mathbf{m}_1)[\mathbf{n}\times\mathbf{P}] + 2(\mathbf{n}\mathbf{P})[\mathbf{n}\times\mathbf{m}_1] + \\ + [\mathbf{m}_2\times\mathbf{P}] + [\mathbf{Q}\times\mathbf{m}_1]\} + 2A_2\{(\mathbf{Q}\mathbf{m}_1) + (\mathbf{P}\mathbf{m}_2)\}[\mathbf{Q}\times\mathbf{P}] \end{aligned} \quad (39)$$

and

$$d\mathbf{m}_2/dt = 1/2 (\beta - \alpha)\{2(\mathbf{n}\mathbf{m}_2)[\mathbf{n}\times\mathbf{Q}] + 2(\mathbf{n}\mathbf{Q})[\mathbf{n}\times\mathbf{m}_2] + [\mathbf{m}_1\times\mathbf{Q}] + [\mathbf{P}\times\mathbf{m}_2]\} + \quad (40)$$

$$+ 2A_2\{(\mathbf{Qm}_1)+(\mathbf{Pm}_2)\}[\mathbf{P}\times\mathbf{Q}].$$

Proceeding as with the nonparallel equator plane configuration and representing the system (39), (40) by the components of the vectors one obtains for the roots λ of the characteristic equation

$$\lambda^2 = 2A_2(\beta - \alpha)|[\mathbf{P}\times\mathbf{Q}]|^2, \quad (41)$$

i. e. the nonparallel meridian plane configuration is hyperbolic in the easy plane case $\beta > \alpha$.

4. Bifurcations and phase space portraits

We now turn to the sequence of bifurcations and the corresponding changes in the rotational phase spaces of the biquadratic coupled rotators. To be systematic in the exposition we will fix the value of A_1 and increase the value of the biquadratic coupling A_2 . As mentioned above we consider the case $A_1 < 0$ and to avoid confusion in all equations below the absolute value of A_1 , i. e. $|A_1|$ is used. We note that in the easy plane case, which is considered in this paper, $\beta > \alpha$ and correspondingly $|A_1| < |A_1| + 1/2(\beta - \alpha)$. Then the condition $|A_1| < 2A_2M^2$ is fulfilled before $|A_1| + 1/2(\beta - \alpha) < 2A_2M^2$ when increasing the biquadratic coupling A_2 . Correspondingly according to (11), (18) the bifurcation to the nonparallel equator plane configuration appears before the bifurcation to the nonparallel meridian plane configuration when A_2 is increased.

Phase space portraits were obtained by a direct numerical integration of the equations of motion (6) and (7) by a standard 4th-order Runge-Kutta method and by projecting the dynamics of the vectors M_1 and M_2 on tangential spaces. A time integration interval from $t=0$ to $t_{\max}=15$ with a time step equal to 0.001 was used. Accuracy of integration was checked by calculating the integrals of motion.

Increasing the biquadratic coupling constant A_2 one obtains next cases.

Low biquadratic coupling, $2A_2M^2 < |A_1|$: In this case the parallel equator configuration of the rotators is a stable elliptic state and represents the lowest energy E_α . Deviations of the vectors M_1 and M_2 from the parallel orientation result in rotations of M_1 and M_2 around the parallel configuration (we do not display the phase space portrait for this trivial case).

Intermediate biquadratic coupling, $|A_1| < 2A_2M^2 < |A_1| + 1/2(\beta - \alpha)$: According to (10) and (11) in a first bifurcation a new stationary state appears. This is a pitchfork bifurcation which converts the parallel rotator configuration into an unstable hyperbolic state and creates a new stable elliptic configuration with nonparallel rotators including the angle θ , eq. (10), in the equator plane. According to (12) the energy of this new stable stationary state E_θ is below the energy of the unstable parallel configuration E_α from which it has splitted off. For a representative set of parameters the phase space portrait is shown in the Fig. 2.

Strong biquadratic coupling, $|A_1| + 1/2(\beta - \alpha) < 2A_2M^2$: A second bifurcation occurs which according to (29), (41) converts the parallel configuration from an unstable hyperbolic point into a stable elliptic point with the creation of two new hyperbolic states arranged symmetrical in the z -direction. In this configuration the rotators include the angle ϕ . The corresponding phase space portrait is shown in the Fig. 3. According to (20) the energy E_ϕ of the newly created hyperbolic configuration is below E_α . In view of $0 \leq \phi \leq \pi/2$, the lowest energy remains associated with the states of the stable nonparallel equator configuration E_θ , i.e. the relation between the energies of the three stationary solution branches is $E_\theta \leq E_\phi \leq E_\alpha$.

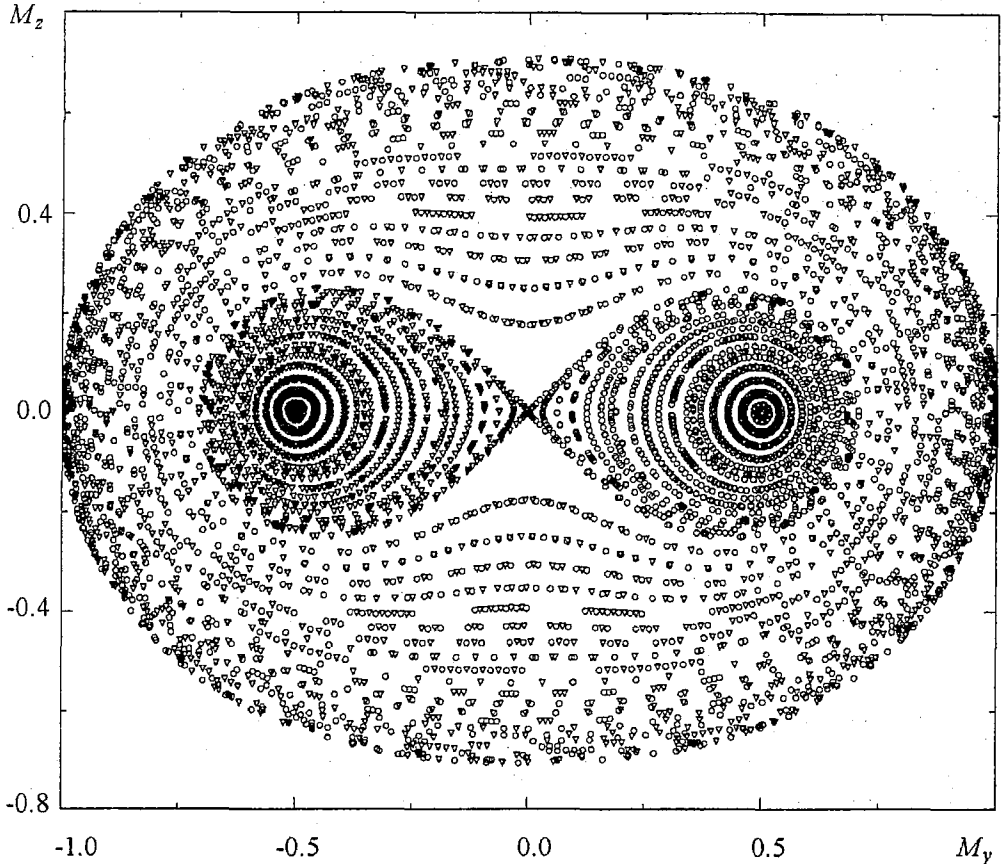


Fig. 2. Phase space portraits of two coupled rotators for an intermediate biquadratic coupling representative for the first bifurcation creating a new ground state (see text): $A_1=-1, A_2=1, \beta-\alpha=4$ and $M_1^2=M_2^2=M^2=1$. Initial conditions in the equator plane: $M_{1z}=M_{2z}=0, M_{1x}=M_{2x}=M\cos\vartheta$ and $M_{1y}=-M_{2y}=M\sin\vartheta$, where ϑ scans the equator plane from $\vartheta=0$ to $\vartheta_{\max}=\pi/2$, scan step $d\vartheta=0.01$. Shown are the trajectories of the components M_{1y}, M_{1z} (triangles) and M_{2y}, M_{2z} (circles) corresponding to the projections of the vectors \mathbf{M}_1 and \mathbf{M}_2 on the (M_y, M_z) -plane tangential to the sphere $M^2=1$ with the origin $(0,0)$ of this plane located in the centre of the initial condition scan at $\vartheta=0$

Conclusions

Summarizing we note that a system of two bilinear and biquadratic coupled anisotropic rotators displays a sequence of bifurcations from low to intermediate and intermediate to strong values of the biquadratic coupling constant. The first bifurcation is a pitchfork bifurcation in which a new ground state with a nonparallel alignment of the rotators in the easy plane appears. The new ground state energy E_θ of this nonparallel alignment of the rotators or canted configuration of the corresponding magnetization vectors is located below the energy E_α of the parallel configuration of rotators. For a strong biquadratic coupling in a second bifurcation hyperbolic points with the energy E_θ in the excited states region of the rotator dynamics appear. Furthermore in this second bifurcation the parallel rotator configuration passes from the hyperbolic state back to an elliptic state. The energy of the unstable branch E_θ generated in the second bifurcation is located between the energy of the nonparallel ground state configuration E_θ and the energy of the parallel alignment E_α of rotators in the easy plane. As possible candidates for the observation of the bifurcation sequences as described above we point to multilayer systems such as Fe/Mn/Fe [7] or Gd/Cr/Co [6], where the bilinear coupling can be small and the biquadratic coupling can dominate. Then controlled changes of the layer

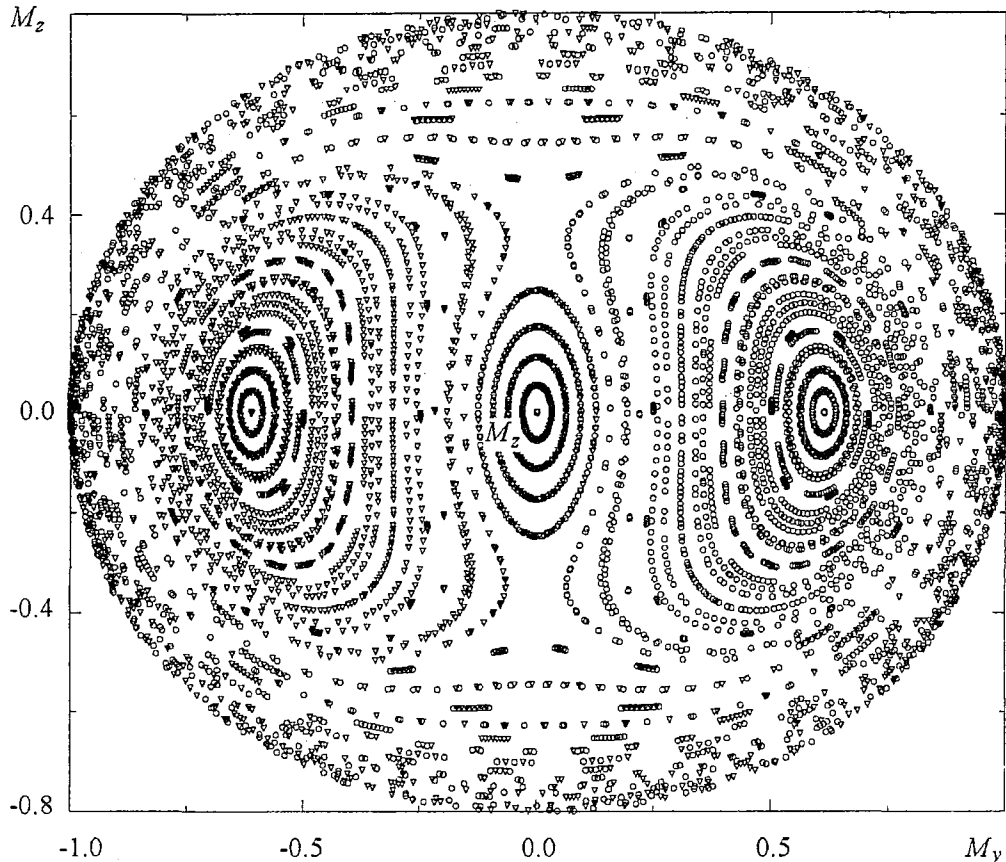


Fig. 3. Phase space portrait for a strong biquadratic coupling $A_2=2$ representative for the second bifurcation creating hyperbolic points in the excited states region, other parameters and initial conditions as in Fig. 2

configuration and spacer thickness can change the strength of the biquadratic coupling such as to make the bifurcation sequence described above observable. We also point to the important implications of the presence of the unstable hyperbolic rotator configuration in the excited states region for switching and relaxation in such multilayer systems.

The authors would like to thank the Humboldt-Universität Berlin and the Moscow State University for hospitality during exchange visits and the Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) for financial support.

References

1. *Wigen P.E.* Nonlinear Phenomena and Chaos in Magnetic Materials. World Scientific Publishing Co., 1994.
2. *Slonczewski J.C.* // Phys. Rev. Lett. 1991. Vol. 67. P. 3172; J. Appl. Phys. 1993. Vol.73. P. 5957; J.Magn. Magn. Mater. 1995. Vol. 150. P. 13.
3. *Ruehrig M., Schaefer R., Hubert A., Mosler R., Wolf J.A., Demokritov S. and Grueneberg P.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1991. Vol. 125. P. 635.
4. *Bruno P.* // Phys. Rev. B. 1995. Vol. 52. P. 411; J. Phys. B. 1999. Vol. 11. P. 9403.
5. *Mathi Jaya S., Valsakumar M.C. and Nolting W.* // J. Phys. C: Condens. Matter. 2002. Vol. 14. P. 4355.
6. *Suciu G., Toussaint J.C. and Voiron J.* // J. Magn. Magn. Mater. 2002. Vol. 240. P. 229.

Institut für Physik, Humboldt-Universität
zu Berlin, Germany
M.V. Lomonosov Moscow State
University, Russia

Received 27.02.2004

УДК 517.9; 538.221

МОДЕЛЬ СВЯЗАННЫХ РОТАТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МАГНИТНЫХ СЛОЕВ

Б. Эссер, В.В. Ржевский

Исследована динамика нелинейных взаимодействий в слоистых магнетиках на модели двух биквадратично взаимодействующих ротаторов. Рассмотрены стационарные состояния и проведен анализ их устойчивости в изотропном и анизотропном случаях. Получены бифуркационные переходы в зависимости от величины биквадратного взаимодействия. Оказывается, что наблюдаемые экспериментально параллельные и «скрещенные» состояния векторов намагниченности слоев являются предельными случаями общего бифуркационного поведения системы. В частности, показано, что энергия основного состояния понижается при увеличении бифуркационного угла, который определяется параметрами системы. Приводятся фазовые портреты для рассматриваемой модели на основе численных расчетов.



Bernd Esser was born in Wittenberg / Elbe (1945, Germany). He graduated (1970) and has got his PhD (1973) from Moscow State University. Since 1973 he worked as Dr. sc. nat. (Dr. habil.) at the Institut für Physik der Humboldt Universität Berlin, since 1978 at Humboldt Universität Berlin. Now he is an Associate Professor of the theoretical physics group «Statistical Physics and Nonlinear Dynamics». His scientific interests are classical and quantum properties of nonlinear systems. He is an author of 65 scientific papers and the Member of German Physical Society (DPG).



Rzhetskii Vladimir Vasil'evich was born in 1942, graduated from Physics Faculty of Moscow State University (1970). He has got his Ph.D. (Physics and Mathematics) 1982 from MSU. Since 1994 he is an Associate Professor of Low Temperature Physics and Superconductivity Department of Physics Faculty, MSU. His research interests are electron theory of metals, nonlinear systems, superconductivity. He is an author of 50 scientific publications.

E-mail: rzhevski@mig.phys.msu.su



К ВОПРОСУ О ЧАСТИЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

П.С. Ланда

Показано, что если переменные системы можно разделить на быстрые и медленные, то синхронизация возможна только для медленных переменных, тогда как быстрые могут оставаться несинхронизованными. В частности, такой медленной переменной может быть разность фаз колебаний двух связанных автоколебательных систем. Только в этом случае понятие фазовой синхронизации имеет физический смысл.

*Светлой памяти Ю.Л. Климонтовича
посвящается*

Последние годы перед смертью Ю.Л. Климонтович активно интересовался новыми идеями, публикуемыми, главным образом, за рубежом. В них, в частности, входят стохастический резонанс, ratchets и фазовая синхронизация. Как и я, он критически относился ко многим опубликованным работам по этим вопросам. Об этом свидетельствует его статья в журнале УФН [1], касающаяся стохастического резонанса, где он убедительно показал, что существующие представления о природе этого явления не соответствуют действительности. К сожалению, внезапная преждевременная кончина не позволила ему высказать свои соображения и по другим указанным вопросам. В этой статье, посвященной светлой памяти Ю.Л. Климонтовича, как один из вопросов, которые мы с ним активно обсуждали, рассматривается проблема так называемой «фазовой синхронизации», которой в настоящее время посвящено огромное количество работ. Прежде всего, следует отметить, что в русской литературе под термином «фазовая синхронизация», возникшем много лет тому назад [2], понимается совсем не то явление, которое рассматривали авторы этого термина в западной литературе [3-5]. К сожалению, в настоящее время этот термин общепринят, так что приходится им пользоваться.

Под термином «фазовая синхронизация», введенным в [3-5], его авторы понимали, что во многих автоколебательных системах с внешним воздействием или в связанных автоколебательных системах можно ввести некоторую переменную, имеющую смысл сдвига фаз, которая в определенном диапазоне параметров будет в среднем оставаться постоянной, тогда как другие переменные системы будут изменяться регулярно или хаотически. Этот диапазон параметров был назван областью фазовой синхронизации. Чтобы обосновать свою идею, авторы ссылались на работы Р.Л. Стратоновича по синхронизации генератора при наличии помех [6], где он показал, что при определенных условиях исходные уравнения системы могут быть приближенно сведены к уравнению для сдвига фаз

между колебаниями генератора и внешней силой. Стратонович также указал условия, когда этого делать нельзя. Между тем, авторы [3-5] и многие их последователи (см., например, недавний обзор [7]) этих условий четко не оговаривали. В результате складывалось впечатление, что этот прием можно использовать для любых систем. Поэтому, в первую очередь, остановимся на условиях, которые были использованы Стратоновичем при сведении исходной системы уравнений к одному уравнению для разности фаз.

Еще в 1954 году Р.В. Хохлов предложил прием [8], названный им «метод поэтапного упрощения укороченных уравнений и его применение к некоторым проблемам радиофизики» и явившийся темой его докторской диссертации. Позднее этот прием был обоснован математиками [9], получил название «метод усреднения в системах, содержащих быстрые и медленные движения», и стал широко применяться при решении многих задач, в частности, задач синхронизации.

Согласно указанному методу, сведение исходных уравнений системы к уравнению для фазы и использование понятия фазовой синхронизации возможны только тогда, когда фаза устанавливается значительно медленнее, чем все остальные переменные системы. Как будет показано ниже, этот тип синхронизации можно рассматривать как частный случай более общей синхронизации в сложных системах, которую можно назвать «частичной синхронизацией».

Итак, рассмотрим некоторую систему, часть переменных которой являются быстрыми, а остальные - медленными. Уравнения такой системы удобно записать в векторной форме [9]

$$dx/dt = \varepsilon X(t, \varepsilon t, x, y), \quad dy/dt = Y(t, \varepsilon t, x, y), \quad (1)$$

где компоненты вектора x являются медленными переменными, а компоненты вектора y - быстрыми переменными. Это означает, что в течение характерного времени изменения компонент вектора y компоненты вектора x не успевают существенно измениться, и поэтому в первом приближении их можно считать постоянными. Полагаем, что при $x = \text{const}$ уравнение для y можно решить, то есть можно найти интегральные кривые

$$y = y(t, \varepsilon t, x, y_0), \quad (2)$$

где y_0 - вектор начальных условий.

Влияние быстрых компонент вектора y на изменение медленных компонент вектора x сводится к тому, что на малую скорость изменения x накладывается быстрое воздействие y , поскольку вектор-функция X зависит от компонент вектора y . Естественно напрашивается вывод, что можно усреднить X по y . При этом усредненные уравнения окажутся не зависящими от y .

Предположим, что такое усреднение вдоль интегральных кривых (2) возможно, то есть существует предел

$$\overline{X(t, \varepsilon t, x, y)} = \lim_{T \rightarrow \infty} (1/T) \int_0^T X(t, \varepsilon t, x, y(t, \varepsilon t, x, y_0)) dt. \quad (3)$$

Так как время установления компонент вектора y много меньше, чем характерное время изменения компонент вектора x , то начальные условия y_0 должны слабо влиять на поведение вектора x . Значение интеграла в (3) изменится незначительно, если в качестве нижнего предела возьмем не начальный момент времени, а такой момент, когда решение $y(t, \varepsilon t, x)$ уже успело установиться. Поэтому усредненная вектор-функция \overline{X} должна очень слабо зависеть от начальных условий, то есть в формуле (3) в качестве интегральной кривой можно взять установившееся решение.

Пусть мы имеем две системы, описываемые уравнениями вида (1) и связанные по медленным переменным. Запишем уравнения этих систем в том же виде (1). В соответствии со сказанным выше, можно усреднить вектор-функцию $X(t, \varepsilon t, \mathbf{x}, \mathbf{y})$ и переписать уравнения (1) в следующем виде:

$$dx/dt = \varepsilon X_a(t, \varepsilon t, \mathbf{x}), \quad dy/dt = Y(t, \varepsilon t, \mathbf{x}, \mathbf{y}), \quad (4)$$

где $X_a(t, \varepsilon t, \mathbf{x})$ - усредненная вектор-функция. Если в некотором диапазоне параметров системы какие-либо функционалы от ряда компонент вектора \mathbf{x} являются константами, можно говорить, что эти компоненты синхронизуются. Такое определение синхронизации соответствует данному в [10]. При этом другие компоненты вектора \mathbf{x} и компоненты вектора \mathbf{y} могут вести себя сложным образом, и даже быть случайными. Это явление может быть названо частичной синхронизацией. Если в системе имеется не одна, а несколько медленных переменных, то возможно возникновение целой иерархии видов частичной синхронизации. Очевидно, что в этом аспекте фазовая синхронизация может рассматриваться как частный случай частичной синхронизации. Следует отметить, что в отличие от полной синхронизации, которая в случае хаотических систем имеет конечный порог [11,12], фазовая синхронизация в указанном выше смысле порога не имеет. Но дисперсия фазы и, соответственно, частоты колебаний может быть настолько велика, что использование этого понятия теряет физический смысл.

В качестве примера мы рассмотрим два связанных осциллятора Ресслера. Уравнения для этих осцилляторов мы зададим в той же форме, что и в работе [13],

$$\begin{aligned} \dot{X}_{1,2} &= -\Omega_{1,2} Y_{1,2} - Z_{1,2} + m(X_{2,1} - X_{1,2}), \\ \dot{Y}_{1,2} &= \Omega_{1,2} X_{1,2} + e Y_{1,2}, \\ \dot{Z}_{1,2} &= d + Z_{1,2}(X_{1,2} - c), \end{aligned} \quad (5)$$

где $e=0.165$, $d=0.2$, $c=10$, $\Omega_{1,2}=\Omega_0 \pm \Delta$, $\Omega_0=0.97$, $\Delta=0.02$, а коэффициент связи m будем варьировать.

При заданных значениях параметров и малой связи уравнения (5) имеют две неустойчивые особые точки (см. [14]) с координатами

$$\begin{aligned} X_{1,2}^{(1)} &= X_{01} \mp \Delta X_1, & Y_{1,2}^{(1)} &= -(1/e)\Omega_0 X_{1,2}^{(1)} \pm \Delta Y_1, & Z_{1,2}^{(1)} &= d/(c-X_{01}) \pm \Delta Z_1, \\ X_{1,2}^{(2)} &= X_{02} \mp \Delta X_2, & Y_{1,2}^{(2)} &= -(1/e)\Omega_0 X_{1,2}^{(2)} \pm \Delta Y_2, & Z_{1,2}^{(2)} &= d/(c-X_{02}) \pm \Delta Z_2, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} X_{01} &= 1/2 [c - (c^2 - 4ed/\Omega_0^2)^{1/2}], & X_{02} &= 1/2 [c + (c^2 - 4ed/\Omega_0^2)^{1/2}], \\ \Delta X_1 &= 2X_{01}(X_{01} - c)\Delta / [\Omega_0(2X_{01} - c)], & \Delta Y_1 &= X_{01}\Delta/e, & \Delta Z_1 &= 2d\Delta / [c\Omega_0(2X_{01} - c)], \\ \Delta X_2 &= 2X_{02}(X_{02} - c)\Delta / [\Omega_0(2X_{02} - c)], & \Delta Y_2 &= X_{02}\Delta/e, & \Delta Z_2 &= 2d\Delta / [c\Omega_0(2X_{02} - c)]. \end{aligned}$$

Можно показать, что первая из этих точек неустойчива колебательно, а вторая - аperiодически.

Введем в качестве новых переменных отклонения от колебательно неустойчивой особой точки $x_{1,2}=X_{1,2}-X_{1,2}^{(1)}$, $y_{1,2}=Y_{1,2}-Y_{1,2}^{(1)}$, $z_{1,2}=Z_{1,2}-Z_{1,2}^{(1)}$. Для этих отклонений из (5) мы получаем следующие уравнения:

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1,2} &= -\Omega_{1,2}y_{1,2} - z_{1,2} + m(x_{2,1} - x_{1,2}); \\ \dot{y}_{1,2} &= \Omega_{1,2}x_{1,2} + ey_{1,2}, \\ \dot{z}_{1,2} &= Z_{1,2}^{(1)}x_{1,2} - (c - X_{1,2}^{(1)})z_{1,2} + x_{1,2}z_{1,2}.\end{aligned}\quad (7)$$

Нетрудно показать, что уравнения (7) описывают связанные системы с инерционной нелинейностью. Возбуждение автоколебаний в таких системах происходит за счет «отрицательного трения», а их ограничение - за счет инерционного взаимодействия между динамическими переменными $x_{1,2}$ и $z_{1,2}$.

Вслед за [13] введем «амплитуды» $A_{1,2}$ и «фазы» $\psi_{1,2}$ путем подстановки в уравнения (7) $x_{1,2} = A_{1,2} \cos \psi_{1,2}$, $y_{1,2} = A_{1,2} \sin(\psi_{1,2})$, где $\psi_{1,2} = \Omega_0 t + \varphi_{1,2}$. Заметим, что эта подстановка аналогична той, которая была предложена Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси для обоснования метода Ван дер Поля [15]. В результате для введенных амплитуд, фаз и переменных $z_{1,2}$ получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned}\dot{z}_{1,2} + (c - X_{1,2}^{(1)})z_{1,2} &= (Z_{1,2}^{(1)} + z_{1,2})A_{1,2} \cos \psi_{1,2}, \\ \dot{A}_{1,2} &= eA_{1,2} \sin^2 \psi_{1,2} - z_{1,2} \cos \psi_{1,2} + m(A_{2,1} \cos \psi_{2,1} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}) \cos \psi_{1,2}, \\ \dot{\varphi}_{1,2} &= \pm \Delta + (e \cos \psi_{1,2} + z_{1,2}/A_{1,2}) \sin \psi_{1,2} - m(A_{2,1} \cos \psi_{2,1}/A_{1,2} - \cos \psi_{1,2}) \sin \psi_{1,2}.\end{aligned}\quad (8)$$

Из уравнений (8) видно, что рассматриваемая система имеет три характерных времени: $\tau_1 = 1/c$, $\tau_2 = 1/e$ и $\tau_3 = 1/\Delta$. При выбранных значениях параметров эти времена соотносятся друг с другом и с «периодом» $T = 2\pi/\Omega_0$ следующим образом: $\tau_1 \ll T \ll \tau_2 \ll \tau_3$. Отсюда следует, что фазовый сдвиг $\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$ является медленной переменной. Что касается переменных $z_1(t)$ и $z_2(t)$, то здесь вопрос обстоит значительно сложнее. Численное моделирование уравнений (8) показывает, что переменные $z_1(t)$ и $z_2(t)$ представляют собой случайные последовательности коротких (длительности порядка $1/c$) импульсов, между которыми значения $z_{1,2}(t)$ изменяются относительно медленно (с характерным временем $T \gg 1/c$). Поэтому удобно перейти к новым переменным

$$u_{1,2} = z_{1,2} - z_{1,2}^{(0)}, \quad (9)$$

где

$$z_{1,2}^{(0)} = Z_{1,2}^{(1)} A_{1,2} \cos \psi_{1,2} / [c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}] \quad (10)$$

- решения первого уравнения (8) в предположении, что $A_{1,2}$ и $\psi_{1,2}$ в его правой части являются константами. В этих переменных уравнения (8) примут вид

$$\begin{aligned}\dot{u}_{1,2} + (c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2})u_{1,2} &= \frac{Z_{1,2}^{(1)}(c - X_{1,2}^{(1)})}{(c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2})^2} \times \\ &\times \left\{ \left[eA_{1,2} \sin^2 \psi_{1,2} - u_{1,2} \cos \psi_{1,2} - \frac{Z_{1,2}^{(1)} A_{1,2} \cos^2 \psi_{1,2}}{c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + m(A_{2,1} \cos \psi_{2,1} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}) \cos \psi_{1,2} \right] \cos \psi_{1,2} - \right. \\ &\left. - \left[(\Omega_0 \pm \Delta) A_{1,2} + eA_{1,2} \cos \psi_{1,2} + u_{1,2} + \frac{Z_{1,2}^{(1)} A_{1,2} \cos \psi_{1,2}}{c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}} \sin \psi_{1,2} - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - m(A_{2,1} \cos \psi_{2,1} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}) \sin \psi_{1,2} \right] \sin \psi_{1,2} \right\},\end{aligned}\quad (11)$$

$$\dot{A}_{1,2} = eA_{1,2} \sin^2 \psi_{1,2} - \frac{Z_{1,2}^{(1)} A_{1,2} \cos^2 \psi_{1,2}}{c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}} +$$

$$+ m (A_{2,1} \cos \psi_{2,1} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}) \cos \psi_{1,2} - u_{1,2} \cos \psi_{1,2}, \quad (12)$$

$$\dot{\varphi}_{1,2} = \pm \Delta + \frac{1}{2} \left(e + \frac{Z_{1,2}^{(1)}}{c - X_{1,2}^{(1)} - A_{1,2} \cos \psi_{1,2}} \right) \sin 2\psi_{1,2} -$$

$$- m \left(\frac{A_{2,1}}{A_{1,2}} \cos \psi_{2,1} - \cos \psi_{1,2} \right) \sin \psi_{1,2} + \frac{u_{1,2}}{A_{1,2}} \sin \psi_{1,2}. \quad (13)$$

В рассматриваемой системе возможны три уровня синхронизации. Высший уровень - это полная синхронизация, когда колебания в обоих осцилляторах почти совпадают, но слегка задержаны друг относительно друга. Этот тип синхронизации существует при $m > 0.14$. В работе [13], претендующей на его открытие, он был назван lag-синхронизацией. Однако следует отметить, что впервые этот тип синхронизации численно наблюдался в работе [16]. Пример такой синхронизации иллюстрирован на рис. 1 для $m = 0.15$. Из рисунка видно, что колебания обоих осцилляторов практически совпадают (задержка между ними много меньше «периода»).

Следующий уровень - это частичная синхронизация, когда моменты генерации импульсов переменных $u_{1,2}$ практически совпадают. Как следует из наших численных расчетов, значение m , соответствующее возникновению этого типа синхронизации, приблизительно равно 0.095 (рис. 2). При этом значении m амплитуды колебаний в обоих генераторах существенно отличаются друг от друга (рис. 2, а, б).

Наконец, наинизший уровень синхронизации - это также частичная синхронизация, когда только фазы колебаний переменных $x_{1,2}$ и $y_{1,2}$ синхронизируются, то есть разность фаз в среднем является константой. Это именно тот случай, который был назван в [3-5] фазовой синхронизацией. При выбранном значении расстройки этот тип синхронизации становится возможным при $m \approx 0.04$ (рис. 3). При $m \geq 0.04$ средние частоты колебаний в обоих осцилляторах совпадают. Это следует из того факта, что наклоны зависимостей φ_1 и φ_2 от t в среднем одинаковы (рис. 3, з).

Поскольку трудно ввести переменную, описывающую моменты генерации импульсов переменных $u_{1,2}(t)$, аналитическое рассмотрение частичной синхронизации оказалось возможно только для фазовой синхронизации. Так как времена установления амплитуд и фаз много больше, чем τ_1 и T , мы можем усреднить правые части уравнений (12), (13) по $\psi_{1,2}$. Пренебрегая влиянием коротких импульсов переменных $u_{1,2}(t)$ на результаты усреднения, получаем следующие усредненные уравнения:

$$\dot{A}_{1,2} = eA_{1,2}/2 - c_{1,2} Z_{1,2}^{(1)} / A_{1,2} [c_{1,2} / (c_{1,2}^2 - A_{1,2}^2)^{1/2} - 1] + m/2 (A_{2,1} \cos \Phi - A_{1,2}), \quad (14)$$

$$\dot{\varphi} = m/2 (A_2/A_1 - A_1/A_2) \sin \Phi, \quad (15)$$

$$\dot{\Phi} = 2\Delta - m/2 (A_2/A_1 + A_1/A_2) \sin \Phi,$$

где $c_{1,2} = c - X_{1,2}^{(1)}$, $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, $\Phi = \varphi_1 - \varphi_2$. Далее используем тот факт, что время установления амплитуды (порядка $1/e$) много меньше, чем время установления разности фаз (порядка $1/\Delta$). Отсюда следует, что в нулевом приближении можно

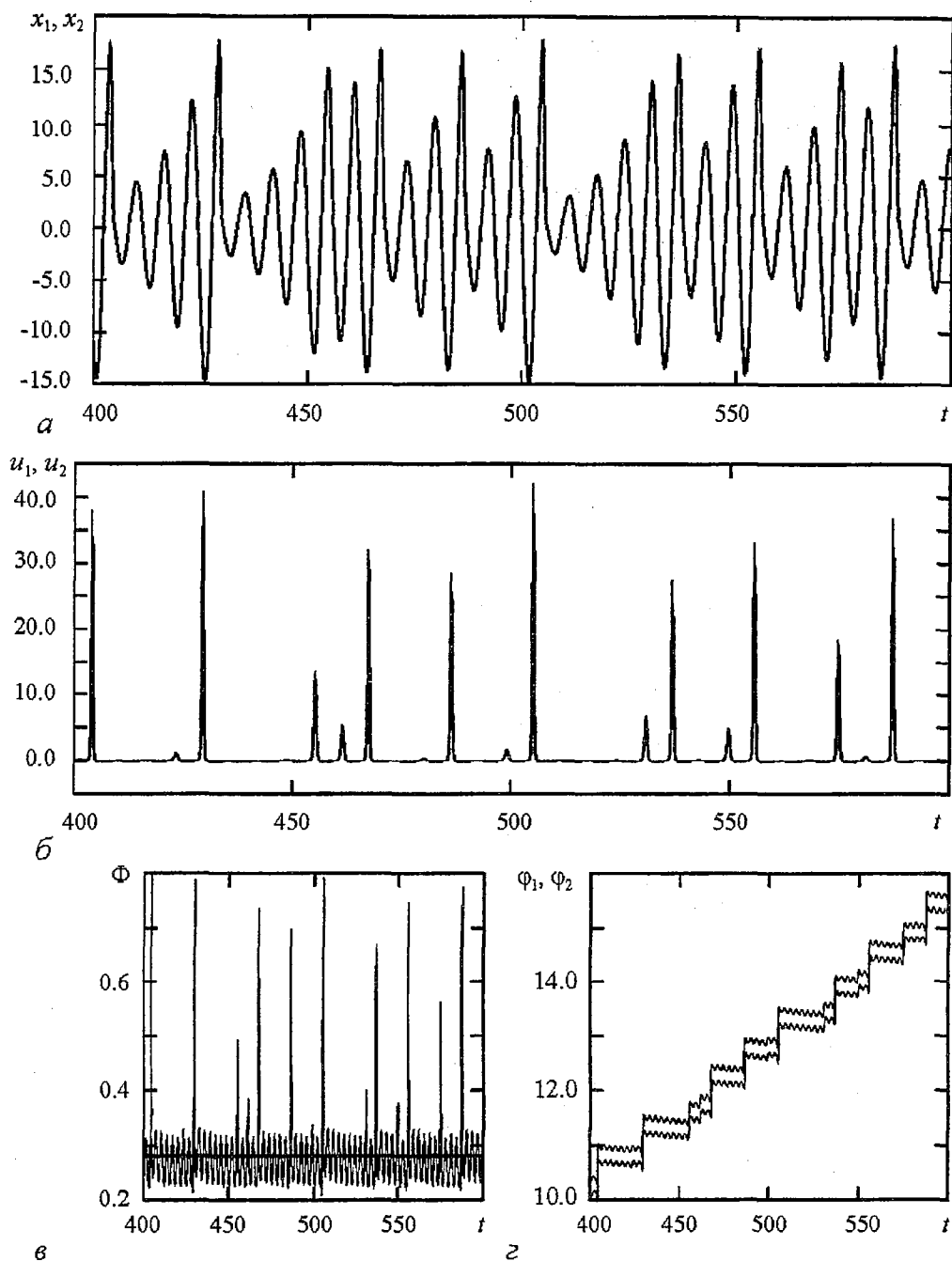


Рис. 1. Пример полной синхронизации в системе уравнений Ресслера, записанной в виде (8) при $m=0.15$

найти стационарное решение уравнений (14) и подставить его в уравнение (16). В принципе, это решение зависит от Φ и является функцией времени. Но, принимая во внимание малость коэффициента связи, в первом приближении по этому коэффициенту можем вычислить стационарное решение, пренебрегая членами, содержащими m ,

$$A_{1,2} = c_{1,2} / 2^{1/2} [1 - 4Z_{1,2}^{(1)} / (ec_{1,2}) + [1 + 8Z_{1,2}^{(1)} / (ec_{1,2})]^{1/2}]^{1/2}. \quad (16)$$

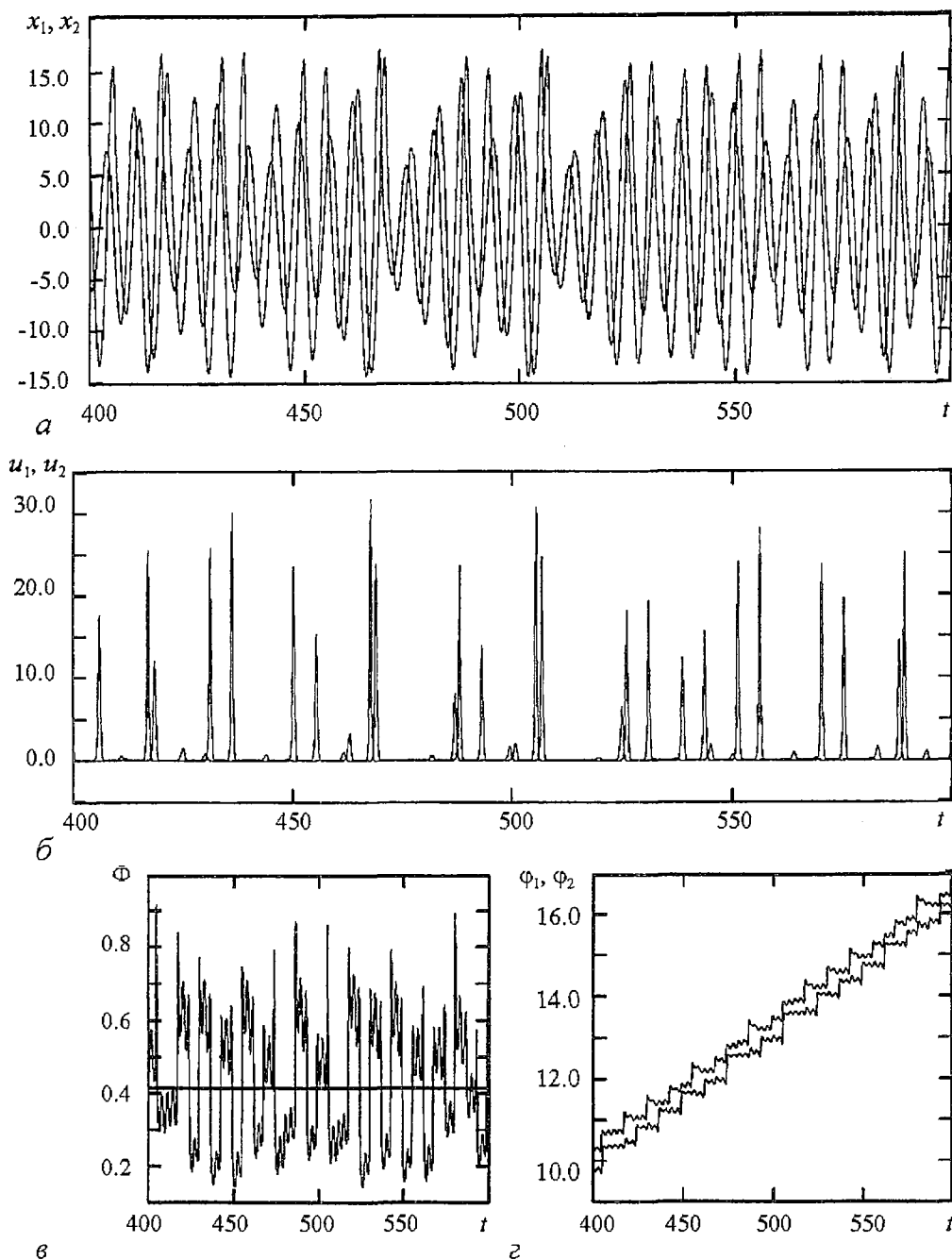


Рис. 2. Начало частичной синхронизации в системе Ресслера: моменты генерации импульсов переменных $u_{1,2}$ практически совпадают ($m=0.095$), тогда как амплитуды импульсов и переменные $x_{1,2}$ существенно отличаются друг от друга

Так как $X_{1,2}^{(1)} \ll c$ и $Z_{1,2}^{(1)}/e \sim 1 \ll c$, находим из (16)

$$A_{1,2}^{(0)} \approx c - X_{1,2}^{(1)} - 2(Z_{1,2}^{(1)})^2 / (ce^2). \quad (17)$$

Подставляя это приближенное решение в уравнение (16), находим значение m , соответствующее границе фазовой синхронизации: $m \approx 2\Delta$.

Подчеркнем, что эти результаты получены только как нулевое приближение при очень малых расстройках. Если расстройка больше или порядка e , то

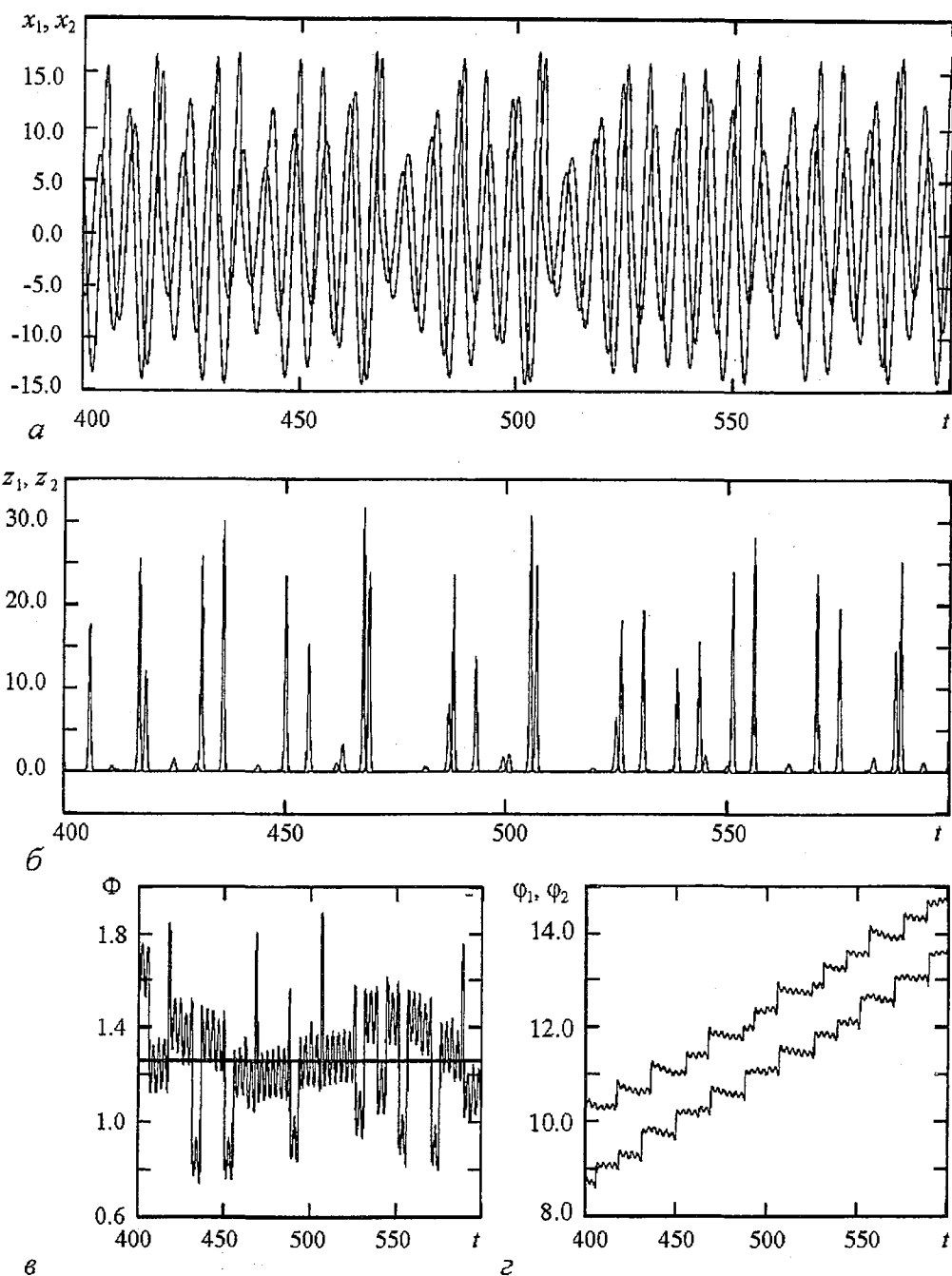


Рис. 3. Начало «фазовой синхронизации» в системе Ресслера ($m=0.004$): средняя разность фаз является константой (жирная линия), но дисперсия довольно велика

изложенный подход неприменим. Кроме того, как уже указывалось, в первом и более высоких приближениях амплитуды $A_{1,2}$, найденные из уравнений (14), будут флуктуирующими. Тем не менее, при малых расстройках сдвиг фаз Φ , усредненный по времени порядка $1/e$, будет постоянным. Следует, однако, заметить, что, как видно из рис. 1-3, разброс сдвига фаз довольно велик, даже в случае полной синхронизации (рис. 1, в). Поэтому вопрос о физическом значении использования понятия фазовой синхронизации остается открытым.

В качестве другого примера рассмотрим одну из систем с инерционным возбуждением, описанную в [12]. Уравнения рассматриваемой системы имеют вид

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = -ky - gx^3 + B\cos\omega t, \quad (18)$$

$$\dot{y} + \gamma y = ax - lx^2 - hx^3,$$

где $\delta=0.375$, $\omega_0=a=l=\gamma=h=1$, $k=20$, $g=17.5$. Значения B и ω варьировались.

В отсутствие внешней силы система (18) имеет одну колебательно неустойчивую особую точку в начале координат и две аperiodически неустойчивых особых точки. Формы колебаний переменных системы и проекция аттрактора на плоскость \dot{x} , x показаны на рис. 4.

При наличии внешней силы возможна как полная синхронизация колебаний, когда колебания в системе становятся строго периодическими с частотой внешней силы (этот случай впервые рассмотрен в [11]), так и частичная синхронизация (в данном случае - фазовая). Чтобы рассмотреть фазовую синхронизацию, удобно в системе (18) перейти к новым переменным $A(t)$ и $\varphi(t)$, определяемым соотношениями $x(t) = x_0 + A(t)\cos(\omega t + \varphi(t))$, $\dot{x}(t) = -A(t)\omega\sin(\omega t + \varphi(t))$, где $x_0 \approx 0.00135$ - среднее значение переменной $x(t)$. В этих переменных система уравнений (18) примет вид

$$\dot{A} = (1/\omega)(\omega_0^2 x_0 + gx_0^3)\sin\psi - \{(1/\omega)[\omega^2 - \omega_0^2 - g(3x_0(x_0 + A\cos\psi) + A^2\cos^2\psi)]A\cos\psi + 2\delta\sin\psi\}A\sin\psi + (1/\omega)ky\sin\psi - (1/\omega)B\sin\psi\cos\omega t, \quad (19)$$

$$\dot{\varphi} = 1/(A\omega)(\omega_0^2 x_0 + gx_0^3)\cos\psi - \{(1/\omega)[\omega^2 - \omega_0^2 - g(3x_0(x_0 + A\cos\psi) + A^2\cos^2\psi)]\cos\psi + 2\delta\sin\psi\}\cos\psi + 1/(A\omega)ky\cos\psi - 1/(A\omega)B\cos\psi\cos\omega t$$

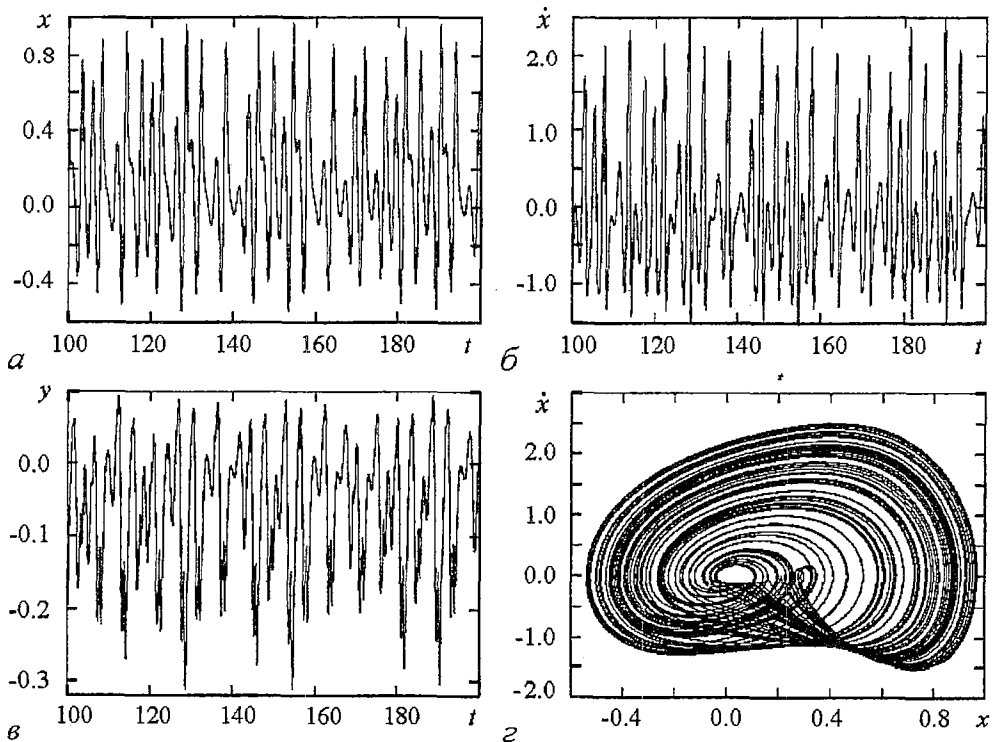


Рис. 4. Свободные автоколебания в системе с инерционным возбуждением (18) при $\delta=0.375$, $\omega_0=a=l=\gamma=h=1$, $k=20$, $g=17.5$. Средняя частота автоколебаний $\Omega_0 \approx 2.255$

$$\dot{y} + \gamma y = [a - l(\text{Acos}\psi + x_0) - h(\text{Acos}\psi + x_0)^2](\text{Acos}\psi + x_0), \quad (20)$$

где $\psi = \omega t + \varphi(t)$.

В случае $\delta \ll \omega$ и $B \ll A$ амплитуда A и фаза φ являются медленно меняющимися функциями времени. Поэтому можно решить уравнение (20), полагая A и φ постоянными. В результате находим

$$y = y_0 + (\omega \sin \psi + \gamma \cos \psi) y_1 A / (\omega^2 + \gamma^2) - (2\omega \sin 2\psi + \gamma \cos 2\psi) y_2 / (4\omega^2 + \gamma^2) - (3\omega \sin 3\psi + \gamma \cos 3\psi) y_3 / (9\omega^2 + \gamma^2), \quad (21)$$

где

$$y_0 = -[l(A^2 + 2x_0^2) + 3hx_0A^2 + 2hx_0^3 - 2ax_0] / (2\gamma), \quad y_1 = a - 2x_0l - 3x_0^2h - 3hA^2/4, \\ y_2 = (l + 3x_0h)A^2/2, \quad y_3 = hA^3/4.$$

Подставляя теперь (21) в уравнения (19) и усредняя по времени, находим

$$\dot{A} = -\delta A + kAy_1 / [2(\omega^2 + \gamma^2)] - (B/2\omega) \sin \varphi, \quad (22)$$

$$\dot{\varphi} = 3gA^2 / (8\omega) - (\omega^2 - \omega_0^2 - 3gx_0^2) / (2\omega) + ky_1\gamma / [2\omega(\omega^2 + \gamma^2)] + B \cos \varphi / (2\omega A). \quad (23)$$

Если

$$B / (2\omega A) \ll \delta, \quad (24)$$

то есть амплитуда устанавливается значительно быстрее фазы, то мы можем найти установившееся решение уравнения (22) и подставить его в уравнение (23). При условии (24) это установившееся решение может быть найдено приближенно

$$A \approx A_0 - 2(\omega^2 + \gamma^2)B \sin \varphi / (3\omega k h A_0^2), \quad (25)$$

где

$$A_0 = [4 / (3h)(a - 2x_0l - 3x_0^2h - 2\delta(\omega^2 + \gamma^2) / k)]^{1/2}. \quad (26)$$

Подставляя теперь (25) в (23), получаем следующее уравнение для фазы:

$$\dot{\varphi} = 1 / (2\omega) [\omega_0^2 + 2\delta\gamma + (g/h)(a - 2x_0l - 2\delta\gamma^2/k) - \omega^2(1 + 2\delta g / (hk))] + B / (2\omega A_0) [\cos \varphi + (\gamma/\omega - g(\omega^2 + \gamma^2) / (hk\omega)) \sin \varphi]. \quad (27)$$

Полагая в (27) $B=0$, можно найти среднюю частоту автономных автоколебаний Ω_0 . Из (27) следует, что $\Omega_0 \approx 3.34$. Численное моделирование дает меньшую величину: $\Omega_0 \approx 2.255$.

Из уравнения (27) следует, что, как и следовало ожидать, синхронизовать среднее значение частоты в некоторой небольшой области частот ω можно при любом сколь угодно малом значении B . При этом значение фазы в среднем будет постоянным. Но, как видно из рис. 5, соответствующего $B=0.5$, $\omega=2.206$, разброс фазы даже при этом, сравнительно большом значении B существенно превышает π , что приводит к значительной дисперсии частоты колебаний. При меньших значениях B разброс фазы еще больше. Кроме того, имеются нерегулярные скачки среднего значения фазы на 2π . Очевидно, что такая «фазовая синхронизация» не имеет физического смысла. При увеличении B разброс фазы существенно уменьшается, но возникают ее периодические колебания с частотой внешней силы. Это продемонстрировано на рис. 6, соответствующем $B=0.8$, $\omega=2.206$. Колебания переменных $x(t)$ и $y(t)$ близки к периодическим, но являются хаотическими, что видно из проекции аттрактора на плоскость $x(t), \dot{x}(t)$. При этом

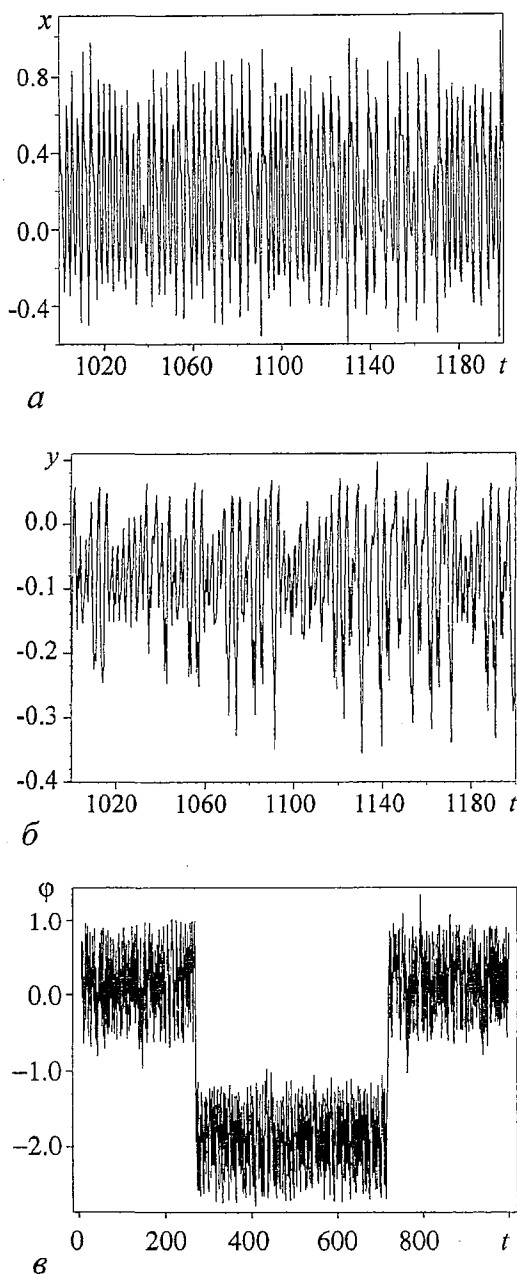


Рис. 5. «Фазовая синхронизация» в системе (18), записанной в виде (19), при $\omega=2.206, B=0.5$

значении B понятие «фазовой синхронизации» оправдано. Однако сведение исходной системы уравнений к уравнению для фазы вида (27) несправедливо, потому что условие (24) не выполняется.

Из результатов этой работы можно сделать следующие выводы.

- Сведение исходной системы уравнений к единственному уравнению для фазы возможно только в тех системах и при тех параметрах, когда движения можно разбить на быстрые и медленные.

- Использование понятия частичной синхронизации и, в частности, фазовой имеет физический смысл, если дисперсия соответствующих переменных мала, что во многих системах не выполняется.

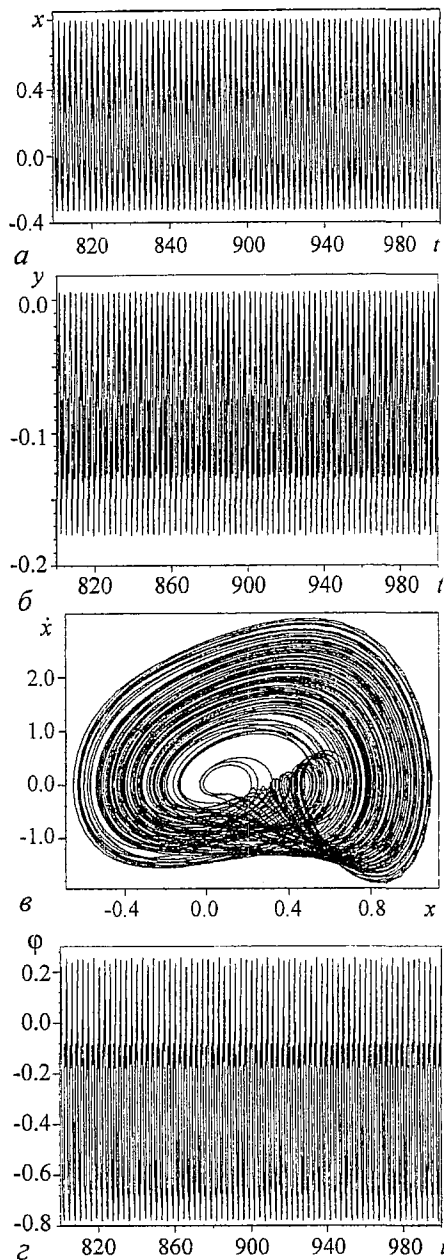


Рис. 6. «Фазовая синхронизация» в системе (18), записанной в виде (19), при $\omega=2.206, B=0.8$

Библиографический список

1. Климонтович Ю.Л. // УФН. 1999. Т. 169. С. 39.
2. Фазовая синхронизация. М.: Связь, 1975.
3. Rosenblum M., Pikovsky A., Kurths J. // Phys. Rev. Lett. 1996. Vol. 76. P. 1804.
4. Osipov G. et al. // Phys. Rev. E. 1997. Vol. 55. P. 2353.
5. Pikovsky A.S. et al. // Physica D. 1997. Vol. 104. P. 219.
6. Стратонович Р.Л. Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике. М.: Сов. Радио, 1961.
7. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е. Синхронизация автоколебаний и колебаний, индуцированных шумом // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47. С. 133.
8. Хохлов Р.В. // ДАН СССР. 1954. Т. 97. С. 411.
9. Волосов В.М., Моргунов Б.И. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем. Москва: Изд-во МГУ, 1971.
10. Blekhnman I.I., Landa P.S., Rosenblum M.G. // Appl. Mech. Rev. 1995. Vol. 48. P. 733.
11. Кузнецов Ю.И. и др. // ДАН СССР. 1985. Т. 281. С. 291.
12. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. Москва: Наука, 1987.
13. Rosenblum M.G., Pikovsky A.S., Kurths J. // Phys. Rev. Lett. 1997. Vol. 78. P. 4193.
14. Landa P.S. Nonlinear oscillations and waves in dynamical systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1996.
15. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. // ЖЭТФ. 1934. Т. 4. С. 117.
16. Ланда П.С., Перминов С.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 1985. Т. 28. С.424.

Московский государственный
университет

Поступила в редакцию 2.04.2004

ON THE PARTIAL SYNCHRONIZATION

P.S. Landa

It is shown that, in the case that the system's variables can be separated into fast and slow ones, synchronization of only slow variables is possible whereas fast variables remain nonsynchronized. In particular, the phase shift for oscillations of two coupled self-oscillatory systems may be such a slow variable. Only in this case the notion of phase synchronization is physically meaningful.



Ланда Полина Соломоновна - родилась в 1931 году в Киеве, окончила физический факультет МГУ в 1953 году. С 1956 года работает на физическом факультете МГУ. Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в МГУ (1959) и доктора физико-математических наук в Горьковском госуниверситете (1972) в области теории колебаний и волн. Профессор, ведущий сотрудник МГУ. Область научных интересов - теория колебаний и волн, радиофизика, применение методов нелинейной динамики в различных областях науки. Автор и соавтор пяти монографий по колебаниям и волнам, в том числе монографии «Стохастические и хаотические колебания», переведенной на английский язык, а также монографии «Нелинейные колебания и волны в динамических системах», вышедшей в издательстве «Kluwer» (Голландия). Член

Национального комитета по механике (Россия). Опубликовала много научных статей по направлениям, указанным выше. Член редакционной коллегии журналов «Chaos, Solitons and Fractals» и «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика».



ВРЕМЕННОЙ ХАОС В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ КАК СЛЕДСТВИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

*В.С. Анищенко, А.А. Акопов, Т.Е. Вадивасова,
Г.А. Окрокверцхов, В.В. Астахов*

Исследуется динамика неоднородной среды, описываемой одномерным уравнением Гинзбурга - Ландау с вещественными параметрами. Показано, что неоднородность среды служит причиной возникновения хаотических автоколебаний. Различными методами рассчитывается старший ляпуновский показатель. Установлено, что декремент экспоненциального затухания автокорреляционной функции колебаний вещественной амплитуды $A(t)$ во времени для фиксированной точки пространства на порядок меньше старшего ляпуновского показателя и определяется коэффициентом эффективной диффузии мгновенной фазы хаотического процесса $A(t)$. Хаотические автоколебания неоднородной среды в любой точке пространства оказываются близки по своим характеристикам к режиму спирального аттрактора в конечномерных системах.

Введение

Распределенные системы являются одним из интереснейших объектов изучения в теоретической физике. Этот интерес связан прежде всего с волновыми явлениями, включая турбулентность, которые могут возникнуть только в распределенной среде. В настоящее время имеется большое количество работ, посвященных исследованию турбулентности в различных средах и их математических моделях [1]. Обнаружены и исследованы различные типы турбулентного поведения: фазовая турбулентность, амплитудная турбулентность, пространственно-временная перемежаемость [2]. Исследованы статистические характеристики турбулентного состояния, в частности, показан экспоненциальный характер расщепления временных корреляций в режиме фазовой турбулентности [3].

В развитии неупорядоченного поведения среды во времени и пространстве может участвовать пространственная неоднородность (зависимость параметров среды от точки пространства). Неоднородность неизбежно присутствует в реальных распределенных системах и средах. Однако влияние неоднородности на динамику среды и ее роль в возникновении хаотического и турбулентного поведения на сегодняшний день исследованы недостаточно. В ряде работ исследовалось влияние пространственной неоднородности на поведение цепочек и

решеток локально-связанных автоколебательных систем [4-8]. Такие ансамбли в определенной степени могут быть применены для приближенного описания распределенных сред. В отсутствие взаимодействия каждый из осцилляторов имеет свою частоту автоколебаний. При сильной связи наблюдается полная синхронизация всего ансамбля. Если связь не достаточна для полной синхронизации, возникают частотные кластеры - группы осцилляторов, имеющих строго одинаковые или близкие средние частоты колебаний. Соответственно говорят об идеальных и неидеальных кластерах [7]. Из-за конечности числа элементов ансамбля, спектр колебаний осцилляторов как в режиме идеальных кластеров, так и в режиме неидеальных кластеров, включает конечный набор частот. С увеличением степени взаимодействия число спектральных компонент в результате синхронизации уменьшается. Частотная расстройка осцилляторов ансамбля не ведет непосредственно к нерегулярной динамике. В непрерывной неоднородной автоколебательной среде при определенном выборе параметров также возможно наблюдать эффект формирования частотных кластеров [9-11]. В отличие от ансамбля, состоящего из конечного (пусть и очень большого) числа осцилляторов, в непрерывной среде в режиме неидеальных кластеров средняя частота колебаний является непрерывной функцией пространственной координаты. Таким образом, в результате взаимодействия элементов среды колебания в каждой точке пространства должны обладать сплошным спектром. Как известно, сплошной спектр в отсутствие шума является характерной чертой динамического хаоса (то есть турбулентного режима в непрерывной среде) и должен соответствовать перемеживанию (расщеплению корреляций) и абсолютной экспоненциальной неустойчивости.

В настоящей работе установлен и исследован эффект возникновения хаотического поведения непрерывной среды во времени, связанный с пространственной неоднородностью.

1. Исследуемая модель среды

В работе рассматривается одномерная автоколебательная среда, задаваемая уравнением Гинзбурга - Ландау с вещественными параметрами и частотой колебаний, зависящей от пространственной координаты

$$a_t = i\omega(x)a + 1/2(1-|a|^2)a + ga_{xx}, \quad (1)$$

где $i = (-1)^{1/2}$; $a(x,t)$ - комплексная амплитуда колебаний; независимые переменные t и $x \in [0,1]$ есть соответственно время и нормированная пространственная координата; a_t - первая производная по времени; a_{xx} - вторая производная по пространственной координате. Коэффициент диффузии g полагался постоянным. Колебания в различных точках среды при $g \rightarrow 0$ имеют разные частоты, задаваемые функцией $\omega(x)$. Исследовался случай линейной зависимости частоты ω от пространственной координаты: $\omega(x) = x\Delta_{\max}$. Данную модель среды можно рассматривать как предельный случай неоднородной цепочки квазигармонических автогенераторов [7,8] при переходе к непрерывной пространственной координате. Аналогичная модель среды исследовалась в [9-11].

Разность значений параметра ω на границах среды фиксировалась постоянной: $\Delta_{\max} = 0.2$. Граничные условия задавались в виде: $a_x(x,t)|_{x=0,1} = 0$. Начальное состояние среды выбиралось случайным образом вблизи некоторого однородного распределения $a_0 = \text{const}$. Уравнение (1) численно интегрировалось методом конечных разностей по неявной схеме с использованием прямой и

обратной прогонки [12]. Вычислялись вещественная амплитуда $A(x,t)$ и фаза $\phi(x,t)$ колебаний

$$A(x,t) = |a(x,t)| = (\text{Re}a(x,t))^2 + (\text{Im}a(x,t))^2)^{1/2},$$

$$\phi(x,t) = \text{arg}a(x,t) = \text{arctg}(\text{Im}a(x,t)/\text{Re}a(x,t)) \pm \pi k, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Добавление величины $\pm \pi k$ обеспечивало непрерывность изменения фазы во времени. Средняя частота колебаний в точке среды с координатой x рассчитывалась по формуле

$$\Omega(x) = \langle \phi_t(x,t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} (\phi(x,t_0+T) - \phi(x,t_0))/T. \quad (2)$$

Угловые скобки означают усреднение по времени.

2. Корреляционные и спектральные характеристики вещественной амплитуды колебаний $A(x,t)$ в режиме кластерной синхронизации

В отсутствие расстройки ($\Delta_{\max} = 0$) в среде, задаваемой уравнением (1), возможен только однородный автоколебательный режим: $a(x,t) \equiv a(t)$. Введение частотной расстройки вызывает изменение средней частоты колебаний вдоль пространственной координаты x . При заданном значении Δ_{\max} в некоторой области значений коэффициента диффузии можно наблюдать формирование идеальных и неидеальных частотных кластеров (рис. 1).

В режиме неидеальных кластеров изменение амплитуды колебаний A во времени в любой фиксированной точке среды x является довольно сложным и внешне напоминает хаотический процесс. Примеры колебаний $A(x,t)$ в режиме неидеальных кластеров, изображенных на рис. 1, б, приведены на рис. 2 для двух точек среды: $x=0.5$ (центр кластера) и $x=0.64$ (середина межкластерной области). Идеальным кластерам соответствуют периодические во времени колебания. Говорить о пространственном порядке или беспорядке не имеет смысла, поскольку при выбранных параметрах g и Δ_{\max} система оказывается недостаточно «длинной». На длине системы укладывается всего 2-3 пространственных колебания. Соответственно нельзя говорить и о турбулентности, так как понятие турбулентности включает нерегулярное поведение среды как во времени, так и в пространстве. Однако с уменьшением параметра g в среде с неидеальными кластерами можно обнаружить пространственный беспорядок.

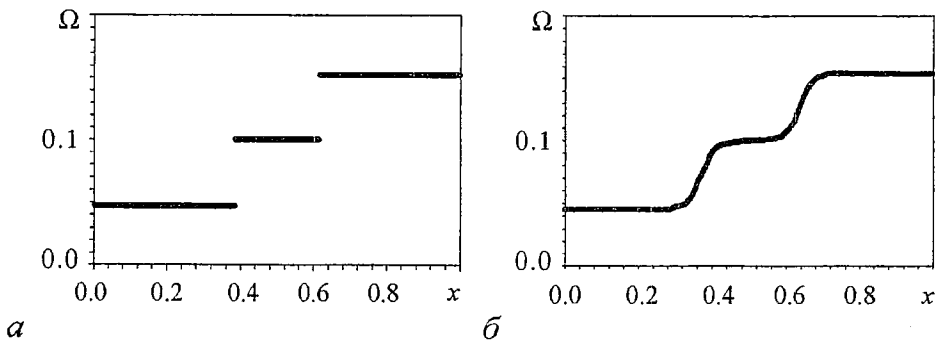


Рис. 1. Изменение средней частоты колебаний Ω вдоль среды в случае: а - идеальной кластерной структуры при $g=0.4 \cdot 10^{-3}$; б - неидеальной структуры при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$. Вычисление проводилось на периоде $T=30000$ при времени установления $t_0=120000$ и шагах дискретизации $\Delta t=0.01$ и $\Delta x=0.001$ [11]

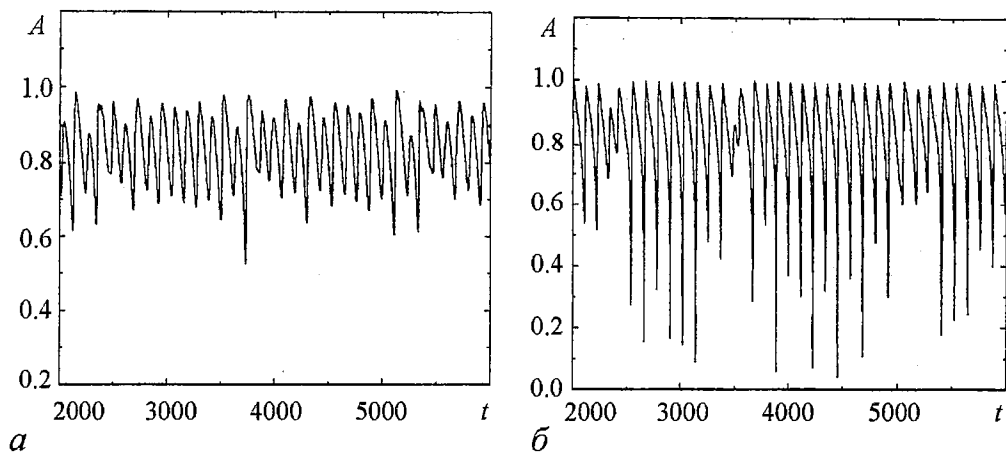


Рис. 2. Зависимость вещественной амплитуды от времени в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в двух фиксированных точках среды: а - $x=0.5$ (центр кластера); б - $x=0.64$ (середица межкластерной области)

В различных точках среды вычислялись временные автокорреляционные функции (АКФ) процесса $A(x,t)$. В предположении стационарности и эргодичности исследуемого процесса для расчета АКФ можно применить формулу

$$\psi_A(x,\tau) = \langle A(x,t)A(x,t+\tau) \rangle - \langle A(x,t) \rangle^2, \quad (3)$$

где скобки (...) означают усреднение по времени, $\langle A(x,t) \rangle$ не зависит от t . Мы рассматривали нормированную автокорреляционную функцию (коэффициент корреляции): $\Psi_A(x,\tau) = \psi_A(x,\tau) / \psi_A(x,0)$. Примеры рассчитанных АКФ приведены на рис. 3.

Расчеты показывают, что в режиме неидеальных кластеров АКФ амплитуды $A(x,t)$ в любой точке среды x убывают во времени, стремясь к нулю при $\tau \rightarrow \infty$ (рис. 3, а, б). Это означает наличие перемешивания. В середине кластера характер временной зависимости амплитуды A более простой по сравнению с процессом в межкластерной области. При этом в характере спада огибающей АКФ можно выделить два масштаба времени. При малых значениях τ (несколько периодов колебаний) наблюдается быстрый спад корреляций. На более длительных временах для огибающей АКФ достаточно хорошо применима экспоненциальная аппроксимация с заданным декрементом затухания α . Взаимная корреляционная функция значений вещественной амплитуды в двух точках среды x_1 и x_2 , представленная на рис. 4, рассчитывалась по формуле

$$\psi_A(x_1, x_2, \tau) = \langle A(x_1, t)A(x_2, t+\tau) \rangle - \langle A(x_1, t) \rangle \langle A(x_2, t) \rangle$$

и нормировалась: $\Psi_A(x_1, x_2, \tau) = \psi_A(x_1, x_2, \tau) / (\psi_A(x_1, 0)\psi_A(x_2, 0))^{1/2}$.

Наблюдаемая в численных экспериментах скорость перемешивания (скорость убывания временных корреляций) сравнительно невелика. Декременты затухания экспоненциальных аппроксимаций несколько меняются в зависимости от точки среды, принимая значения $\alpha = 0.15 \cdot 10^{-3} \dots 0.4 \cdot 10^{-3}$. Тем не менее, можно с уверенностью говорить о расщеплении временных корреляций в режиме неидеальных кластеров. В то же время, если кластерная структура является идеальной, то в среде протекают периодические во времени процессы и их корреляционные функции также являются периодическими (рис. 3, в).

Связь нерегулярной динамики с режимом неидеальных кластеров очевидна. В этом случае средняя частота колебаний $\Omega(x)$ является гладкой функцией пространственной координаты (см. рис. 1, б). Это означает, что в системе

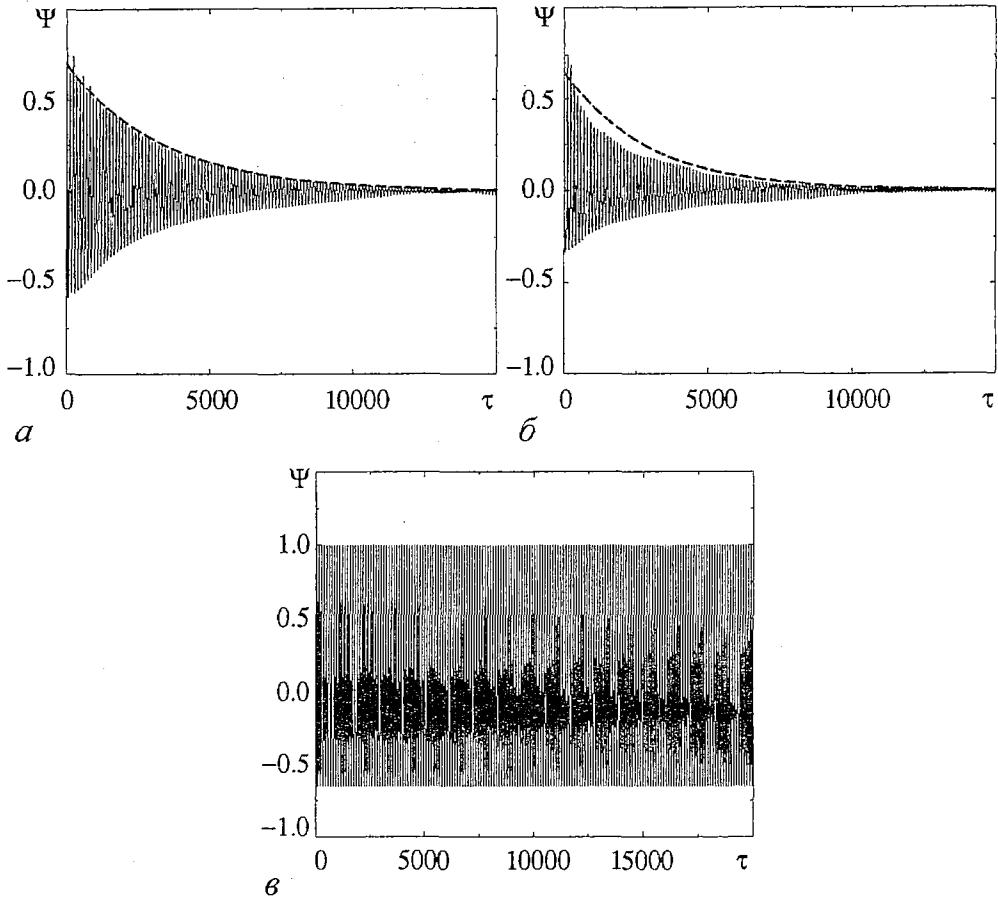


Рис. 3. Нормированные автокорреляционные функции процесса $A(x,t)$: *a* - в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.5$ (центр кластера); *б* - в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.64$ (середина межкластерной области); *в* - в режиме идеальных кластеров при $g=0.4 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.5$ (центр кластера). Пунктирными линиями на графиках (*a*) и (*б*) даны экспоненциальные аппроксимации огибающих АКФ: $S \exp(-\alpha \tau)$, $\alpha = \text{const}$, $S = \text{const}$. Декременты экспоненциального убывания равны $\alpha_1=0.0003$ и $\alpha_2=0.00035$ в точках $x=0.5$ и $x=0.64$, соответственно

присутствует непрерывное множество частот в пределах некоторого интервала, определяемого расстройкой Δ_{max} и коэффициентом диффузии g . В силу взаимодействия элементов среды все эти частоты будут содержаться в спектре колебаний в любой точке среды. Таким образом, спектр колебаний в любой точке

среды будет сплошным. Напротив, если кластерная структура является регулярной, то средняя частота $\Omega(x)$ принимает конечное множество значений (рис. 1, *a*) и спектр в любой точке будет дискретным. В качестве

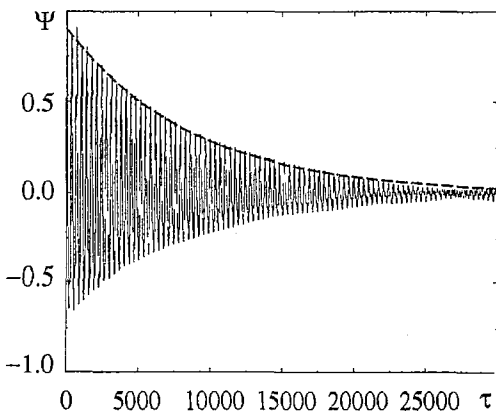


Рис. 4. Нормированная взаимная корреляционная функция процессов $A(x_1,t)$ и $A(x_2,t)$ в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ для $x_1=0.5$ (центр кластера) и $x_2=0.64$ (середина межкластерной области). Пунктирная линия соответствует экспоненциальной аппроксимации огибающей корреляционной функции: $S \exp(-\alpha \tau)$ с декрементом затухания $\alpha=0.00015$

примера на рис. 5 приведены спектральные плотности мощности колебаний $A(x,t)$, соответствующие автокорреляционным функциям, изображенным на рис. 3.

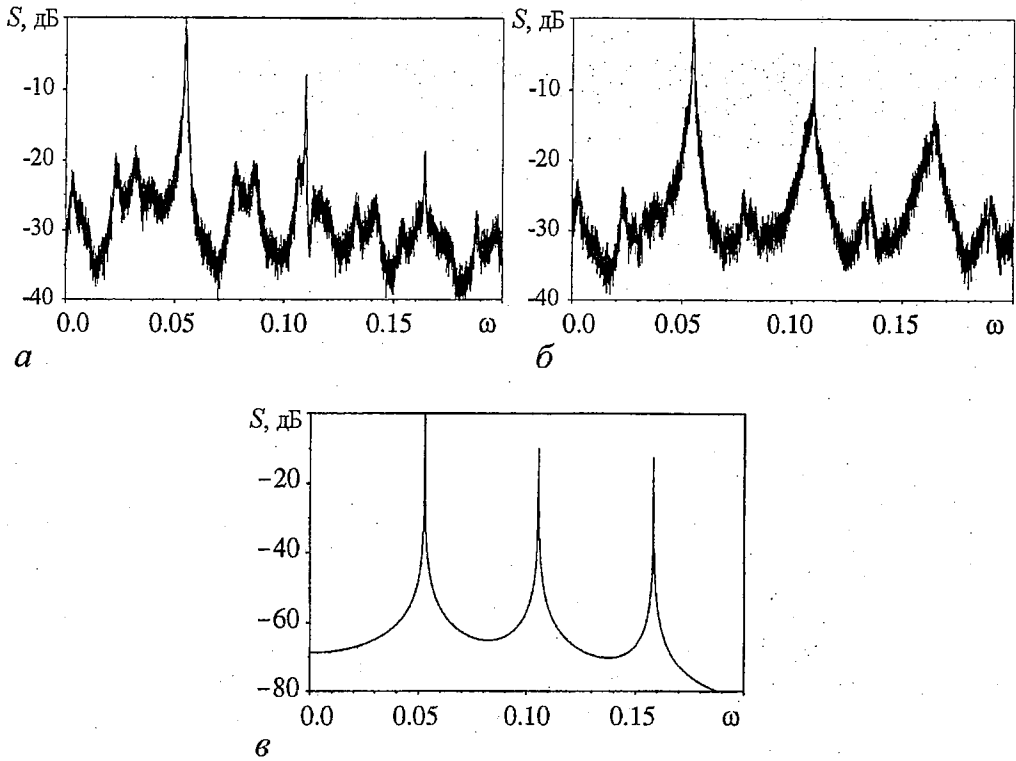


Рис. 5. Нормированные спектральные плотности мощности процесса $A(x,t)$: *a* - в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.5$ (центр кластера); *б* - в режиме неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.64$ (середина межкластерной области); *в* - в режиме идеальных кластеров при $g=0.4 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.5$ (центр кластера)

3. Линейный анализ устойчивости колебаний в режимах идеальной и неидеальной кластерной синхронизации

Поскольку в исследуемой модели среды отсутствуют источники шума, то причиной перемешивания может быть только возникновение динамического хаоса, то есть абсолютной экспоненциальной неустойчивости колебаний среды. Для анализа устойчивости колебаний совместно с уравнением (1) интегрировалось линеаризованное уравнение для малого возмущения $u(x,t)$ комплексной амплитуды $a(x,t)$

$$u_t = i\omega(x)u + \frac{1}{2}(1-|a|^2)u - \frac{1}{2}a^2u^* + gu_{xx}, \quad (4)$$

где u^* - комплексно-сопряженная с u величина. Граничные условия для возмущения имеют вид $u_x(x,t)|_{x=0;1} = 0$. В каждый момент времени t рассматривалась евклидова норма возмущения $\|u(x,t)\|$, которая с учетом дискретизации пространственной координаты сводилась к сумме конечного числа слагаемых

$$\|u(x,t)\| = \left(\int_0^1 ((\operatorname{Re}u(x,t))^2 + (\operatorname{Im}u(x,t))^2) dx \right)^{1/2} \approx \quad (5)$$

$$\approx \left(\sum_{k=1}^m (\operatorname{Re}u(x_k,t))^2 + (\operatorname{Im}u(x_k,t))^2 \right)^{1/2},$$

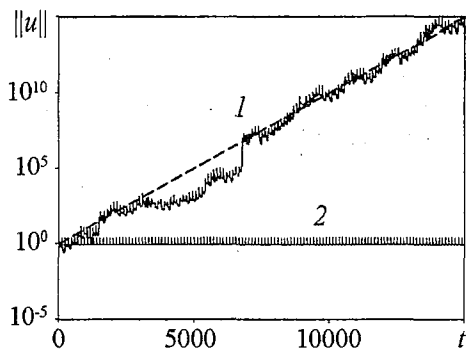


Рис. 6. Зависимость от времени нормы возмущения $\|u(x,t)\|$ колебаний среды (1) в режиме неидеальных частотных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ (кривая 1) и в режиме идеальных частотных кластеров при $g=0.4 \cdot 10^{-3}$ (кривая 2). Значения $\|u(x,t)\|$ даны в логарифмическом масштабе. Пунктирная прямая соответствует экспоненте $\exp(0.0023t)$

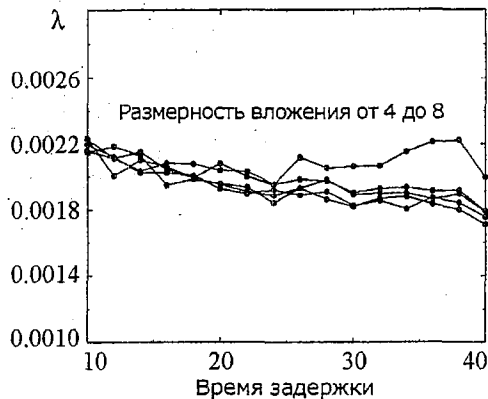


Рис. 7. Зависимость старшего ЛХП от времени задержки и от пространства вложения при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ (режим неидеальных кластеров), $x=0.5$ (центр кластера)

где m - число шагов интегрирования h_x на длине системы. Расчеты показали, что спадание АКФ в режиме неидеальных кластеров сопровождается, в среднем, экспоненциальным ростом нормы возмущения во времени (рис. 6). Показатель экспоненциального роста λ_{\max} , полученный при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$, имел значение $\lambda_{\max} \approx 0.002$.

Следует отметить, что полученное значение λ_{\max} , хотя и мало, но на порядок превышает декремент спадания АКФ.

Для проверки наличия в среде экспоненциальной неустойчивости колебательного режима во времени был проведен расчет старшего ляпуновского показателя λ_{\max} по временному ряду данных с помощью алгоритма, предложенного в [13]. Расчеты дают положительное значение старшего ляпуновского показателя, слабо зависящее от параметров численной схемы (рис. 7). Результаты, соответствующие зависимостям $A(x,t)$ в различных точках среды, несколько различались, но их порядок сохранялся на уровне 10^{-3} . Так для точки $x_1=0.5$ при оптимальных параметрах численной схемы метод реконструкции давал значение $\lambda_{\max}=0.002 \pm 0.0002$, что очень хорошо согласуется со значением ляпуновского показателя, полученного при линейном анализе устойчивости колебаний.

Таким образом, мы можем с уверенностью говорить о том, что режим неидеальных частотных кластеров, возникающий в неоднородной среде, соответствует хаотическому поведению во времени.

4. Коэффициент эффективной диффузии мгновенной фазы процесса $A(t)$

Полученные двумя различными методами оценки старшего ляпуновского показателя хорошо согласуются между собой, но существенно (на порядок) отличаются от оценки декремента экспоненциального затухания корреляций в соответствующем режиме. В работах [14] было показано, что для широкого класса хаотических автоколебательных систем с сосредоточенными параметрами скорость расщепления корреляций на больших интервалах времени и ширина основной спектральной линии определяются коэффициентом эффективной диффузии мгновенной фазы хаотических колебаний. При этом, положительные

ляпуновские показатели (энтропия Колмогорова) определяют скорость перемешивания в трансверсальном сечении траекторий на аттракторе. Перемешивание в сечении происходит, как правило, значительно быстрее, чем перемешивание вдоль потока траекторий, связанное с динамикой мгновенной фазы. Возникает вопрос, не связана ли скорость перемешивания, возникающего в среде в результате неоднородности, также с диффузией мгновенной фазы процесса флуктуаций $y(x,t)=A(x,t)-\langle A(x,t) \rangle$. Для проверки этого предположения была исследована динамика мгновенной фазы, определяемой как

$$\Theta(x,t) = \arctg(y_h(x,t)/y(x,t)) \pm \pi k, \quad k = 0,1,2,\dots, \quad (6)$$

где $y_h(x,t)$ - сопряженный по Гильберту процесс

$$y_h(x,t) = 1/\pi \int_{-\infty}^{\infty} y(x,\tau)/(t-\tau) d\tau. \quad (7)$$

Рассматривается основное значение несобственного интеграла. Выбор целого k в (6) определяется условием непрерывности функции $\Theta(x,t)$.

На ансамбле отрезков достаточно длинной реализации $\Theta(x,t)$ производился расчет дисперсии $\sigma_{\Theta}^2(x,t) = \langle \Theta^2(x,t) \rangle - \langle \Theta(x,t) \rangle^2$ (здесь скобки $\langle \dots \rangle$ означают усреднение по ансамблю). График зависимости дисперсии мгновенной фазы от времени для точки $x=0.5$ приведен на рис. 8. На интервале $t \in [0, 10000]$ дисперсия растет во времени почти линейно. Оценка углового коэффициента роста по методу наименьших квадратов позволяет определить коэффициент эффективной диффузии фазы $\Theta(x,t)$

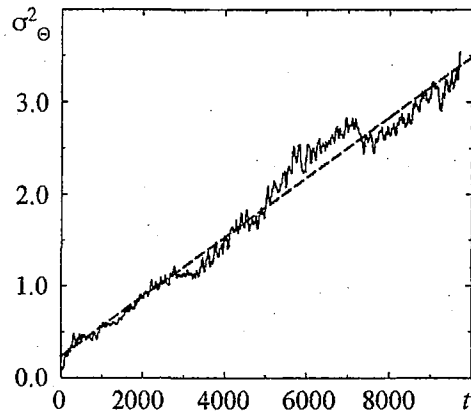


Рис. 8. Дисперсия мгновенной фазы, рассчитанная для режима неидеальных кластеров при $g=0.34 \cdot 10^{-3}$ в точке $x=0.5$ (центр кластера), $B_{\text{eff}} \approx 0.00016$. Пунктиром показана аппроксимирующая прямая

$$B_{\text{eff}} = 1/2 \langle d\sigma_{\Theta}^2(x,t)/dt \rangle. \quad (8)$$

Здесь скобки $\langle \dots \rangle$ означают усреднение «быстрых» осцилляций дисперсии во времени. В режиме неидеальных кластеров в точке $x=0.5$ было получено значение $B_{\text{eff}} \approx 0.00016$, совпадающее по порядку с декрементом спада соответствующей автокорреляционной функции (см. рис. 3).

Выводы

Проведенные численные исследования позволили установить ряд новых и на наш взгляд важных с фундаментальной точки зрения фактов.

- Развитие хаоса и турбулентности в непрерывной автоколебательной среде может быть обусловлено неоднородностью, приводящей к расстройке частот автоколебаний в различных точках среды.

- Автоколебания среды в режиме неидеальной частичной (кластерной) синхронизации обладают свойством перемешивания, то есть характеризуется расщеплением временных корреляций.

- Перемешивание связано с возникновением хаотического поведения элементов среды во времени, которое характеризуется экспоненциальным ростом малых возмущений.

• Скорость убывания корреляционных функций на больших временах не определяется непосредственно показателем экспоненциального роста возмущения, а связана с диффузией мгновенной фазы рассматриваемых нерегулярных колебаний. Это свидетельствует об общих закономерностях расщепления корреляций в конечномерных и распределенных хаотических системах.

В заключение мы хотим отметить, что настоящая скромная работа авторов посвящается памяти крупного ученого, нашего большого друга и учителя, профессора Юрия Львовича Климонтовича, который внес существенный вклад, в частности, и в изучение проблемы турбулентности.

Данная работа частично поддержана Программой «Фундаментальные исследования и высшее образование» (грант SR-006-XI), грантом РФФИ № 04-02-16283 и грантом Министерства Образования А04-2.9-527. Авторы благодарны Павлову А.Н., Стрелковой Г.И. и Четверикову А.П. за полезные советы и помощь в работе над статьей.

Библиографический список

1. Gollub J.P., Benson S.V. // Fluid J. Mech. 1980. Vol. 100. P. 449; Lesieur M. Turbulence in Fluids (Martinus-Nijhoff, Dordrecht, 1987); Sato Sh., Sano M., Sawada Y. // Phys. Rev. A. 1988. Vol. 37, № 5. P. 1679; Kida S., Yamada M., Ohkitani K. // Physica D. 1989. Vol. 37. P. 116; Bohr T., Jensen M.H., Paladin G., Vulpiani A. Dynamical Systems Approach to Turbulence (Cambridge University, New York, 1998); Aranson I.S., Kramer L. // Riev. Modern Phys. 2002. Vol. 74, P. 99.
2. Kuramoto Y., Chemical Oscillations, Waves and Turbulence (Springer Series in Synergetics, Springer, Berlin, 1984); Pomeau Y., Manneville P // J. Phys. Lett. 1979. Vol. 40. P. 609; Chaté H., Manneville P. // Phys. Rev. Lett. 1987. Vol. 58. P. 112; Couillet P., Gil L., Lega J. // Physica D. 1989. Vol. 37. P. 91; Chaté H. // Nonlinearity. 1994. Vol. 7. P. 185.
3. Manneville P., Chaté H. // Physica D. 1996. Vol. 96. P. 30.
4. Ermentrout G.B., Kopell N., Frequency plateaus in a chain of weakly coupled oscillators // SIAM J. Math. Ann. 1984. Vol. 15. P. 215.
5. Yamaguchi Y., Shimizu H. Theory of self-synchronization in the presence of native frequency distribution and external noises // Physica D. 1984. Vol. 11. P. 212.
6. Strogatz S.H., Mirollo R.E. // Physica D. 1988. Vol. 31. P. 143.
7. Osipov G.V., Sushchik M.M. Synchronized clusters and multistability in arrays of oscillators with different natural frequencies // Phys. Rev. E. 1998. Vol. 58, № 6. P. 7198.
8. Vadivasova T.E., Strelkova G.I., Anishchenko V.S. // Phys. Rev. E. 2001. Vol. 63. P. 036225.
9. Ermentrout G.B., Troy W.C. // SIAM J. Appl. Math. 1986. Vol. 46, № 3. P. 359.
10. Акопов А.А., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В., Матюшкин Д.Д. Частичная синхронизация в неоднородной автоколебательной среде // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29, № 15. С. 29.
11. Акопов А.А., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В., Матюшкин Д.Д. Кластерная синхронизация в неоднородной автоколебательной среде // Изв. вузов. ПНД. 2003. Т. 11, № 4-5. С. 64.
12. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М: Наука, 1989.
13. Wolf A., Swift J.B., Swinney H.L., and Vastano J.A. // Physica D. 1985. Vol. 16. P. 285.
14. Anishchenko V.S., Vadivasova T.E., Kurths J., Okrokvertskhov G.A., Strelkova G.I. Physica A. 2003. Vol. 325. P. 199; Anishchenko V.S., Vadivasova T.E., Okrokvertskhov G.A., Strelkova G.I. // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 69. P. 036215.

Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию 8.09.2004

CHAOS IN AUTOOSCILLATING MEDIUM DUE TO SPATIAL INHOMOGENEITY

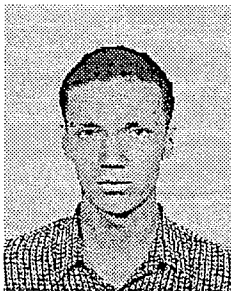
V.S. Anishchenko, A.A. Akopov, T.E. Vadivasova, G.A. Okrokvvertskhov, V.V. Astakhov

In the present paper we show that inhomogeneity of a self-sustained oscillating medium can be responsible for the appearance of a chaotic behavior. We compute the maximal Lyapunov exponent by using different calculation methods. It is established that for a fixed spatial point the autocorrelation function of the real amplitude $A(t)$ decays exponentially with the rate that is one order less than the maximal Lyapunov exponent and is defined by the effective phase diffusion coefficient of the chaotic process $A(t)$.



Анищенко Вадим Семенович - родился в 1943 году. Окончил физический факультет Саратовского университета (1966), защитил диссертацию на звание кандидата физико-математических наук (1970) и доктора физико-математических наук (1986). С 1988 года - заведующий кафедрой радиоп физики и нелинейной динамики СГУ. С 1979 и по настоящее время работает в области исследования нелинейной динамики и стохастических процессов в нелинейных системах. Является автором более 300 научных работ, среди которых 7 монографий на русском и английском языках и 4 учебника. Неоднократно читал лекции в ведущих вузах Германии в качестве приглашенного профессора. Член-корреспондент РАЕН, заслуженный деятель науки РФ (1995), Соросовский профессор, лауреат премии Фонда Александра Гумбольдта (1999).

E-mail: wadim@chaos.ssu.runnet.ru



Акопов Артем Александрович - родился в Сочи (1973), окончил физический факультет Саратовского университета (2000). В настоящее время учится в аспирантуре на кафедре радиоп физики и нелинейной динамики СГУ. Имеет 6 публикаций.

E-mail: artem@chaos.ssu.runnet.ru



Вадивасова Татьяна Евгеньевна - родилась в 1958 году. Окончила физический факультет Саратовского университета (1981), доктор физико-математических наук. В настоящее время - профессор кафедры радиоп физики и нелинейной динамики СГУ. Научные интересы сосредоточены в области нелинейной динамики: эффекты синхронизации в ансамблях хаотических осцилляторов, явление фазовой мультистабильности взаимо-действующих хаотических систем, свойства различных типов нерегулярных аттракторов, статистические характеристики динамического хаоса, роль флуктуаций в нелинейных системах и др. Автор более 60 публикаций в отечественной и зарубежной печати, включая 3 монографии.

E-mail: tanya@chaos.ssu.runnet.ru



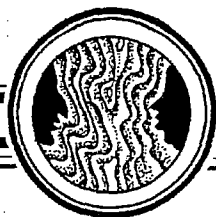
Окрокверцов Георгий Александрович родился в Саратове (1980). В 2001 году окончил физический факультет Саратовского государственного университета по специальности биофизика. В настоящее время является аспирантом кафедры радиофизики и нелинейной динамики. Область научных интересов - статистическая радиофизика, статистические свойства хаотических аттракторов, хаотические колебания в распределенных системах. Имеет 10 публикаций.

E-mail: george@chaos.ssu.runnet.ru



Астахов Владимир Владимирович окончил Саратовский государственный университет (1980). Защитил кандидатскую (1983) и докторскую диссертацию (1999). Профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики СГУ. Область научных интересов - теория колебаний и динамический хаос, синхронизация и управление хаосом. Имеет более 80 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях.

E-mail: astakhov@chaos.ssu.runnet.ru



Изв. вузов «ПНД», т.12, № 4, 2004



СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КУРДЮМОВ

Умер выдающийся российский ученый, видный организатор науки, блестящий педагог, член-корреспондент РАН Сергей Павлович Курдюмов (18.11.1928-2.12.2004).

Жизнь Сергея Павловича Курдюмова была посвящена развитию науки, пропаганде и внедрению научных результатов. Вся она прошла в стенах Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Научное творчество Сергея Павловича было неразрывно связано с теми крупными научными и техническими проектам, которые имели стратегическое значение для нашего Отечества. Имя Сергея Павловича Курдюмова, его научные труды, теория, концепции широко известны и получили заслуженное признание и в России, и за рубежом. Область научных интересов Сергея Павловича была очень широка - от проблем математической физики, компьютерного моделирования, вычислительной

математики до междисциплинарных подходов, проблем стратегического планирования, задач государственного управления.

Сергей Павлович Курдюмов родился 18 ноября 1928 года в г. Москве. В 1953 году закончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «теоретическая физика». После окончания МГУ был принят на работу в Отделение прикладной математики Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР (ныне Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН).

В то время Институт решал важнейшие проблемы, связанные с созданием ракетно-ядерного щита СССР. Сергей Павлович активно включился в исследование ряда актуальных проблем теории горения и взрыва, задач ядерной энергетики. Сергей Павлович всю жизнь с глубокой признательностью относился к своим учителям - академикам М.В. Келдышу, А.Н. Тихонову, А.А. Самарскому.

В эти годы рождалась новая технология научных исследований - вычислительный эксперимент. Приходилось строить новые физические модели сложнейших процессов в плазме, создавать новые алгоритмы, осваивать первые образцы вычислительной техники. Энергия, умение работать в команде, видеть перспективу, радоваться успехам друзей и коллег снискали Сергею Павловичу заслуженное уважение в научном сообществе.

Решенные в те годы фундаментальные научные задачи открыли новые горизонты для развития компьютерного моделирования, физики, высоких технологий. В 70-е годы Сергей Павлович исследует возникновение структур различных типов в плазме. На передний план выходят процессы, связанные с нелинейностью, с неравновесностью, с самоорганизацией. Становится ясно, что плазма, в которой возникают диссипативные структуры, обладает многими парадоксальными свойствами.

Развитие этих работ позволило предсказать ряд новых физических явлений, которые позже были обнаружены в физическом эксперименте. В частности, авторским коллективом, в который входил Сергей Павлович, был открыт нелинейный эффект образования самоподдерживающегося высокотемпературного слоя газа в нестационарных процессах магнитной гидродинамики. Сейчас эта работа считается классической, а открытый эффект вошел в учебники под названием «эффекта Т-слоя». Это открытие было зарегистрировано в Государственном реестре открытий СССР в 1968 году за №55. В том же году С.П. Курдюмов защитил кандидатскую диссертацию, посвященную автоматическим решениям задач газовой динамики типа бегущей волны.

Следующий этап научной деятельности Сергея Павловича связан с проблемами управляемого термоядерного синтеза. Поиск новых перспективных источников энергии заставил обратиться к детальному анализу вариантов реализации управляемой термоядерной реакции. Работая в кооперации с ведущими физиками страны, Сергей Павлович в эти годы исследует возможность лазерного термоядерного синтеза, связанного с обжатием дейтерий-тритиевой смеси с помощью мощных лазерных пучков.

Лично им, а также под его руководством были выполнены большие расчетно-теоретические работы в области ядерной энергетики и лазерного термоядерного синтеза. С.П. Курдюмовым были созданы методики для компьютерного моделирования динамики лазерных термоядерных мишеней. Эти методики позволили обосновать концепцию низкоэнтропийного сжатия оболочечных мишеней, общепринятую к настоящему времени во всем мире. Во многом благодаря этим работам удалось достичь того уровня понимания и того уровня вычислительного эксперимента, на котором сейчас находится мировая наука в этой области.

Одним из ключевых моментов в задачах лазерного термоядерного синтеза является профилирование лазерного импульса по времени. Закон этого профилирования имеет принципиальное значение. В частности, физические прикидки и расчеты на упрощенных моделях показали, что если энергия вкладывается в так называемом режиме с обострением, то необходимые мощности лазеров могут быть уменьшены на несколько порядков. Сергей Павлович начинает активно развивать теорию режимов с обострением, т.е. таких режимов, в которых одна или несколько наблюдаемых величин за конечное время возрастают до бесконечности. Эта теория, развитая им и его научной школой, получила мировое признание.

В 1976 году Сергей Павлович предлагает ставшую впоследствии классической модель теории режимов с обострением - модель тепловых структур. Исследование этой модели позволило обнаружить новый эффект - эффект локализации тепла. Оказалось, что в среде с нелинейной теплопроводностью тепло может быть локализовано в течение конечного времени благодаря объемным источникам, воздействиям на границе области, развивающимся в режиме с обострением, специальным образом заданным начальным данным. Это открывает новые возможности, связанные с локализацией термоядерного горения.

Вторым свойством модели тепловых структур оказалось наличие конечного спектра пространственно-локализованных тепловых структур, развивающихся в режиме с обострением. Такие структуры описываются сходящимися к центру волны горения и определяются автономным решением исходного уравнения в частных производных. В 1979 году Сергей Павлович защищает докторскую диссертацию на тему «Локализация диффузионных процессов и возникновение структур при развитии в диссипативной среде режимов с обострением».

В эти годы в мире широким фронтом ведутся исследования, связанные с изучением общих свойств нелинейных далеких от равновесия открытых систем. В работах нобелевского лауреата И.Р. Пригожина и его научной школы была развита теория стационарных диссипативных структур, в работах Г. Хакена заложена основа теории самоорганизации, или синергетики. Ряд докладов Сергея Павловича на международных конференциях показал, что изучение нестационарных диссипативных структур, развивающихся в режиме с обострением, представляет собой новое оригинальное научное направление, имеющее принципиальное значение и вызывающее огромный интерес в мире.

Развитие этого направления расширило область приложений нелинейной динамики и синергетики, поставило ряд принципиальных задач в качественной теории нелинейных параболических уравнений, физике плазмы, в химической физике, в лазерной термохимии, в теории СВЧ-пробоя. Эти задачи успешно решались в научной школе, созданной Сергеем Павловичем.

В 1984 году Сергей Павлович был избран членом-корреспондентом АН СССР. Огромная энергия, увлеченность наукой, большая работоспособность позволили Сергею Павловичу выполнить ряд пионерских основополагающих исследований. Он является автором 300 научных работ, опубликованных в России и за рубежом, и пяти монографий.

Его монография «Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений» (1987), посвященная новым методам анализа нелинейных параболических уравнений с источниками и стоками, получила мировую известность. Его пионерские работы по анализу сложной упорядоченности и хаоса в системах реакция-диффузия, рассмотренные в монографии «Нестационарные структуры и диффузионный хаос» (1992), оказали огромное влияние на развитие исследований по нелинейной динамике в России. Своим итогом исследований по теории режимов с обострением стал

сборник трудов Сергея Павловича и его научной школы «Режимы с обострением. Эволюция идеи» (1999).

Большое внимание С.П. Курдюмовым было уделено приложению идей синергетики в таких областях, как стратегическое планирование, анализ исторических процессов, моделирование образовательных систем. Монография «Синергетика и прогнозы будущего», посвященная этим проблемам, получила признание научного сообщества в России и за рубежом и выдержала пять изданий в России и США.

Сергей Павлович был широко образованным разносторонним исследователем. Он полагал, что междисциплинарные подходы имеют принципиальное значение для развития науки в целом, и уделял большое внимание их философскому осмыслению. Его монография «Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры» (2002) позволила многим гуманитариям познакомиться с достижениями и перспективами синергетики, оказала большое влияние на философское сообщество России.

Сергей Павлович полагал, что развиваемые им научные подходы должны активно использоваться при решении крупных государственных задач. В последние годы он был профессором Российской академии государственной службы при Президенте РФ. Организованная им в 2004 году конференция «Стратегия динамического развития России: единство самоорганизации и управления» оказала большое влияние на научное сообщество России.

Сергей Павлович был блестящим педагогом. Более тридцати лет он был профессором кафедры прикладной математики Московского физико-технического института и более десяти - ее заведующим. Он был очень щедрым человеком, отдавая много времени, сил и внимания своим студентам, ученикам и коллегам.

Большое внимание Сергей Павлович уделял популяризации научных достижений, сохранению и развитию российского научного сообщества. Десятки организованных им научных конференций, в частности, конференции серии «Математика. Компьютер. Образование» стали событием в научной жизни России. Он умел увидеть и по достоинству оценить новое. Одним из первых в Академии он понял значение Интернета для сохранения научного потенциала страны, для пропаганды науки, для привлечения молодежи. Сайт Сергея Павловича, который является одним из крупнейших интернет-порталов, посвященных междисциплинарным подходам, нелинейной динамике, синергетике, сейчас ежедневно посещает около 1000 человек. Он является одним из наиболее крупных научных и образовательных сайтов России.

С.П. Курдюмов вел большую научно-организационную работу. С 1989 по 1999 год он являлся директором Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Годы пребывания С.П. Курдюмова на посту директора Института пришлись на тяжелое для российской науки время. Однако в этих трудных условиях под руководством С.П. Курдюмова Институту удалось выстоять, сохранить научный потенциал, отрыть ряд новых научных направлений. С.П. Курдюмов в течение многих лет являлся президентом Международного компьютерного клуба, вице-президентом Национального комитета по компьютерному моделированию, членом редколлегий многих отечественных и зарубежных научных журналов.

Работа С.П. Курдюмова была отмечена правительственными наградами. Он награжден медалями «За трудовую доблесть» (1956 г.), «За доблестный труд» (1970 г.), орденом «Знак почета» (1975 г.), «Орденом почёта» (1998 г.). В 2002 году он был удостоен премии Правительства РФ в области образования.

Сергея Павловича всегда отличали доброжелательность, энергия, оптимизм, увлеченность наукой. Он пользовался глубоким уважением и огромным авторитетом и в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, и среди коллег за его пределами.

Светлый образ Сергея Павловича Курдюмова навсегда останется в сердцах друзей, коллег и близких.

Москва, 27.12.2004

*Ю.С. Осипов, В.В. Козлов, Е.П. Велихов, В.С. Стёпин,
О.М. Белоцерковский, А.А. Петров, Ю.П. Попов, Э.Л. Аким,
А.В. Забродин, Д.А. Корягин, Г.Г. Малинецкий, Г.К. Боровин,
Д.П. Костомаров, Б.Н. Четверушкин, С.П. Капица,
В.А. Дородницын, Г.Г. Еленин, Н.В. Змитренко, Е.Н. Князева,
Е.С. Куркина, А.П. Михайлов, Г.Ю. Ризниченко, В.Л. Романов*

Зав. редакцией *Н.Н. Левина*
Редакторы *Л.А. Сидорова, Н.Н. Левина*
Обложка художника *Д.В. Соколова*
Оригинал-макет подготовлен
Г.А. Суминой, О.Н. Строгановой, И.А. Пономаревой
на компьютерной системе Apple Macintosh

**Подписка журнала на I полугодие 2005 года
осуществляется Саратовским государственным университетом
и редакцией журнала**

Стоимость подписки на I полугодие 195 руб.

Оплата на расчетный счет Саратовского государственного университета:
ИНН 6452022089, банковские реквизиты:
р/с 40503810800001000431 ГРКЦ ГУ банка России по Саратовской обл. г. Саратов
л/с 06075075430 БИК 046311001 КПП 645201001
Адрес: 410012, Саратов, Астраханская, 83
Тел. (845-2)51-46-88, 51-51-95

**Распространение журнала осуществляется редакцией журнала
в I полугодии 2005 года
по предоставлению платежного поручения и почтового адреса подписчика
на адрес редакции**

410012, Саратов, Астраханская, 83
Тел./факс: (845-2) 52-38-64; e-mail:and@cas.ssu.runnet.ru

Сдано в набор 01.10.04. Подписано к печати 23.12.04. Формат 70x108/16
Бумага «Снегурочка». Печать трафаретная. Гарнитура Латинская
Усл. печ. л. 6,65(4,75). Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 200. Заказ 351

Отпечатано на ризографе GR 3750
редакции журнала

© Редакция журнала
«Известия вузов. ПНД»

© Оформление художника
Д.В. Соколова, 2004





EDITOR-IN-CHIEF

Yu.V. Gulyaev, Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, 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, Saratov University, Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Saratov Branch

EDITORIAL BOARD

V.S. Anishchenko, Professor, Saratov University

A.S. Dmitriev, Professor, Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow

S.P. Kuznetsov, Professor, Saratov University, Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Saratov Branch

P. S. Landa, Professor, Moscow University

G.G. Malinetskii, Professor, Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow

O.V. Rudenko, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow University

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, PhD, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

V.G. Yakhno, Professor, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod



В последние годы Юрий Львович часто бывал в Саратове - на школах, конференциях и просто, по научным делам.

Запомнилось одно из первых его появлений на школе по хаосу в 1985 году - в грубошерстном свитере с какими-то рогатыми оленями, с включенно шевелящейся шевелюрой и серебристо-черной бородой. Особенно поражал контраст насупленного, пронзительного взгляда и мягко-интеллигентного выговора. Естественно, сразу же стенгазета откликнулась шаржем, изображавшим усмирение хаоса S-теоремой.

На другой день рядом были приклеены стишки школьников, которые свидетельствовали о глубоком усвоении ими материала лекции:

Папа Карло - Карабас
Почал со сцены нас:
Детки, двигайтесь резвее,
Не пугайтесь пап и мам -
Чем движенье турбулентней,
Тем порядку больше там!