

Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики Российской академии наук  
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского



# НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2022

## XX научная школа

*7 – 13 ноября 2022 года, Нижний Новгород*

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Нижний Новгород

ИПФ РАН

2022

В сборник вошли краткие аннотации докладов лекторов, приглашенных на юбилейную XX научную школу «Нелинейные волны – 2022» (Нижний Новгород, 7 – 13 ноября 2022 г.), а также тезисы работ остальных участников, представленных на школе в виде устных или стендовых докладов. *Школа посвящается академику РАН А. В. Гапонову-Грехову – основателю и первому директору ИПФ РАН, организатору нижегородских (горьковских) школ по нелинейным волнам.*

Целями школы является обсуждение мировых достижений последних лет в области фундаментальной нелинейной физики и ее приложений, координация усилий российских ученых в наиболее актуальных направлениях физики нелинейных волновых процессов и ориентация научной молодежи на активное участие в исследованиях, ведущихся в научных центрах нашей страны. Тематика XX научной школы включает следующие направления исследований:

- современные проблемы теории нелинейных колебаний и волн;
- нелинейные процессы в геофизике;
- модели климата и экосистем;
- нелинейные явления в космологии и астрофизике;
- нелинейные явления в фотонике и физике плазмы;
- нелинейные процессы в биофизике и нейродинамике;
- нелинейная динамика квантовых систем.

В работе школы принимают участие более 200 человек. Запланировано 46 лекций приглашенных ученых, 90 устных докладов и более 90 стендовых выступлений других участников школы. В этом году ожидается приезд исследователей из Нижнего Новгорода (ИПФ РАН, ННГУ им. Н. И. Лобачевского, ИФМ РАН, ВШЭ, ПИМУ, ИПМ РАН, ВГУВТ), Москвы и Московской области (МГУ им. М. В. Ломоносова, МФТИ, ВНИИА, ИФТТ РАН, МИФИ, ИКИ РАН, ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН, ОИВТ РАН, Сколтех, ИВМ РАН, ИО РАН, ИФА РАН, РКЦ, ФИАН, ИВНД и НФ РАН, ИОФ РАН, ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, МЭИ, МГСУ, НИЦ «Курчатовский институт», ВШЭ), Саратова (СГУ, СФ ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, СГМУ), Новосибирска (НГУ, ИЯФ СО РАН, ИАиЭ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИМ СО РАН, ИТ СО РАН), Санкт-Петербурга (ИТМО, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, СПбГУ), Владивостока (ТОИ ДВО РАН), Перми (ИМСС УрО РАН, ПГНИУ), Уфы (УГАТУ, ИФМК УФИЦ РАН), Ярославля (ЯрГУ), Калининграда (БФУ им. И. Канта), Сыктывкара (СГУ им. Питирима Сорокина), Сарова (НЦФМ).

В рамках школы пройдут симпозиум «Хаос и структуры», симпозиум «Геофизические процессы в атмосфере», симпозиум «Расчетно-теоретическое обоснование экспериментов на установке XCELS», школа молодых ученых «Источники синхротронного излучения и нейтронов на принципах лазерного ускорения заряженных частиц», школа молодых ученых «Мощные источники электромагнитного излучения терагерцового, оптического и рентгеновского диапазонов на основе фотоинжекторных комплексов», симпозиум «Нелинейные процессы в биофизике», симпозиум «Нелинейная динамика квантовых систем».

Дополнительная информация о школе размещена на сайте <https://nonlinearwaves.ipfran.ru/>.

Ответственный за выпуск д.ф.-м.н., проф. РАН **А. В. Слюняев**

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

А. Г. Литвак, акад. РАН – председатель, ИПФ РАН, Н. Новгород  
А. В. Слюняев, д.ф.-м.н., проф. РАН – ученый секретарь, ИПФ РАН, Н. Новгород  
К. В. Анохин, акад. РАН, МГУ, Москва  
С. И. Блинников, д.ф.-м.н., проф., НИЦ «Курчатовский институт», Москва  
Н. С. Гинзбург, член-корр. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
С. Н. Гурбатов, д.ф.-м.н., проф., ННГУ, Н. Новгород  
В. П. Дымников, акад. РАН, ИВМ РАН, Москва  
Е. В. Ерманюк, д.ф.-м.н., ИГиЛ СО РАН, Новосибирск  
В. Е. Захаров, акад. РАН, ФИАН, Москва  
Л. М. Зеленый, акад. РАН, ИКИ РАН, Москва  
М. В. Иванченко, д.ф.-м.н., проф., ННГУ, Н. Новгород  
И. Ю. Костюков, член-корр. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
Вл. В. Кочаровский, член-корр. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
Е. А. Кузнецов, акад. РАН, Сколтех, ФИАН, Москва  
В. В. Курин, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород  
Е. А. Мареев, акад. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
В. И. Некоркин, член-корр. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
Р. И. Нигматулин, акад. РАН, ИО РАН, Москва  
М. А. Носов, д.ф.-м.н., проф. РАН, МГУ, Москва  
О. В. Руденко, акад. РАН, МГУ, Москва  
А. М. Сергеев, акад. РАН, НЦФМ, Саров  
М. В. Стародубцев, д.ф.-м.н., ИПФ РАН, Н. Новгород  
Ю. И. Троицкая, д.ф.-м.н., ИПФ РАН, Н. Новгород  
А. М. Фейгин, д.ф.-м.н., ИПФ РАН, Н. Новгород  
Е. А. Хазанов, акад. РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород  
А. Е. Храмов, д.ф.-м.н., проф., БФУ им. И. Канта, Калининград

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

- Симпозиумы «Хаос и структуры» и «Нелинейные процессы в биофизике» проводятся при финансовой поддержке Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
- Симпозиум «Геофизические процессы в атмосфере» проводится при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы мегагрантов, соглашение 075-15-2019-1892 «Электромагнитное окружение Земли: формирование, изменчивость, влияние на биосферу».
- Симпозиум «Нелинейная динамика квантовых систем» проводится при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы мегагрантов, соглашение 075-15-2021-633 «Квантовые эффекты в сильно локализованных интенсивных лазерных полях», ведущий ученый – Герхард Лойхс.
- Симпозиум «Расчетно-теоретическое обоснование экспериментов на установке XCELS» проводится при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-03-2022-047/3).
- Школа молодых ученых «Источники синхротронного излучения и нейтронов на принципах лазерного ускорения заряженных частиц» проводится при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект 075-15-2021-1361).
- Школа молодых ученых «Мощные источники электромагнитного излучения терагерцового, оптического и рентгеновского диапазонов на основе фотоинжекторных комплексов» проводится при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-72-30027.

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

# НЕМАРКОВСКАЯ ДИНАМИКА ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОННОГО КОНДЕНСАТА БОЗЕ – ЭЙНШТЕЙНА

*А. Д. Аллилуев<sup>1</sup>, Д. В. Макаров<sup>1</sup>, Н. А. Асриян<sup>2</sup>, А. А. Елистратов<sup>2</sup>, Ю. Е. Лозовик<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

<sup>2</sup>Всероссийский НИИ автоматики им. Н. Л. Духова, Москва

<sup>3</sup>Институт спектроскопии РАН, Троицк

<sup>4</sup>Институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова ВШЭ, Москва

Экситон-поляритон представляет собой бозонную квазичастицу, соответствующую связанному состоянию экситона и фотона в микрорезонаторе. Сильное взаимодействие экситонов между собой, а также исключительная малая эффективная масса делают экситон-поляритоны кандидатами на создание высокотемпературного конденсата Бозе – Эйнштейна. Исследование особенностей эволюции конденсата поляритонов также актуально в связи с возросшим интересом к их использованию в квантовых технологиях. Гибкость в управлении свойствами поляритонных ансамблей посредством изменения профиля накачки, геометрии микрорезонатора делает их привлекательными для симуляции многочастичных квантовых систем и создания квантовых логических элементов [1]. В этих приложениях особенно важны понимание динамических особенностей эволюции, оценки характерных времен процессов.

Вместе с тем экситон-поляритоны подвержены сильным процессам распада, главным образом, из-за поглощения фотонов в микрорезонаторе. Относительно долгоживущий конденсат, порядка сотни пикосекунд, удастся создать только при наличии лазерной подкачки резервуара надконденсатных экситонов. Таким образом, экситон-поляритонный конденсат является существенно открытой и неравновесной квантовой системой [2]. Сравнительно высоких времен жизни конденсата удастся добиться только при низких температурах, порядка десятков кельвинов. Это подразумевает, что резервуар характеризуется узким энергетическим спектром, а его связь с конденсатом проявляет сильные немарковские свойства.

Немарковость означает зависимость поведения динамической системы от ее предыстории, что, с одной стороны, осложняет анализ ее поведения, а с другой – существенно обогащает спектр наблюдаемых свойств. По нашим оценкам, существенные отклонения от марковского режима возникают при температурах экситонного резервуара ниже 30 К. Это вполне соответствует условиям современных экспериментов.

В настоящем докладе основное внимание уделяется процессам зарождения конденсата, изучению особенностей динамики, связанных с эффектами памяти, а также рассмотрено формирование различных пространственных структур. Будут рассматриваться как структуры, создаваемые искусственно за счет специфической конфигурации поля лазерной накачки, так и спонтанные пространственные образования, примером которых могут служить квантовые вихри.

1. *Berloff N., Silva M., Kalinin K. et al. // Nature Mater. 2017. V. 16. P. 1120–1126.*
2. *Deng H., Haug H., Yamamoto Y. // Rev. Mod. Phys. 2010. V. 82. P. 1489–1537.*

# МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕСТРОЙКИ СТРУКТУРЫ ФРАКТАЛА ХАОТИЧЕСКОГО РАССЕЙНИЯ В ОТКРЫТОЙ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМЕ С ГОМОКЛИНИЧЕСКОЙ ПЕТЛЕЙ

*А. А. Дидов, М. В. Будянский, М. Ю. Улейский*

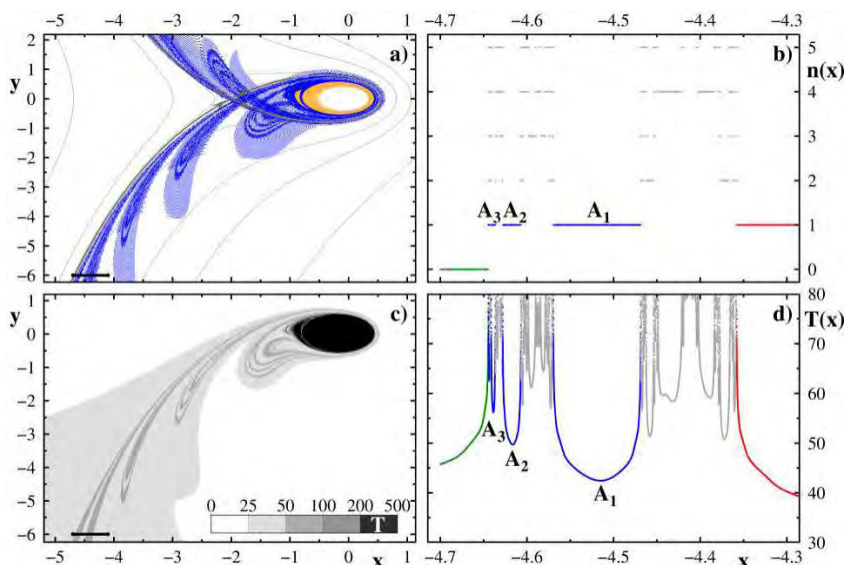
Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

Исследуется открытая нелинейная динамическая система с 3/2 степенями свободы, состоящая из точечного вихря, находящегося на фоне нестационарного внешнего потока. Внешний поток состоит из постоянного и (квази)периодически модулированного двумя синусоидальными компонентами с разными частотами и амплитудами течений. Функция тока исследуемой модели имеет вид [1]

$$\Psi(x, y, t) = \ln \sqrt{x^2 + y^2} + x (\varepsilon + \xi_1 \sin \omega_1 t + \xi_2 \sin \omega_2 t),$$

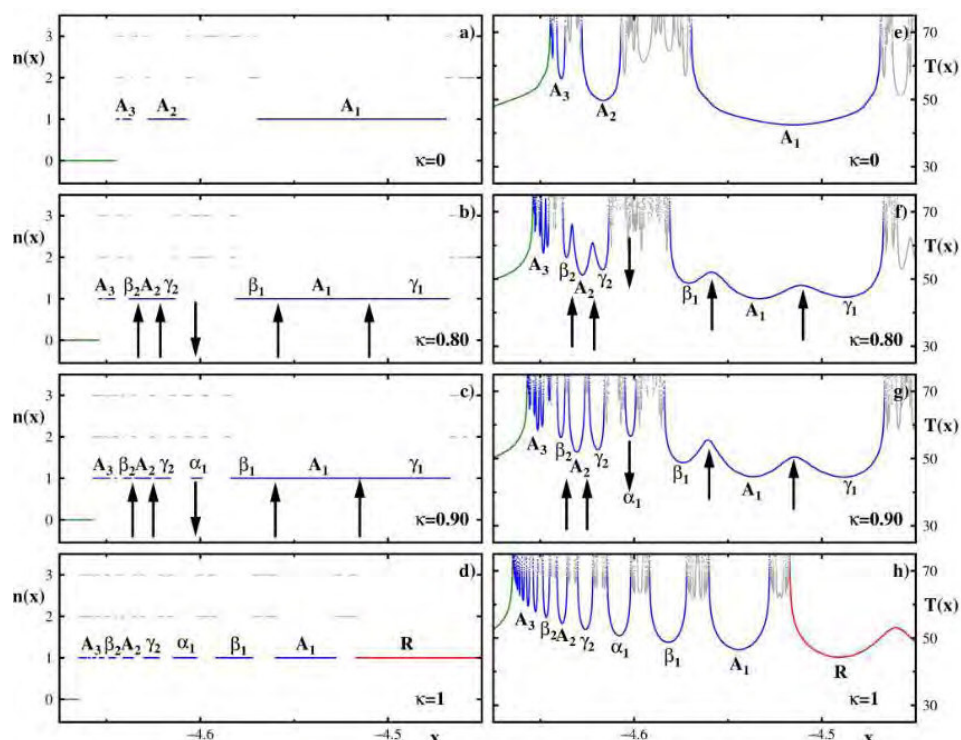
где первое слагаемое соответствует стационарному точечному вихрю с сингулярностью в точке (0, 0), второе и третье – стационарное и нестационарное плоские течения с параметрами  $\varepsilon$ ,  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , играющими роль амплитуд возмущения.

Выбранная система с сепаратрисной петлей на фазовом портрете (см. рис. 1) является простейшей моделью хаотического рассеяния пассивной примеси на топографическом вихре в океане, захваченного подводной горой. Проявлением хаотического рассеяния является наличие сингулярных пиков на графике функции рассеяния (связывающей значения «выходных» характеристик динамики системы от «входных») и последовательностей сегментов с экспоненциально-убывающими длинами во фрактале рассеяния (дискретная функция, связывающая значения «выходных» характеристик динамики системы от «входных») (см. рис. 1).



**Рис. 1.** Модельный вихрь в случае одночастотного возмущения (a). Серым цветом показаны линии тока невозмущенной системы. Жирной линией выделена сепаратриса. Оранжевыми и синими точками показано сечение Пуанкаре регулярных и хаотических траекторий. b – Фрактал рассеяния  $n(x_0)$ . Символами  $A_1, A_2, A_3$  обозначены несколько первых сегментов эпистрофы первого уровня ( $n(x_0) = 1$ ). c – Карта времени пленения частиц  $T(x_0, y_0)$ . Темно-серая складчатая структура визуализирует устойчивое многообразие седловой орбиты. d – Функция рассеяния  $T(x_0)$  для частиц, помещенных на «черный» отрезок на  $y = -6$

Показано, что при вариации амплитуд синусоидальных компонент возмущения происходит порционный внос и вынос пассивной примеси из вихревой области. Частота выноса и размеры таких порций зависят от параметров внешнего потока. Показано, что при вариации амплитуды возмущения перестройка структуры фрактала хаотического рассеяния на низких уровнях происходит с образованием (исчезновением) новых сегментов по двум механизмам, действие которых определяется соотношением между частотами возмущения (см. рис. 2).



**Рис. 2.** Фрактал (*a–d*) и функция рассеяния (*e–h*) для  $\omega_1/\omega_2 = 1/4$  при вариации параметра амплитудного возмущения  $\kappa$ : *a* и *e* –  $\kappa = 0$ ; *b* и *f* –  $\kappa = 0,80$ ; *c* и *g* –  $\kappa = 0,90$ ; *d* и *h* –  $\kappa = 1$ . Символами  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  обозначены несколько первых сегментов эпистрофы на первом уровне. Символом  $R$  обозначены начальные условия частиц, не проникающих в область хаотического перемешивания. Черными стрелками показаны места расщепления и возникновения сегментов при вариации  $\kappa$ . Направление стрелки вверх соответствует расщеплению, вниз – возникновению новых сегментов

Настоящая работа мотивирована задачей моделирования и мониторинга распространения пассивной примеси (имитирующей различного рода загрязнение, включая радиоактивное) вдоль LCS и лагранжевых фронтов вблизи топографических вихрей в океане [2, 3]. Выбор (квази)периодического возмущения обусловлен сложной природой фоновых течений, определяемых различными модами приливов и отливов, особенно в районах активного рыбного промысла. Вопрос о связи показателя геометрической прогрессии в законе убывания длин сегментов эпистроф с показателем Ляпунова седловой орбиты в реальном океане является актуальным, так как понимание этой связи позволит производить оценку транспортных свойств вихрей, а именно определять, когда и сколько пассивной примеси будет вынесено из рассматриваемого вихря.

Доклад подготовлен по материалам диссертационной работы «Аналитическое и численное исследование структурообразующих объектов в фазовом пространстве простых гидродинамических потоков» (специальность «теоретическая физика»).

Работа выполнена в рамках темы госзадания ТОИ ДВО РАН «Моделирование разномасштабных динамических процессов в океане» (проект 121021700341-2).

1. *Didov A. A.* Fractal structure of chaotic scattering in a simple hydrodynamic model with a point vortex embedded in a time-quasiperiodic background flow / A. A. Didov, M. Y. Uleysky, M. V. Budyansky // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2022 [in press].
2. *Budyansky M. V.* The impact of circulation features on the dispersion of radionuclides after the nuclear submarine accident in Chazhma Bay (Japan Sea) in 1985: a retrospective Lagrangian simulation / M. V. Budyansky, P. A. Fayman, M. Yu. Uleysky, S. V. Prants // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. V. 177. P. 113483.
3. *Prants S. V., Uleysky M. Yu., Budyansky M. V.* Lagrangian Oceanography: Large-scale Transport and Mixing in the Ocean. Springer, 2017. XIV, 273 p. (Physics of Earth and Space Environments).



# ЛУЧЕВОЙ И ВОЛНОВОЙ ХАОС В АКУСТИКЕ ОКЕАНА.

*Д.В. Макаров*

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

Теория лучевого и волнового хаоса не только позволила существенно расширить аппарат теории распространения волн в неоднородных средах, но и заставила пересмотреть некоторые ранее сложившиеся представления. В докладе представлен обзор основных направлений этой теории, выделены ключевые теоретические результаты. Отдельно выделены результаты, полученные группой из ТОИ ДВО РАН. Значительное внимание уделено вопросам соответствия между лучевым и волновым описанием акустических полей в условиях хаоса, а также проявлениям хаоса в натуральных экспериментах. В частности, показано, что стабильность приосевого распространения звука в Японском море связана с образованием так называемых слаборасходящихся пучков, обладающих повышенной устойчивостью по отношению к рассеянию на внутренних волнах.