

XXVI Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике

Конференц-зал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т. 36, ст. метро «Профсоюзная»
18-19 декабря 2017 г.

КРАТКИЕ АННОТАЦИИ ВЫСТУПЛЕНИЙ

Аксенов А.В., Доброхотов С.Ю., Дружков К.П.	5
Класс точных решений системы уравнений одномерной мелкой воды над наклонным дном	5
Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.	6
Коэффициенты нелинейных искажений наблюдаемых, определяемых вырожденным уравнением Дуффинга	6
Алтайский М.В., Гнатич М.М., Капуткина Н.Е.	7
Перенормировка вязкости в квантово-полевой модели турбулентности на основе вейвлет преобразования.....	7
Бадулин С., Григорьева В.	8
Слабая турбулентность морского волнения и спутниковая альтиметрия	8
Банникова Е.Ю., Конторович В.М., Пославский С.А.	9
Галактический кольцевой вихрь как образ загадочного объекта Хога.....	9
Балакин А.А., Литвак А.Г., Миронов В.А., Скобелев С.А.	10
Самокомпрессия лазерных импульсов в системе слабо связанных активных световодов.....	10
Будаев В.П.	11
Стохастическая кластеризация поверхности при взаимодействии плазмы с материалами.....	11
Вергелес С., Огородников Л.	12
Статистика интенсивности случайного сигнала при распространении в оптоволокне в слабонелинейном режиме.....	12
Веретенев Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В.	13
Трехмерные топологические лазерные солитоны	13
Гаврилов А.С., Селезнев А.Ф., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М.	14
Линейные динамические моды как новые переменные для эмпирического прогноза динамики Эль-Ниньо	14
Гелаш А.А.	15
Роль бризеров в развитии модуляционной неустойчивости из малых локализованных и периодических возмущений.....	15

Гелаш А.А., Мулляджанов Р.И., Львов В.С., Захаров В.Е.....	16
Инерционные волны во вращающейся жидкости: гамильтоновский формализм и численный эксперимент	16
Голицын Г.С.	17
Природные проявления законов случайных блужданий Колмогорова 1934 г.	17
Гончаров В.П., Павлов В.И.	18
Асимптотические законы роста языков интрузии в канале.....	18
Гордин В.А.....	19
Размерность существенна – первые интегралы гидродинамических моделей.....	19
Дружинин О.А., Троицкая Ю.И.....	20
Численное моделирование процессов обмена между каплями и воздухом в приводном атмосферном погранслое.....	20
Дрюма В.С.....	21
О решении уравнений течения несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных.....	21
Дьяченко А.И.....	22
Уравнение Захарова для одномерных волн на глубокой воде.....	22
Ефимов В.Б.	23
Новый тип «Tuning forks» с изгибными и вращательными колебаниями как генератор квантовой турбулентности в сверхтекучем гелии	23
Захаров В.Е., Ресио Д., Пушкарев А.	24
Об альтернативной концепции функций источников в уравнении Хассельмана	24
Зольникова Н.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Артеха С.Н.....	25
Динамика тропических циклонов при быстрых вариациях фоновой обстановки.....	25
Зубарев Н.М., Кочурин Е.А.....	26
Гравитационно-капиллярные волны на свободной поверхности жидкого диэлектрика в горизонтальном электрическом поле	26
Зубарев Н.М., Лушников П.М.....	27
Точные решения для нелинейных стадий развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца свободной поверхности гелия-II	27
Иванов С.К., Камчатнов А.М.	28
Распад начального разрыва для фотонной жидкости: эффекты самоукручения.....	28
Ингель Л.Х., Романов Н.П.	30
Интенсивная нисходящая конвекция над "холодным пятном" на горизонтальной поверхности	30
Калашник М.В., Чхетиани О.Г.....	31
Сдвиг фаз и оптимальные возмущения в модели бароклинной неустойчивости.....	31
Камчатнов А.М.....	32
Задача Гуревича-Питаевского в «невывуклой» дисперсионной гидродинамике.....	32
Качулин Д.И., Гелаш А.А.	33
Столкновения солитонов в интегрируемой модели НУШ и в компактном уравнении Захарова на огибающую	33
Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В., Обридко В.Н., Харшиладзе А.Ф., Зелёный Л.М.	34
Новая МГД-модель высокоширотного токового слоя в солнечном ветре на больших гелиоцентрических расстояниях.....	34
Клиньшов В.В.....	35
О соотношении динамики автогенератора с запаздывающей обратной связью и кольца связанных автогенераторов	35
Копьев А.В.	36
Свойства тензора скоростей деформации в случайных несжимаемых потоках.....	36

Короткевич А.О.	37
Влияние сильного длинноволнового фона на спектр обратного каскада гравитационных волн в экспериментальных установках.....	37
Левина Г.В.	38
Особенности генерации спиральности на разных стадиях формирования тропического циклона.....	38
Лушников П.М.....	40
Toward defeating diffraction and randomness for laser beam propagation in turbulent atmosphere	40
Оладышкин И.В., Бодров С.Б., Сергеев Ю.А., Корытин А.И., Токман М.Д., Степанов А.Н.	41
Генерация второй гармоники и оптическая люминесценция графена в поле мощного ТГц импульса.....	41
Орлов А.В., Бражников М.Ю., Левченко А.А.	42
Формирование крупномасштабного когерентного вихря в двумерной турбулентности	42
Полников В.Г.	43
Особенности численного решения кинетического уравнения для поверхностных гравитационных волн.....	43
Просвиряков Е.	44
Точные решения уравнений Навье-Стокса, описывающие нелинейные механизмы генерации противотечений.....	44
Рубан В.П.	45
Параметрическая неустойчивость колебаний вихревого кольца в z-периодическом бозе-конденсате и возврат к исходному состоянию	45
Рылов Ю.А.	46
Скрытые динамические переменные в завихренном течении невязкой баротропой жидкости	46
Серых И.В., Сонечкин Д.М.	47
Нехаотические, глобально синхронные междугодовые вариации в климатической системе и их причины.....	47
Сибгатуллин И.Н., Ерманюк Е.В., Маас Л., Сюй С., Доксуа Т.	48
Волновые аттракторы во вращающихся системах.....	48
Синкевич О.А., Борцова А.А.....	50
Связь между формой воронки торнадо и характеристиками двухфазного течения в ней.....	50
Слюняев А.В.	51
О нелинейных резонансах между волнами и группами на глубокой воде.....	51
Солнцев А.	52
Нелинейная динамика фотонов в квантовой оптике	52
Сонечкин Д.М.....	53
Постановка задачи о внутреннем согласовании атмосферы и океана в «быстром» и «медленном» времени.....	53
Хатунцева О.Н.	54
О возможной неединственности плотности вероятности реализации случайной величины в стохастических процессах	54
Чаликов Д.В.	55
Численное моделирование развития волн под действием ветра на основе полных трёхмерных уравнений	55
Чефранов С.Г., Чефранов А.С.....	56

Точное решение вихревого 3D уравнения Эйлера для течения сжимаемой среды и одна из математических проблем тысячелетия.....	56
Шевченко И.И.....	57
Эффекты хаотической стратификации маломассивной составляющей в планетных системах	57
Шургалина Е.Г.....	58
Определение роли «толстых» солитонов в солитонной турбулентности в уравнениях КдВ-типа	58
Agafontsev D., Randoux S., Tikan A., Koussaifi R.E., Suret P.....	59
Universal characteristics of the statistically steady state of the integrable turbulence developing from partially incoherent wave initial conditions.....	59
Batalov S.V., Shagalov A.G., Friedland L.....	60
Autoresonant excitation of Bose-Einstein condensates	60
Bogdanov L.V.	61
Matrix extensions of multidimensional dispersionless integrable systems and SDYM equations on the self-dual background.....	61
Savin S., Wang C., Li H., Tang B., Skalsky A., Legen L., Kozak L., Blecki J.	62
Outer magnetospheric resonances in experiment and MHD model.....	62

Аксенов А.В., Доброхотов С.Ю., Дружков К.П.

Класс точных решений системы уравнений одномерной мелкой воды над наклонным дном

В работе С. Доброхотова и Б. Тироцци (УМН, 2010) был получен класс точных решений системы уравнений мелкой воды над наклонным дном. В настоящей работе рассмотрено более общее трехпараметрическое семейство решений, описывающих распространение возмущений типа локализованных функций и «сглаженных ударных волн» и их отражение от берега. Детально исследован этот класс решений, построена область параметров, при которых существуют такие решения. Обсуждается применение этих решений в задачах о волнах цунами и их связь с результатами Е. Пелиновского и Р. Мазовой.

Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.

Коэффициенты нелинейных искажений наблюдаемых, определяемых вырожденным уравнением Дуффинга

Е.С. Алексеева

E-mail: kometarella@mail.ru

А.Э. Рассадин

ННМО, Нижний Новгород, Россия

E-mail: brat_ras@list.ru

Как хорошо известно, задача Коши для вырожденного уравнения Дуффинга:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + x^3 = 0, \quad x(0) = A, \quad \frac{dx(0)}{dt} = 0 \quad (1)$$

имеет следующее точное решение:

$$x(t) = A \cdot \operatorname{cn} \left[A \cdot t, \frac{1}{\sqrt{2}} \right]. \quad (2)$$

Функция (2) — периодическая с периодом $T = 4 \cdot K(1/\sqrt{2})/A$ [1], где $K(1/\sqrt{2})$ — полный эллиптический интеграл 1-го рода, поэтому она может быть разложена в ряд Фурье [1]:

$$x(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot A}{K(1/\sqrt{2})} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} ch^{-1} \left[\frac{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)}{2} \right] \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right]. \quad (3)$$

В докладе с использованием техники усреднения за период эллиптических функций Якоби, развитой в [2], и тригонометрического ряда (3) вычислены коэффициенты нелинейных искажений для величин $x(t)$, $\frac{dx(t)}{dt}$ и $x^3(t)$, временная эволюция которых определяется уравнением (1). Этим величинам дана физическая трактовка как заряда, тока и электродвижущей силы самоиндукции в колебательном контуре с сегнетоэлектрическим конденсатором, рабочая температура которого очень близка к температуре Кюри сегнетоэлектрика, заполняющего конденсатор.

Также на основе равенства Парсеваля и ряда (3) точно вычислены суммы числовых рядов вида:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2 \cdot n - 1)^k}{ch^2 \left[\frac{\pi}{2} \cdot (2 \cdot n - 1) \right]}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

1. Ахиезер Н.И. Элементы теории эллиптических функций. — М.: Наука, 1970.
2. Костромина О.С., Потапов А.А., Ракуть И.В., Рассадин А.Э. Коэффициент нелинейных искажений по напряжению в колебательном контуре с сегнетоэлектрическим конденсатором с отрицательной ёмкостью // Proc. 10-th Int. Scientific Conf. «Chaos and Structures in Nonlinear Systems. Theory and Experiment», devoted to the 75th anniversary of Prof. Z. Zhanabaev (Kazakhstan, Almaty, June 16 – 18, 2017).- Almaty: Al-Farabi Kazakh National University, 2017. P. 315 – 320.

Алтайский М.В., Гнатич М.М., Капуткина Н.Е.

Перенормировка вязкости в квантово-полевой модели турбулентности на основе вейвлет преобразования

М.В. Алтайский

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, Москва, 117997, Россия

М.М. Гнатич

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980, Россия и
Университет П.Шафарика в Кошицах, Кошице, 04180, Словакия

Н.Е. Капуткина

Национальный исследовательский технологический университет “МИСИС”,
Ленинский проспект 4, Москва, Россия

Статистическая теория турбулентности в вязкой несжимаемой жидкости, описываемой уравнением Навье-Стокса, переформулирована в терминах масштабно-зависимых компонент поля скорости $u_a(x)$, определяемых как вейвлет-коэффициенты поля u в точке x на масштабе a . Применяя квантово-полевой формализм стохастической гидродинамики к производящему функционалу случайных полей $u_a(x)$, мы показали, что n -точечные корреляционные функции масштабно-зависимых компонент поля скорости конечны по построению для гауссовой случайной силы действующей на фиксированном инфракрасном масштабе накачки L . Поскольку в построенной теории отсутствуют как ультрафиолетовые, так и инфракрасные расходимости, то преобразования ренормализационной группы приобретают роль симметрии, связывающей флуктуации различных масштабов. Вычислены однопетлевые поправки к вязкости и парному коррелятору скорости. Это дает зависимость турбулентной вязкости от масштаба измерения и описывает зависимость от масштаба парного коррелятора скорости.

Бадулин С., Григорьева В.

Слабая турбулентность морского волнения и спутниковая альтиметрия

С. Бадулин^{1,2}, В. Григорьева¹

¹Институт океанологии П.П. Ширшова РАН

²Новосибирский государственный университет

Аналитические результаты теории слабой турбулентности применены к задаче оценки крутизны морского волнения по данным спутниковой альтиметрии. Соответствующая зависимость от горизонтального градиента значимой высоты волнения H_s может быть записана в замечательно простой форме ($\mu = \pi H_s / T_p^2$ – крутизна, T_p – период спектрального пика)

$$\mu \sim (\nabla H_s)^{1/5}$$

Метод дает оценки мгновенных значений крутизны в отличие от параметрических моделей, оценивающих наиболее вероятное значение для заданной комбинации измеряемых альтиметром параметров (высота волнения и удельное эффективное сечение рассеяния). Обсуждаются возможности двух подходов (параметрического и предлагаемого физического) для оценки динамики морского волнения и построения климатических распределений характеристик волн.

Банникова Е.Ю., Конторович В.М., Пославский С.А.

Галактический кольцевой вихрь как образ загадочного объекта Хога

Радиоастрономический институт НАНУ,
Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина
vkont@rian.kharkov.ua

Объект Хога [1], представляющий собой галактику, окружённую звёздным кольцом сравнимой массы, совершающим глобальное вращение, и до сих пор не получивший адекватного объяснения, продолжает интриговать исследователей [2-4].

Мы предлагаем сценарий, интересный с точки зрения теории вихрей и объясняющий ряд основных особенностей объекта Хога.

Считаем его кольцевым вихрем – тором с закруткой (орбитальным движением по образующей вихря вокруг центральной эллиптической галактики [5,6]), которая в силу эффекта Саффмена [7,8] остановила поступательное движение вихря. При наличии закрутки скорость поступательного движения в направлении нормали к плоскости вихря определяется разностью обычного индуцированного логарифмического слагаемого и слагаемого, обусловленного орбитальным движением. Последнее определяется массой центральной эллиптической галактики и радиусом кольцевого вихря. Приравнявая эти слагаемые получаем условия отсутствия движения плоскости вихря (основанное приближение), что позволяет определить отношение масс кольца и центральной галактики. Рассматриваем теперь малое отклонение от такого состояния, связанное с бочкообразной модой колебаний вихря [9]. Основная (дипольная) мода приводит к перетеканию вещества вдоль образующей кольца, утолщению и уменьшению его по разные стороны от некоторого диаметра. В силу гироскопического эффекта возникают силы, приводящие к вращению - повороту относительно оси, ортогональной к выделенному диаметру, что соответствует наблюдательным данным об объекте Хога.

1. A.A. Hoag, AJ, 55, 170 (1950)
2. I. Finkelman, A. Moiseev, N. Brosch, I. Katkov, MN 418, 1834 (2011)
3. N. Brosch, I. Finkelman, T. Oosterloo, G. Jozsa and A. Moiseev, MN 435, 475 (2013)
4. B. M. Pakdil, M. Mangedarage, M. S. Seigar and P. Treuthardt, MN 466, 355 (2017)
5. E.Yu. Bannikova, V.G. Vakulik, A.V. Sergeev, MN 424, 820(2012)
6. E.Yu. Bannikova, V. M. Kontorovich and S. A. Poslavskii, JETP, 146, 663 (2014).
7. D. Moore and P. Saffman, Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A 272, 403 (1972).
8. P.G. Saffman, Vortex Dynamics, (Cambridge University Press, 1978).
9. V.F.Kopiev and S.A. Chernyshev, J.Fluid Mech. 341, 19, 1997; УФН 170, 713 (2000).

Балакин А.А., Литвак А.Г., Миронов В.А., Скобелев С.А.

Самокомпрессия лазерных импульсов в системе слабо связанных активных световодов

Рассмотрено распространение волнового поля в одномерной решетке эквидистантно расположенных идентичных слабо связанных активных световодов с конечной полосой усиления. Проведена классификация основных режимов самовоздействия и определены критические параметры на основе специально развитого вариационного приближения. Аналитический и численный анализ показал наличие двухстадийной динамики рассматриваемого процесса. На первом этапе происходит самофокусировка волнового поля, как в сплошной среде, вплоть до масштаба порядка размера ячейки. Получена аналитическая оценка длины самофокусировки волнового пакета, хорошо согласующаяся с результатом численного моделирования. На второй стадии, после самофокусировки волнового поля до размера ячейки, связь с соседними световодами эффективно ослабляется и происходит квази-одномерное адиабатическое уменьшение длительности лазерного импульса, вплоть до длительности соизмеримой с обратной шириной полосы усиления среды. Найдено выражение для длины самокомпрессии лазерных импульсов в системе связанных световодов. Показано, что процесс самофокусировки волнового поля существенно уменьшает эту длину по сравнению со случаем самокомпрессии лазерных импульсов в одиночном световоде.

Будаев В.П.

Стохастическая кластеризация поверхности при взаимодействии плазмы с материалами

*Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия
Научно-исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия
Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия*

Неоднородная стохастическая кластеризация поверхности со свойствами самоподобия структуры гранулярности от нано- до макромасштабов наблюдается у различных материалов после действия мощных потоков высокотемпературной плазмы в термоядерных установках. Оценены спектральные и статистические характеристики иерархической гранулярности и масштабной инвариантности, которые качественно отличаются от свойств простейшей шероховатости типа броуновская поверхность и кластеризации в иных условиях, что, возможно, обусловлено универсальными механизмами формирования стохастической кластеризации материалов под влиянием высокотемпературной плазмы [1].

1. В. П. Будаев Письма в ЖЭТФ, том 105, вып. 5 – 6, 2017

Вергелес С., Огородников Л.

Статистика интенсивности случайного сигнала при распространении в оптоволокне в слабонелинейном режиме

Мы исследовали статистику интенсивности излучения в случайном оптическом сигнале, распространяющемся по оптоволокну. Сигнал характеризуется своим спектром и статистикой интенсивности, близкой к распределению Релея. Эволюция сигнала описывается обобщённым нелинейным уравнением Шредингера с добавленной накачкой/затуханием. Мы предполагали слабые интенсивности сигнала, для которых нелинейность мала по сравнению с дисперсией. Мы провели аналитические вычисления, в которых учли влияние нелинейности по теории возмущений, посчитав средний квадрат интенсивности. В результате был найден вклад нелинейности в промежуточную асимптотику хвоста функции распределения интенсивности. В частности, было показано, что знак отклонения зависит от соотношения знаков коэффициентов хроматической дисперсии и керровской нелинейности. Наши результаты находятся в качественном соответствии с опубликованными экспериментальными и численными результатами. Мы отдельно рассмотрели предел слабого усиления/накачки. Мы показали, что наши результаты находятся в соответствии с тем, что в этом пределе эволюционное уравнение на сигнал становится интегрируемым (НУШ).

Веретенев Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В.

Трехмерные топологические лазерные солитоны

Н.А. Веретенев^{1,2)}, Н.Н. Розанов^{1-3),*)}, С.В. Федоров^{1,2)}

¹⁾ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург

²⁾Университет ИТМО, Санкт-Петербург

³⁾ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

^{*)}E-mail: nnrosanov@mail.ru

Диссипативные оптические солитоны, являясь аттракторами и потому обладающие повышенной устойчивостью вследствие динамического баланса притока и оттока энергии, представляются перспективными для информационных приложений. С другой стороны, дополнительная устойчивость по отношению к различным возмущениям присуща топологическим характеристикам структур. По этим причинам представляется перспективным объединение этих двух направлений в единое – топологические диссипативные оптические солитоны.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований, главным образом, на основе численного моделирования, трехмерных топологических диссипативных светлых солитонов в лазерной среде с насыщающимися с ростом интенсивности излучения усилением и поглощением. Дополнительно среда обладает частотной дисперсией и угловой селективностью потерь (дихроизм), сохраняя пространственную однородность и характеризуясь слабой анизотропией. Исходным уравнением служит обобщенное комплексное уравнение Гинзбурга-Ландау для медленно меняющейся огибающей поля, причем эволюционной переменной служит продольная координата вдоль трассы преимущественного распространения z . Особую роль играет выбор не только параметров среды, но и начального условия для входного поля – трехмерного распределения огибающей при $z = 0$. Параметры мы выбираем, отвечающие области устойчивости изученных нами ранее комплексов двумерных лазерных солитонов. Сами эти комплексы вращаем в экваториальном направлении вокруг отдаленной от центра двумерного комплекса оси на полный оборот и одновременно скручиваем в меридиональном направлении. Добавлением фазового множителя, отвечающего превращению оси вращения в вихревую линию с различными топологическими зарядами, приводит к непрерывному трехмерному распределению поля, служащему для нас начальным условием. Численное прослеживание последующей эволюции такого распределения позволяет выявить различные устойчивые структуры.

Вихревые линии, на которых поле обращается в 0, а фаза при обходе которых получает приращение, кратное 2π , формируют скелет структуры. Эти линии могут быть как незамкнутыми (бесконечной длины), так и замкнутыми. Найдены топологические лазерные солитоны, скелет которых образован несколькими незамкнутыми линиями и несколькими замкнутыми; последние могут быть узловыми или безузловыми, зацепленными (linked) или незацепленными. Внутренняя структура солитонов раскрывается также анализом топологии потоков электромагнитной энергии (вектором Пойнтинга) в них; оказывается, что направление продольной компоненты потока вдоль незамкнутой вихревой линии может меняться на противоположное несколько раз. Области притяжения аттракторов потоков энергии при $z = \text{const}$ разделяются трехмерными поверхностями. Представлены анимации формирования топологических солитонов, свидетельства их устойчивости и картины энергетических потоков.

**Гаврилов А.С., Селезнев А.Ф., Мухин Д.Н.,
Лоскутов Е.М., Фейгин А.М.**

***Линейные динамические моды как новые переменные для
эмпирического прогноза динамики Эль-Ниньо***

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В данной работе предлагается новый метод выбора переменных для реконструкции оператора эволюции динамической системы по пространственно-распределенным данным, основанный на использовании ранее предложенного метода нелинейной редукции размерности данных с помощью построения нелинейных динамических мод (НДМ)[1,2].

Редукция размерности пространственно-распределенных данных заключается в переходе к новым низкоразмерным переменным, описывающим значительную часть наблюдаемой динамики. Метод НДМ позволяет учитывать два физически адекватных фактора при такой редукции: (i) возможную нелинейность связей между временными рядами в различных узлах пространственной сетки и (ii) наличие характерного временного масштаба (т.е. грубой информации об операторе эволюции) у получаемых новых переменных в качестве априорной информации. Недостатком метода НДМ на данный момент является его большая ресурсоемкость, что вынуждает использовать приближенные версии алгоритма построения НДМ. В данной работе будет представлен линейный вариант НДМ, названный методом линейных динамических мод (ЛДМ), который может быть реализован без приближений. Таким образом, подобно классическому методу эмпирических ортогональных функций (ЭОФ), метод ЛДМ основан на поиске линейного преобразования, обеспечивающего редукцию размерности. При этом его существенным отличием от метода ЭОФ является учет информации о временных масштабах в исследуемой системе.

Для реконструкции оператора эволюции в полученных переменных (как с помощью ЛДМ, так и с помощью ЭОФ) будет использован разработанный ранее метод построения оптимальной эмпирической стохастической модели на основе искусственных нейронных сетей[3,4].

На примере прогноза динамики явления Эль-Ниньо по реальным данным будет показана эффективность переменных, основанных на ЛДМ, по сравнению с переменными, основанными на ЭОФ. Кроме того, будет продемонстрировано, что полученная новым методом прогностическая модель Эль-Ниньо не уступает существующим мировым моделям в этой области.

1. Mukhin, D., Gavrilov, A., Feigin, A., Loskutov, E., & Kurths, J. (2015). Principal nonlinear dynamical modes of climate variability. *Scientific Reports*, 5, 15510. <http://doi.org/10.1038/srep15510>
2. Gavrilov, A., Mukhin, D., Loskutov, E., Volodin, E., Feigin, A., & Kurths, J. (2016). Method for reconstructing nonlinear modes with adaptive structure from multidimensional data. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 26(12), 123101. <http://doi.org/10.1063/1.4968852>
3. Gavrilov, A., Loskutov, E., & Mukhin, D. (2017). Bayesian optimization of empirical model with state-dependent stochastic forcing. *Chaos, Solitons & Fractals*, 104, 327–337. <http://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.08.032>
4. Mukhin, D., Kondrashov, D., Loskutov, E., Gavrilov, A., Feigin, A., & Ghil, M. (2015). Predicting Critical Transitions in ENSO models. Part II: Spatially Dependent Models. *Journal of Climate*, 28(5), 1962–1976. <http://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00240.1>

Гелаш А.А.

Роль бризеров в развитии модуляционной неустойчивости из малых локализованных и периодических возмущений

Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск

Доклад посвящен фундаментальной задаче о развитии модуляционной неустойчивости плоской волны в рамках нелинейного уравнения Шредингера (НУШ). Предложена аналитическая теория мульти-бризерных сценариев развития малых возмущений плоской волны в НУШ [1]. Она основана на найденных формулах описывающих фазовые сдвиги бризеров. Впервые явно вычислены фазы бризеров Кузнецова необходимые для того чтобы ансамбль бризеров в начальный момент времени представлял собой малое возмущение. Представлены аналитические сценарии рождения движущихся бризеров из малых возмущений с последующим образованием волн-убийц в результате их столкновений. Анализ фурье-спектров мульти-бризерных возмущений и позволяет ответить на вопрос - при каких параметрах они имеют максимальный инкремент роста. Во второй части работы численно решается спектральная задача Захарова-Шабата и демонстрируется, что исследуемые типы бризеров НУШ действительно содержатся в случайных локализованных возмущениях. В завершение показано, что указанные бризеры также содержатся в периодических возмущениях плоской волны. Последнее позволяет построить совместную картину развития модуляционной неустойчивости на основе бризеров и конечнозонных решений НУШ.

[1] A.A. Gelash, Formation of rogue waves from the locally perturbed condensate, arXiv preprint arXiv:1709.01913, 2017.

Гелаш А.А., Мулляджанов Р.И., Львов В.С., Захаров В.Е.

***Инерционные волны во вращающейся жидкости:
гамильтоновский формализм и численный эксперимент***

А.А. Гелаш^{1,2}, Р.И. Мулляджанов^{1,2}, В.С. Львов³ и В.Е. Захаров^{1,4}

¹ *Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск*

² *Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск*

³ *Институт Вейцмана, Реховот, Израиль*

⁴ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва.*

Будут кратко представлены результаты работы [1], посвященной построению гамильтоновского формализма для инерционных волн в циркулярно вращающейся жидкости. Затем, будет рассказано как обобщить данный подход на случай эллиптического вращения. Как известно, наличие слабой эллиптичности потока приводит к развитию параметрической неустойчивости инерционных волн. Будут представлены результаты теоретического и численного исследования линейной и нелинейной стадии данной неустойчивости. В первом случае это оценки порогового значения эллиптичности, которые получены с учетом конечности размеров резервуара и наличия вязкости. Данные оценки подтверждаются нашими численным расчетами проведенными с помощью псевдоспектрального кода Snoopy 6.0 (см. [2,3]). Для нелинейной стадии получены оценки величины насыщения неустойчивости, обусловленного четырех-волновым взаимодействием (так называемый фазовый механизм насыщения параметрической неустойчивости), сравнение которых с результатами численных расчетов является темой дальнейших исследований. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-31-60086 мол_a_дк.

[1] Gelash A. A., L'vov V. S., Zakharov V. E. Complete Hamiltonian formalism for inertial waves in rotating fluids // Journal of Fluid Mechanics. – 2017. – Т. 831. – С. 128-150.

[2] Le Reun T. et al. Inertial wave turbulence driven by elliptical instability //Physical Review Letters. – 2017. – Т. 119. – №. 3. – С. 034502.

[3] http://ipag.osug.fr/~lesurg/snoopy_doc/html/index.html

Голицын Г.С.

Природные проявления законов случайных блужданий Колмогорова 1934 г.

Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,

e-mail: gsg@ifaran.ru

В первой половине 1930-х г.г. А. Н. Колмогоров развивал аналитические методы теории вероятностей, венцом которых явилась работа 1934 г. [1], которая описывает временную эволюцию функции распределения вероятностей, ФРВ, 6-мерного вектора скоростей и координат лагранжевых частиц при марковском (дельта-коррелированном) возбуждении ускорений. В приближении малых изменений ФРВ выводится параболическое уравнение типа Фоккера – Планка. Коэффициент диффузии в пространстве скоростей оказывается равным ε , половине скорости генерации кинетической энергии, как показал в 1958 г. А. М. Обухов. Он же нашел 3 временных масштаба этого уравнения: $\langle x^2 \rangle = \varepsilon t^3$, $\langle u^2 \rangle = \varepsilon t$, $\langle xu \rangle = \varepsilon t^2$. Выразив из первого время и подставив его в два остальных, получим результаты 1941 г. [2]. В [3] численный счет для ограниченного числа N лагранжевых частиц хорошо подтвердил эти масштабы даже для $N = 10$. Решение уравнения в [1] действует как в трехмерном, так и двумерном пространствах. Оно объясняет многие загадки в природе, найденные экспериментально за последние 40 лет: спектр горизонтальных атмосферных движений $k^{-5/3}$ вплоть до 2000 км, временные спектры морского ветрового волнения, закон Тоба, что высота пика этих волн пропорциональна их периоду $T^{3/2}$, распределение числа литосферных плит $S^{-1/3}$, глобальный скейлинг для галактик [4, 5].

Литература.

1. Kolmogorov A. N. Zufallige Bewegungen. Ann. Math. Bd. 35, P. 116–117, 1934.
2. Obukhov A. M. Description of turbulence in lagrangian variables. В кн. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. М.: ЦИЛ. С. 138-140, 1962.
3. Гледзер Е. Б., Голицын Г. С. Скейлинг и конечные ансамбли частиц в движении с притоком энергии. ДАН. 2010. Т. 433 (4). С. 466-470.
4. Голицын Г. С. Статистика и динамика природных процессов и явлений. (М.: Красанд, 2012).
5. Голицын Г. С. Теория подобия и размерности для галактик. ДАН. 2017. Т. 475 (4). С. 395-399.

Гончаров В.П., Павлов В.И.

Асимптотические законы роста языков интрузии в канале

В.П. Гончаров¹⁾, В.И. Павлов²⁾

1) Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 109017 Москва, Россия

2) UFR des Mathematiques Pures et Appliquees - LML CNRS UMR 8107, Universite de Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq, France

Модель Ферми и фон Неймана обсуждается в контексте изучения интрузии. Показано, что предсказанные моделью асимптотические законы роста языков интрузии в бесконечном горизонтальном канале не вполне укладываются в классический сценарий. Классический сценарий линейного роста $x_1 \propto t$ поддерживается только для длины нижнего (тяжелого) языка интрузии. Что же касается верхнего (легкого) языка интрузии, то его длина подчиняется существенно нестепенному закону ($x_2 \propto t / \ln t$).

Гордин В.А.

***Размерность существенна – первые интегралы
гидродинамических моделей***

НИУ – ВШЭ, Гидрометцентр РФ

Для одномерной и двумерных баротропных моделей определены полные списки первых интегралов нулевой степени (т. е. не зависящих явно от пространственных

$$\int f(u, H) dx$$

производных), например, \square . Для одномерной модели пространство таких интегралов бесконечномерно, а для двумерных - конечномерно. Для двумерных моделей также известны первые интегралы и степени один. Для составления полного списка первых интегралов используется вариационный подход.

Дружинин О.А., Троицкая Ю.И.

Численное моделирование процессов обмена между каплями и воздухом в приводном атмосферном погранслое

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, РФ
(droujmail@mail.ru)*

Обмен импульсом, теплом и влагой между каплями морского аэрозоля и окружающим воздухом оказывают непосредственное влияние на динамику атмосферного погранслоя над водной поверхностью. Капли инжектируются в воздушный поток в окрестности гребней достаточно крутых поверхностных волн, и их массовая доля растет с увеличением скорости ветра и может достигать значительных величин. При этом капли испаряются (или наоборот, растут за счет конденсации) и обмениваются теплом с окружающим воздухом, изменяя таким образом его температуру и влажность. Инерция капель и их гравитационное оседание приводит к тому, что их скорость не совпадает со скоростью окружающего воздуха, что в свою очередь влечет за собой обмен импульсом между каплями и воздухом через вязкую (Стоксову) силу трения. Все эти комплексные процессы обмена довольно сложно моделировать, и что еще важнее, измерять с достаточной точностью, в лабораторных и, тем более, натуральных условиях. В данном сообщении мы обсуждаем процедуру прямого численного моделирования (DNS) как альтернативу лабораторному и натурному экспериментам, способную предоставлять полные данные о динамике воздуха и капель и процессах обмена между каплями и воздухом в приводном атмосферном погранслое. В DNS рассматривается двухмерная монохроматическая поверхностная волна, неизменяющаяся под действием ветра, и решаются полные, трехмерные уравнения Навье-Стокса для скорости, температуры и относительной влажности воздуха с учетом воздействия капель на поток в Эйлеровых координатах. Одновременно решаются уравнения движения капель для скорости, массы и температуры в Лагранжевых координатах. Учет воздействия капель на воздушный поток осуществляется с помощью аппроксимации точечной силы (“point-force approximation”) с учетом поправок, обусловленных конечным числом Рейнольдса и эффектов вентиляции капли. В DNS получены мгновенные и средние профили средней скорости ветра, температуры и влажности и турбулентных потоков для различных параметров капель и крутизны поверхностных волн. Детально отслежена динамика капель различных диаметров (от 100 до 300 микрон) и их взаимодействие с потоком на разных стадиях движения.

Дрюма В.С.

О решении уравнений течения несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных

Институт математики и информатики АН РМ, Кишинев

Уравнения трехмерных течений несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных имеют вид

$$\frac{a^2 x^i}{at^2} = -[X^j, X^k, P] + \mu \left[X^2, X^3, \left[X^2, X^3, \frac{ax^i}{at} \right] \right] + \mu \left[X^3, X^1, \left[X^3, X^1, \frac{ax^i}{at} \right] \right] + \mu \left[X^1, X^2, \left[X^1, X^3, \frac{ax^i}{at} \right] \right], \quad (1)$$

$$[X^1, X^2, X^3] = \frac{ax \, ay \, az}{dx \, dy \, dz} - \frac{ax \, ay \, az}{dx \, az \, dy} - \frac{ax \, ay \, az}{dy \, dx \, dz} + \frac{ax \, ay \, az}{dz \, dx \, dy} + \frac{ax \, ay \, az}{dy \, az \, dx} - \frac{ax \, ay \, az}{dz \, dy \, dx} = 1, \quad (2)$$

Здесь $P=P(x,y,z,t)$ – давление, μ – коэффициент вязкости, $X^i = X^i(x, y, z, t)$ – зависящие от времени координаты частиц жидкости, $i=1,2,3$, идентифицируемых по значениям векторного параметра $\bar{x}=(x,y,z)$.

В докладе будут приведены примеры точных частных решений системы уравнений (1) и (2), в конструкции которых основная роль принадлежит условию несжимаемости жидкости (2). На этом пути появляется возможность привлечения результатов теории полиномиальных систем обыкновенных дифференциальных уравнений $\frac{dx^i}{dt} = \sum a^i_{kj} x^k x^j$ с параметрами a^i_{kj} и обладающих предельными циклами для описания свойств полной системы уравнений (1) и (2).

Теорема 1.

В результате замены переменных вида

$$Y(x,y,z,t)=M\left(\frac{x}{t}, \frac{y}{t}, \frac{z}{t}\right)t, \quad Y(x,y,z,t) = L\left(\frac{x}{t}, \frac{y}{t}, \frac{z}{t}\right)t, \quad Z(x,y,z,t) = N\left(\frac{x}{t}, \frac{y}{t}, \frac{z}{t}\right)t, \quad (3)$$

соотношение (2) принимает вид

$$A(\xi, \eta, \chi) \frac{\partial L}{\partial \xi} + B(\xi, \eta, \chi) \frac{\partial L}{\partial \eta} + C(\xi, \eta, \chi) \frac{\partial L}{\partial \chi} - 1 = 0, \quad (4)$$

где $\xi = \frac{x}{t}$, $\eta = \frac{y}{t}$, $\chi = \frac{z}{t}$, с коэффициентами

$$A(\xi, \eta, \chi) = \frac{\partial N}{\partial \chi} \frac{\partial M}{\partial \eta} - \frac{\partial M}{\partial \chi} \frac{\partial N}{\partial \eta}, \quad B(\xi, \eta, \chi) = -\frac{\partial M}{\partial \xi} \frac{\partial N}{\partial \chi} + \frac{\partial M}{\partial \chi} \frac{\partial N}{\partial \xi}, \quad C(\xi, \eta, \chi) = -\frac{\partial N}{\partial \xi} \frac{\partial M}{\partial \eta} + \frac{\partial M}{\partial \xi} \frac{\partial N}{\partial \eta}, \quad (5)$$

которые можно рассматривать в качестве компонент бездивергентного векторного поля

$$\frac{\partial A(\xi, \eta, \chi)}{\partial \xi} + \frac{\partial B(\xi, \eta, \chi)}{\partial \eta} + \frac{\partial C(\xi, \eta, \chi)}{\partial \chi} = 0. \quad (6)$$

С помощью соотношений (4), (5) и (6) могут быть найдены компоненты скорости течения (3) с достаточно большим функциональным произволом, который используется далее для интегрирования полной системы уравнений (1) с учетом условий ее совместности.

Теорема 2. [4]

Квадратичная система уравнений

$$\frac{dy}{dt} = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_{11} x^2 + b_{12} xy + b_{22} y^2, \quad \frac{dx}{dt} = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_{11} x^2 + a_{12} xy + a_{22} y^2,$$

обладает предельными циклами при специальных значениях параметров b_i, a_i, b_{ij}, a_{ij} . При переходе к проективным координатам $\xi = \frac{x}{t}$, $\eta = \frac{y}{t}$, $\chi = \frac{z}{t}$ ей отвечает векторное поле с условием (6) на компоненты

$$\begin{aligned} A(\xi, \eta, \chi) &= 4a_0 \chi^2 + 4a_2 \eta \chi + (3a_1 - b_2) \xi \chi + 4a_{22} \eta^2 + (3a_{12} - 2b_{22}) \xi \eta + (2a_{11} - b_{12}) \xi^2, \\ B(\xi, \eta, \chi) &= 4b_0 \chi^2 + 4b_1 \xi \chi + (3b_2 - a_1) \eta \chi + 4b_{11} \xi^2 + (3b_{12} - 2a_{11}) \xi \eta + (2b_{22} - a_{12}) \eta^2, \\ C(\xi, \eta, \chi) &= -(b_2 + a_1) \chi^2 - (2b_{22} + a_{12}) \eta \chi - (2a_{11} + b_{12}) \xi \chi. \end{aligned} \quad (7)$$

В докладе будут рассмотрены некоторые примеры решений лагранжевых уравнений течения жидкости, порождаемых бездивергентными векторными полями вида (7).

ЛИТЕРАТУРА.

1. А.С.Монин. О Лагранжевых уравнениях гидродинамики несжимаемой жидкости, Прикладная математика и механика. т. XXVI, 1962, с. 320-327.
2. V.S.Dryuma. On equations of incompressible liquids in Lagrangian variables. International Conference Современные проблемы механики сплошной среды, Тезисы докладов, МИАН, Москва, 13-15 ноября, 2017 г., с.14-16.
3. V.S.Dryuma. On Solving of Euler equations of ideal incompressible liquid. International Conference on Mathematical Control theory and Mechanics, Suzdal, July'3-7, Abstracts, 2015, с. 166-168.
4. V.S.Dryuma. Homogeneous extensions of the first order ODE's. International Conference "Algebraic Topology and Abelean functions". Moscow, 18-22 June, Steklov Mathematical Institute of RAS, Abstracts, 2013, с. 78-79.

Дьяченко А.И.

Уравнение Захарова для одномерных волн на глубокой воде

Для глубокой воды получено одномерное уравнение и гамильтониан для волн, бегущих в обе стороны. Уравнение получено с помощью канонического преобразования, которое исключает все нерезонансные (трех- и четырехволновые) члены в исходном гамильтониане.

Получены его простейшие решения, одним из которых является нелинейная стоячая волна.

Ефимов В.Б.

Новый тип «Tuning forks» с изгибными и вращательными колебаниями как генератор квантовой турбулентности в сверхтекучем гелии

*Институт физики твердого тела РАН,
Черноголовка, Московская обл., Россия*

Сверхтекучий гелий предоставляет большие возможности для исследования турбулентных процессов, принимая во внимание уникальные свойства двухжидкостной гидродинамики и, в частности, возможность создания квантовых вихрей, вихревое состояние которых является наиболее простым и понятным. Для создания вихревой структуры в сверхтекучем гелии в экспериментах широко используются колеблющиеся и вращающиеся тела (струны, шарики, сетки, кварцевые камертоны – «tuning forks» и т.п.).

В данной работе мы исследовали возможность использовать в качестве генератора квантовой турбулентности новый тип «tuning forks», в которых наряду с изгибными модами колебаний благодаря специально выбранной ориентации кристаллов кварца возможны и вращательные моды.

В докладе будет проведен анализ возможности генерации турбулентности обеими модами как в сверхтекучем гелии, так и в более вязких средах.

Захаров В.Е., Ресио Д., Пушкарев А.

Об альтернативной концепции функций источников в уравнении Хассельмана

The new ZRP wind input source term is checked for its consistency via numerical simulation of Hasselmann equation. The results are compared to field experimental data, collected at different sites around the world, and theoretical predictions of self-similarity analysis.

Both numerical simulations for time domain and limited fetch cases, which used ZRP wind input term, exact nonlinear interaction term S_{nl} (also known as XNL) and "implicit" high-frequency dissipation, shown good agreement with predicted self-similar properties of Hasselmann equation and experimentally obtained regression line (Resio and Long, 2004, 2007). Comparison with other field experimental data have been also performed as well.

The comparison have been performed through analysis of temporal and spatial dependencies for total wave energy, average frequency, their exponents and the ω^{-2} magic relations ω^{-2} . The spectra demonstrated frequency dependence with the coefficient in front of it in good correspondence with Resio-Long regression line, and its theoretical counterpart as well, for both cases.

Good agreement with experimental and theoretical results, obtained in limited fetch and time domain numerical simulations, emphasizes the domination of nonlinear interaction term among the others, and holds the hope of future operational models forecasts improvement

**Зольникова Н.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А.,
Артеха С.Н.**

***Динамика тропических циклонов при быстрых вариациях
фоновой обстановки***

Институт космических исследований РАН

Проведено численное исследование динамики сезонного хода крупномасштабного регионального тропического циклогенеза (ТЦ) на основе малопараметрической, нелинейной модели с соответствующим выбором параметров задачи при учете нестационарности фоновой обстановки. Показано, что возможны различные варианты динамики ТЦ со значительными вариациями скорости ветра на квазистационарной стадии ТЦ. При соответствующем подборе параметров модели характеристики возникающих ТЦ будут соответствовать данным наблюдений. Показано, что учёт слабых короткопериодных колебаний фоновой температуры не оказывает влияния на динамику ТЦ. Согласно расчетам для амплитуд колебаний фона примерно в один градус и периоде порядка нескольких суток амплитуда вариаций скорости ветра в тайфунах существенно возрастает. При этом длительность развитой стадии для циклонов с коротким и средним временами существования уменьшается. Развиваемый подход к анализу динамики ТЦ с учетом экспериментальных данных по характеристикам тайфунов позволит получить нелинейную модель сезонного хода циклогенеза в конкретном регионе, достаточно близкую к данным наблюдений. Это представляет большой научный и практический интерес для разработки современных методов прогноза ТЦ и моделирования их связей с другими процессами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ по проекту № 16-05-00551а.

Зубарев Н.М., Кочурин Е.А.

Гравитационно-капиллярные волны на свободной поверхности жидкого диэлектрика в горизонтальном электрическом поле

Н. М. Зубарев^{1,2}, Е. А. Кочурин¹

¹ Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

E-mail: kochurin@iep.uran.ru

Проведено прямое численное моделирование процесса распространения и взаимодействия нелинейных гравитационно-капиллярных волн на свободной поверхности глубокой диэлектрической жидкости с высокой проницаемостью в присутствии внешнего тангенциального электрического поля. Использованный численный алгоритм основан на динамическом конформном преобразовании области, занимаемой жидкостью, в полуплоскость. В пределе сильного электрического поля, когда силами тяжести и поверхностного натяжения можно пренебречь, справедливо точное аналитическое решение уравнений электрогидродинамики, описывающее распространение нелинейных волн без искажений в направлении, либо против направления внешнего поля. Результаты численного решения полной системы уравнений, т.е. с учетом гравитации и капиллярности, показывают, что при увеличении внешнего поля действительно наблюдается тенденция к сохранению формы волн, бегущих только в одну сторону. Моделирование взаимодействия встречных волн в пределе сильного поля показало, что на поверхности жидкости могут формироваться области, в которых происходит разрыв электростатического и динамического давлений, при этом кривизна поверхности возрастает неограниченно. В случае конечного поля процесс взаимодействия волн приводит к интенсивному излучению каскада мелкомасштабных капиллярных волн, что обуславливает хаотизацию системы. Исследованный механизм взаимодействия встречных волн может способствовать ускорению развития капиллярной турбулентности поверхности жидкости.

Зубарев Н.М., Лушников П.М.

Точные решения для нелинейных стадий развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца свободной поверхности гелия-II

Относительное движение нормальной и сверхтекучей компонент гелия-II приводит к развитию неустойчивости Кельвина-Гельмгольца их общей свободной поверхности. Получены точные решения уравнений движения, описывающие нелинейные стадии развития этой неустойчивости. В отличие от обычной неустойчивости Кельвина-Гельмгольца границы раздела между двумя жидкостями, для гелия-II удастся выделить в уравнениях движения отдельные ветви, соответствующие затухающим, либо нарастающим со временем решениям. В итоге задача сводится к единственному уравнению лапласовского роста, допускающему бесконечное число точных решений. В частности, его решения описывают формирование на свободной поверхности гелия-II заостренных лунок за конечное время.

Иванов С.К., Камчатнов А.М.

***Распад начального разрыва для фотонной жидкости:
эффекты самоукручения***

Институт спектроскопии РАН, г.Троицк, г.Москва, 108840
Московский физико-технический институт, г.Долгопрудный, 141700

Дисперсионные ударные волны — это осцилирующие волновые структуры, возникающие после опрокидывание волны. Такие структуры могут возникать во многих физических системах таких, как волны на воде, бозе-эйнштейновские конденсаты, волны в магнетитах и нелинейной оптике. В нелинейной оптике дисперсионные ударные волны изучались в одномодовых волоконных световодах для длин волн, соответствующих нормальной дисперсии, при кручении мощных пикосекундных оптических импульсов, имеющих почти прямоугольную форму. Оптические ударные волны изучались не только в импульсах, но и в световых лучах. Распространение высокоинтенсивных локализованных пучков, наложенных на низкоинтенсивный плоский волновой фон, привело к образованию как одномерных, так и двумерных пространственных ударных волн в фотопреломляющих кристаллах с дефокусирующей нелинейностью. В последнее время экспериментально исследовался волоконно-оптический аналог задачи распада разрыва [1]. Теоретически дисперсионные ударные волны представлены как промодулированные нелинейные периодические волны, а процесс их образования и эволюции описывается теорией модуляции Уизема. В приложениях волоконной оптики динамика импульсов обычно описывается нелинейным уравнением Шредингера (НУШ), которое учитывает два основных эффекта: нормальную дисперсию и нелинейность Керра. Для этого случая теория дисперсионных ударных волн уже хорошо развита, и основные параметры возникающих волновых структур могут быть рассчитаны для типичных идеализированных ситуаций в простой аналитической форме. В частности, рассмотрение многих реальных задач может быть сведено к анализу так называемой задачи об эволюции начального разрыва. Такой разрыв может проявиться, например, как скачок интенсивности света, зависящей от времени, который наиболее типичен в физике световых импульсов в волокнах или эволюции двух сталкивающихся импульсов. Классификация возможных волновых структур в теории НУШ приведена в работах [2,3] и дает теоретическую основу для расчета характерных параметров таких экспериментов, как в работе [1].

Однако в нелинейной оптике, помимо квадратичной дисперсии и керровской нелинейности, многие другие эффекты могут играть важную роль в распространении импульсов. Например, в волоконной оптике необходимо учитывать такие эффекты, как диссипация, дисперсия более высокого порядка, комбинационное рассеяние и самоукручение. Такие эффекты могут радикально изменить эволюцию дисперсионных ударных волн. Эффекты самоукручение обычно описываются последним членом в модифицированном НУШ (мНУШ). Ранее в бездисперсионном приближении было показано [4], что во время эволюции импульс приобретает асимметричную структуру вместо постепенной симметричной деформации ее формы, как происходит в теории НУШ. Это наблюдение демонстрирует необычную особенность члена самоукручения, вызванного задержкой диэлектрического отклика в оптических волокнах. Это означает,

что «правое» и «левое» направления не эквивалентны друг другу, то есть поток «оптической жидкости» является анизотропным. Учет дисперсии может стабилизировать волну с самоукручением, приводящую к солитонному режиму распространения импульсов и соответствующим солитонным решениям так называемого «нелинейного уравнения Шредингера с производной». Однако роль эффекта самоукручения в эволюции дисперсионных ударных до этой работы была не ясна.

В этой работе мы разработали метод модуляции Уизема для распространения импульсов в достаточно длинных волокнах с учетом эффектов самоукручения. Мы применили эту теорию к классификации волновых структур, возникающих из начального разрыва. В этом случае из-за невыпуклого поведения нелинейных скоростей ранее известные методы решения таких задач должны быть модифицированы с учетом новых типов волновых структур, называемых «контактные дисперсионные волны». Эволюция этих структур описывается вырожденными пределами уравнений Уизема. В полученном построении одно решение уравнений Уизема соответствует двум различным волновым структурам. Это соответствие обеспечивается двузначным отображением инвариантов Римана к физическим параметрам модуляции. В этом отношении ситуация аналогична ситуации модифицированного уравнения Кортевега — де Фриза, которая была развита в [4], но в нашей работе рассматривается система с двунаправленным распространением волн. Получившийся набор возможных волновых структур очень богат, и мы разработали графический метод определения того, какая структура будет возникать из заданного начального состояния. Этот метод достаточно гибок и применим к другой системе с невыпуклой гидродинамикой - к уравнению Ландау-Лифшица для динамики магнетизма с одноосной анизотропией легкой плоскости [5].

Таким образом, теория, представленная в этой работе, с одной стороны, предсказывает некоторые новые явления, которые можно наблюдать экспериментально, а с другой формирует основу для разработки более полных теорий, учитывающих другие эффекты.

Список литературы

- [1] G. Xu, M. Conforti, A. Kudlinski, A. Mussot, and S. Trillo, *Phys. Rev. Lett.*, 118, 254101 (2017).
- [2] A. V. Gurevich and A. L. Krylov, *Sov. Phys. JETP*, 65, 944 (1987).
- [3] G. A. El, A. Gammal, E. G. Khamis, R. A. Kraenkel, and A. M. Kamchatnov, *Phys. Rev. A*, 76, 053813 (2007).
- [4] A. M. Kamchatnov, Y.-H. Kuo, T.-C. Lin, T.-L. Horng, S.-C. Gou, R. Clift, G. A. El, and R. H. J. Grimshaw, *Phys. Rev. E* 86, 036605 (2012).
- [5] S. K. Ivanov, A. M. Kamchatnov, T. Congy, and N. Pavloff, has been accepted for publication in *Phys. Rev. E*.

Ингель Л.Х., Романов Н.П.

***Интенсивная нисходящая конвекция над "холодным пятном"
на горизонтальной поверхности***

Л.Х. Ингель^{1,2}, Н.П. Романов¹

¹ *ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск,*

² *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва*
lev.ingel@gmail.com

Теоретически и экспериментально изучается стационарная интенсивная нисходящая конвекция, возникающая в жидкой (газообразной) среде над "холодным пятном" на горизонтальной поверхности. Эта задача имеет приложения, в частности, в физике атмосферы. Рассматривается случай термических неоднородностей достаточно большой амплитуды, когда нельзя ограничиваться линейным приближением. Безразмерным критерием является аналог числа Рэлея, пропорциональный амплитуде отклонения температуры и кубу горизонтального масштаба термической неоднородности. Над "холодным пятном" образуется "линза" охлажденной среды. Давление в этой «линзе» выше "фона", поскольку вес столба среды при охлаждении увеличивается. Поэтому возникают горизонтальные градиенты давления и приповерхностные течения, направленные от центра "холодного пятна" к периферии. Из простых физических соображений и масштабного анализа получены явные аналитические выражения для глубины (высоты) проникновения термических возмущений в среду и амплитуд составляющих скорости конвекции. Оценивается степень интенсификации теплообмена за счет конвекции (число Нуссельта). Оно пропорционально числу Рэлея в степени 1/5. Выполнена серия экспериментальных исследований, в которых измерялись температурные профили над «холодным пятном». Теоретические оценки хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Тем самым, достигнуто понимание нелинейной динамики интенсивной конвекции при горизонтально-неоднородном охлаждении снизу.

Калашник М.В., Чхетиани О.Г.

Сдвиг фаз и оптимальные возмущения в модели бароклиной неустойчивости

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 109017 Москва, Россия

Под оптимальными возмущениями в теории гидродинамической неустойчивости понимают возмущения, для которых скорость роста энергии или отношения начальной и конечной энергий принимают максимальное значение. Для нахождения оптимальных возмущений (сингулярных векторов) как правило, используют численные методы вариационного исчисления. На примере классической модели Иди бароклиной неустойчивости, в докладе рассмотрен простой физический подход, позволяющий определить параметры оптимальных возмущений аналитически. Этот подход опирается на уравнение баланса энергии и явные выражения для энергетических функционалов, представляющие собой функции параметров начального возмущения. Определение оптимальных параметров сводится к стандартному исследованию этих функций на экстремум. Для возмущений с нулевой потенциальной завихренностью в качестве параметров выступают амплитуды начальных распределений плавучести на границах слоя атмосферы и сдвиг фаз между этими распределениями. В докладе представлены формулы для оптимального сдвига фаз и максимума отношения энергий. Также показано, что оптимальные возмущения всегда имеют равные граничные амплитуды. Проведено сравнение параметров оптимальных возмущений с параметрами растущих нормальных мод. Установлено, что существует только одна экспоненциально нарастающая нормальная мода, которая является оптимальным возмущением. Волновое число этой моды при этом отлично от волнового числа нормальной моды с максимумом инкремента нарастания.

Камчатнов А.М.

Задача Гуревича-Питаевского в «невыпуклой» дисперсионной гидродинамике

Институт спектроскопии РАН

В докладе будут представлены результаты работы по изучению одномерной динамики интегрируемых волновых уравнений с «невыпуклой» динамикой бездисперсионного предела. Показано, что при решении задачи Гуревича-Питаевского о распаде начального разрыва в этом случае оказывается уже недостаточно использовать лишь волны разрежения и дисперсионные ударные волны для описания возникающей волновой структуры при произвольных параметрах разрыва, и в теорию необходимо ввести дополнительные «контактные» структуры, связывающие состояния с одинаковыми значениями римановых инвариантов. Развита метод, позволяющий определить тип и параметры структур в общем случае. Теория иллюстрируется приложениями к типичным интегрируемым уравнениям, обладающим свойством «невыпуклости» бездисперсионного предела: модифицированному уравнению КдФ, нелинейному уравнению Шрёдингера «с производной», уравнению Ландау-Лифшица с анизотропией типа лёгкая плоскость.

Качулин Д.И., Гелаш А.А.

Столкновения солитонов в интегрируемой модели НУШ и в компактном уравнении Захарова на огибающую

Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск

Парные взаимодействия солитонов являются важным элементарным составляющим сложной картины солитонной турбулентности. Ключевой особенностью при этом является упругость данного взаимодействия – после столкновения солитоны полностью восстанавливают свою форму. В интегрируемых моделях, таких как НУШ эти взаимодействия описываются с помощью точных формул известных из метода обратной задачи рассеяния. В неинтегрируемых моделях подобных точных формул нет и взаимодействие полностью упругим не является. Тем не менее, результаты численных экспериментов подтверждают наличие долгоживущих когерентных структур - солитонов и в неинтегрируемых моделях, например в компактном уравнении Захарова на огибающую. Мы обнаружили, что столкновения таких неинтегрируемых солитонов, хотя и приводит к возникновению небольшого дополнительного излучения, тем не менее во многом повторяет ключевые особенности интегрируемого случая. В частности при определенной синхронизации фаз солитонов возможно формирование волн большой амплитуды в результате столкновений. Это происходит даже при большой величине крутизны волнового фронта, когда уравнение Захарова сильно отличается от модели НУШ. Мы полагаем, что данные результаты позволят лучше понять динамику уравнения Захарова и других схожих неинтегрируемых моделей.

**Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В., Обридко В.Н.,
Харшиладзе А.Ф., Зелёный Л.М.**

***Новая МГД-модель высокоширотного токового слоя в
солнечном ветре на больших гелиоцентрических
расстояниях***

Построена полуаналитическая осесимметричная МГД-модель конусообразного токового слоя (КТС). КТС берёт начало в солнечной атмосфере над магнитным полюсом и протягивается до значительных гелиоцентрических расстояний. Выделяется на фоне быстрого солнечного ветра пониженной скоростью плазмы, низким плазменным бета и увеличенной плотностью плазмы. Ограничен нейтральными поверхностями z-компоненты магнитного поля, внутренние области КТС полностью коротят с Солнцем на соответствующих широтах, вблизи границ расположена азимутальная альфвеновская поверхность, за которой коротация нарушается. При моделировании предполагалось, что особенности распределения плазмы и полей внутри КТС связаны с локальным узким пиком плотности плазмы внутри солнечной атмосферы вблизи полюса, нейтральной линии магнитного поля вблизи Солнца задавались посредством смещения дипольной и квадрупольных компонент магнитного поля.

В докладе приводятся наблюдательные результаты, полученные по данным Ulysses, по которым был впервые обнаружен КТС. Модель качественно согласуется с наблюдениями.

Клиньшов В.В.

О соотношении динамики автогенератора с запаздывающей обратной связью и кольца связанных автогенераторов

Показано, что периодические режимы автогенератора с запаздывающей обратной связью могут наблюдаться в виде бегущих волн в кольцах однонаправленно связанных автогенераторов. Установлена связь между устойчивостью исходного периодического режима и устойчивостью бегущей волны в ряде предельных случаев. Показано, что в случае резонансного соотношения периода и задержки возможно существование бегущих волн в кольце с мгновенными связями без запаздывания. Теоретически и экспериментально продемонстрировано существование "дрожащих" бегущих волн в кольце автогенераторов с импульсными мгновенными связями.

Копьев А.В.

Свойства тензора скоростей деформации в случайных несжимаемых потоках

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Рассматриваются свойства симметричной части тензора градиентов скорости, называемого тензором скоростей деформации, в развитом турбулентном потоке несжимаемой жидкости. На основании анализа численных данных [1, 2] обнаружена симметрия распределения тензора в однородном изотропном турбулентном потоке. Аналогичная симметрия получена аналитически для случая гауссового распределения скоростей [3].

Используя аналитическое выражение симметрии удается показать, что функция распределения нормированного собственного значения тензора [4, 5] имеет универсальный характер в обоих случаях.

Показано, что искажение симметрии распределения для малоинтенсивных пульсаций может быть связано с влиянием гауссовой крупномасштабной силы (или иного стохастического источника, поддерживающего стационарность потока), поскольку имеет ярко выраженный гауссов характер.

Работа поддержана грантом РФФИ 17-11-01271.

Список литературы

[1] E. Perlman, R. Burns, Y. Li, and C. Meneveau, «Data Exploration of Turbulence Simulations using a Database Cluster,» Supercomputing SC07, ACM, IEEE., 2007.

[2] Y. Li, E. Perlman, M. Wan, Y. Yang, R. Burns, C. Meneveau, R. Burns, S. Chen, A. Szalay & G. Eyink., «A public turbulence database cluster and applications to study Lagrangian evolution of velocity increments in turbulence,» Journal of Turbulence, т. 9, № 31, 2008.

[3] L. Shtilman, M. Spector и A. Tsinober, «On some kinematic versus dynamic properties of homogeneous turbulence,» J. Fluid Mech., т. 247, pp. 65-77, 1993.

[4] R. M. Kerr, «Histograms of helicity and strain in numerical turbulence,» Phys. Rev. Lett., т. 59, № 7, pp. 783-786, 1987.

[5] T. S. Lund и M. M. Rogers, «An improved measure of strain state probability in turbulent flows,» Phys. Fluids, т. 6, № 5, pp. 1839-1847, May 1994.

Короткевич А.О.

Влияние сильного длинноволнового фона на спектр обратного каскада гравитационных волн в экспериментальных установках

Рассмотрены результаты численного эксперимента по моделированию обратного каскада поверхностных гравитационных волн. Данный эксперимент проводился на дискретной сетке волновых векторов с применением спектрального кода. Дискретная сетка волновых векторов является характерной не только для численного эксперимента, но и для наблюдений в волновых бассейнах и других сильно ограниченных по размеру экспериментальных установках. Обнаружено отклонение наблюдаемого спектра обратного каскада от предсказаний волновой турбулентности. Наклон спектра приводит к предположению о существовании изменённого универсального спектра для волн обратного каскада. Предпринята попытка аналитического объяснения изменения формы спектра.

Левина Г.В.

Особенности генерации спиральности на разных стадиях формирования тропического циклона

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
E-mail: levina@iki.rssi.ru

На существенную роль, которую может играть анализ спиральности в атмосферных исследованиях, впервые, вероятно, было обращено внимание в работе Р. Хайда [1]. После появления публикаций Д. Лилли [2,3] и Р. Дэвис-Джонса с соавторами [4] были разработаны количественные критерии на базе расчета спиральных характеристик поля скорости для диагностики таких опасных атмосферных явлений в средних широтах как суперячейки и торнадо. В настоящее время соответствующие стандартные процедуры расчета введены во все современные численные модели атмосферы, например, Weather Research and Forecasting (WRF).

В тропических циклонах (ТЦ) исследования спиральных свойств движений были начаты сравнительно недавно. В [5,6] были проведены расчеты спиральности в развитых ураганах с помощью региональных моделей атмосферы, пространственное разрешение которых не позволило рассмотреть основные энергосодержащие масштабы кучевой облачности. В работах [7,8] при расчете спиральности были взяты данные глубокого тропосферного зондирования с помощью метеозондов, сброшенных с исследовательских самолетов для изучения восьми ТЦ сезонов 1998-2001 гг. во время широкомасштабной кампании CAMeX (Convection and Moisture Experiment), организованной NASA.

Облачно-разрешающему численному анализу процесса генерации спиральности в условиях формирования ТЦ положили начало работы автора данного сообщения, выполненные совместно с американскими коллегами и на основе американских атмосферных данных высокого пространственного разрешения. Развернутому обсуждению примененных в них подходов и полученных результатов был посвящен препринт [9]. Там же, в [9], было предложено, следуя работе [1], применить разбиение интегральной спиральности течения на два пространственных вклада – горизонтальную спиральность и вертикальную спиральность.

В настоящей работе представлены результаты облачно-разрешающего численного анализа, обнаружившего существенные различия в генерации спиральности на разных стадиях эволюции ТЦ. Можно ожидать, что недавно начатый нами аналогичный анализ, учитывающий все выводы и рекомендации данного исследования и использующий современные численные данные более высокого пространственного разрешения (горизонтального и вертикального), позволит различить и количественно диагностировать стадии зарождения и усиления в эволюции тропического циклона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ по проекту № 16-05-00551а.

Литература

1. Hide R. 1976. A note on helicity // Geophys. (& Astrophysical- after 1977) Fluid Dyn. Vol. 7. P. 157–161.
2. Lilly D. K. 1986. The structure, energetics, and propagation of rotating convective storms. Part II: Helicity and storm stabilization // J. Atmos. Sci. Vol. 43. P. 126–140.

3. Lilly D. K. 1990. Numerical prediction of thunderstorms ? Has its time come? // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* Vol. 116. P. 779-798.
4. Davies-Jones R. P., Burgess D., Foster M. 1990. Test of helicity as a tornado forecast parameter // In: *Preprints of the 16th Conference on Severe Local Storms*. Kananaskis Park, AB, Canada. *Amer. Meteor. Soc.* P. 588–592.
5. Xu Y., Wu R. 2003. The conservation of helicity in Hurricane Andrew (1992) and the formation of the spiral rainband // *Adv. Atmos. Sci.* Vol. 20. P. 940–950.
6. Han Y., Wu R., Fang J. 2006. Shearing wind helicity and thermal wind helicity // *Adv. Atmos. Sci.* Vol. 23. P. 504–512.
7. Molinari J., Vollaro D. 2008. Extreme helicity and intense convective towers in Hurricane Bonnie // *Mon. Weather. Rev.* Vol. 136. P. 4355–4372.
8. Molinari J., Vollaro D. 2010. Distribution of helicity, CAPE, and shear in tropical cyclones // *J. Atmos. Sci.* Vol. 67. P. 274–284.
9. Levina G.V. Helical organization of tropical cyclones: Preprint NI13001-TOD. Cambridge, UK: Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, 2013, 47 p.

ЛУШНИКОВ П.М.

Toward defeating diffraction and randomness for laser beam propagation in turbulent atmosphere

Department of Mathematics and Statistics, University of New Mexico, USA

The propagation in turbulent atmosphere at large distances results in the disintegration of laser beam into speckles. We find that the most intense speckle approximately preserves both the Gaussian shape and the diameter of the initial collimated beam while losing energy during propagation. The location of the most intense speckle experiences an accelerated random walk in the transverse plane. After propagating 7km through typical atmospheric conditions, approximately one in one thousand of atmospheric realizations produces an intense speckle with 20-30% of the initial power. Such optimal atmospheric realizations create an effective lens which focuses the intense speckle beyond the diffraction limit of the propagation in vacuum. Atmospheric realizations typically change every several milliseconds. We propose to use such intense speckles to greatly increase the average power delivered to the target plane by triggering the pulsed laser operations only at times of these optimal atmospheric realizations. The resulting power delivery at the intense speckles well exceeds the power delivery of both diffraction-limited beam and beam intensity averaged over typical atmospheric realizations.

**Оладышкин И.В., Бодров С.Б., Сергеев Ю.А.,
Корытин А.И., Токман М.Д., Степанов А.Н.**

***Генерация второй гармоники и оптическая люминесценция
графена в поле мощного ТГц импульса***

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В докладе представлены последние результаты теоретических и экспериментальных исследований по нелинейной электродинамике графена в полях субпикосекундных лазерных и терагерцовых импульсов. Показано, что воздействие на графен мощного ТГц излучения амплитудой более 100 кВ/см существенно деформирует исходную функцию распределения носителей и приводит к интенсивным межзонным переходам (рождению электронно-дырочных пар). Развита теоретическая модель нерезонансной ионизации графена ТГц полем позволяет количественно интерпретировать данные экспериментов по спонтанной оптической эмиссии графена под действием интенсивного ТГц импульса. Во второй части доклада приведены экспериментальные данные по генерации второй оптической гармоники в графене, помещённом в мощное ТГц поле, которое нарушает симметрию среды. Представлены результаты аналитической модели, выходящей за рамки стандартной теории возмущений.

Орлов А.В., Бражников М.Ю., Левченко А.А.

Формирование крупномасштабного когерентного вихря в двумерной турбулентности

Экспериментально исследована эволюция вихревого течения, возбуждаемого электромагнитным методом в тонком слое проводящей жидкости. Вследствие нелинейности мелкомасштабные вихри, возбуждаемые на масштабе накачки, сливаются и образуют крупномасштабные структуры - формируется обратный каскад энергии. Зависимость энергетического спектра в развитом обратном каскаде хорошо описывается законом Крайчнана $k^{-5/3}$. На крупных масштабах обратный каскад ограничивался размерами ячейки, и наблюдалось формирование крупномасштабного когерентного вихревого течения, занимающего почти всю площадь экспериментальной ячейки. Впервые установлен радиальный профиль азимутальной скорости когерентного вихря сразу после отключения накачки. В сердцевине вихря азимутальная скорость растёт линейно по радиусу и выходит на постоянное значение вне сердцевины, что хорошо согласуется с теоретическим предсказанием.

Полников В.Г.

Особенности численного решения кинетического уравнения для поверхностных гравитационных волн

ИФА им. А.М. Обухова РАН, г. Москва,

В широкой полосе частот (0.6-80 рад/с) и углов (0-360⁰) численно исследуются асимптотики одномерного нелинейного переноса на высоких частотах, для начальной и конечной стадии решения кинетического уравнения(КУ) без наличия источников и стоков. Рассматриваются случаи задания начальных двумерных спектров волн с законами спада -6 , -5 и -4 , и различными начальными функциями углового распределения. Используются алгоритмы расчета КИ и решения КУ по работам автора (ФАО, 1989, 1990) Установлено, что на масштабах эволюции от нескольких сотен начальных периодов волн и выше, устанавливаются автомодельные спектры с законом спада -4 . При этом асимптотики нелинейного переноса на частотах выше 3 частот пика отрицательны и спадают по такому же закону, а пик спектра мигрирует в низкочастотную область так что, угловые и частотные характеристики спектра остаются постоянными (автомодельность). Однако, эти характеристики зависят от вида начального спектра. Обсуждается связь полученных решений с моделью колмогоровских спектров Захарова (ДАН 1966).

Просвиряков Е.

Точные решения уравнений Навье-Стокса, описывающие нелинейные механизмы генерации противотечений

Институт машиноведения УрО РАН

В докладе представлены новые методы изучения противотечений при крупномасштабных течениях вязкой несжимаемой жидкости. Для этой цели предложены новые квазидвумерные уравнения, описывающие трехмерные сдвиговые течения. Характерная особенность модельных уравнений движения жидкости заключается в том, что они переопределенные, поскольку вертикальная скорость жидкости полагается равной нулю. Анализ систем уравнений Навье-Стокса, Обербека-Буссинеска, содержащих один или два параметра Кориолиса, позволяет построить класс точных решений, который пригоден для описания экваториальных противотечений. Интересной особенностью полученных решений является демонстрация механизма влияния неоднородного ветра на поверхность жидкости, заключающегося формирования противотечений и усилении скоростей при отсутствии Силы Кориолиса. Этот механизм приводит к образованию вертикальной закрутки и усилению волн в жидкости. Приводится сравнение распределения полей скоростей при использовании одного или двух параметров Кориолиса. Обсуждается дальнейшее расширение класса точных решений уравнений Навье-Стокса.

Рубан В.П.

Параметрическая неустойчивость колебаний вихревого кольца в z-периодическом бозе-конденсате и возврат к исходному состоянию

Рассмотрена в приближении локальной индукции динамика деформаций квантового вихревого кольца в бозе-конденсате с периодической равновесной плотностью $\rho(z) = 1 - \varepsilon \cos z$. Выявлены параметрические неустойчивости нормальных мод с азимутальными числами $\pm m$ при значениях интеграла энергии E вблизи величин $E_m^p = 2m\sqrt{m^2 - 1} / p$, где p – порядок резонанса. Численные эксперименты показали, что уже при $\varepsilon \approx 0.3$ возможен резкий рост амплитуды неустойчивых мод с $m = 2$, $p = 1$ до значений порядка единицы, за которым после нескольких больших колебаний следует быстрый возврат к слабо возмущенному состоянию. Подобное поведение соответствует интегрируемому гамильтониану вида

$$H \propto \sigma(E_2^{(1)} - E) (|b_+|^2 + |b_-|^2) - \varepsilon (b_+ b_- + b_+^* b_-^*) + u (|b_+|^4 + |b_-|^4) + w |b_+|^2 |b_-|^2$$

для двух комплексных огибающих $b_{\pm}(t)$. Проведено сравнение с параметрическими неустойчивостями вихревого кольца в конденсате с плотностью $\rho(z, r) = 1 - r^2 - \alpha z^2$, которые имеют место при $\alpha \approx 8/5$ и при $\alpha \approx 16/7$.

Письма в ЖЭТФ, том 106, вып. 4, с. 208 – 213 (2017).

Рылов Ю.А.

Скрытые динамические переменные в завихренном течении невязкой баротропой жидкости

В простейшем случае движение вязкой жидкости описывается уравнением Навье-Стокса. При уменьшении вязкости (при тех же скоростях) турбулентные явления возрастают, а член, описывающий вязкость в уравнении Навье-Стокса, уменьшается. В пределе вязкости, обращаясь в нуль, уравнение Навье-Стокса переходит в уравнение Эйлера, которое никак не связано с турбулентностью. Объяснение этого странного факта в том, что уравнение Эйлера содержит неизвестные динамические переменные, описывающие, по-видимому, турбулентные явления. Дело в том, что четыре уравнения Эйлера для плотности и скорости не могут быть получены из вариационного принципа. Они получаются из вариационного принципа только при добавлении условия Лина в виде стороннего условия. Это означает, что замкнутая система из четырех уравнений Эйлера для плотности и скорости не является полной системой динамических уравнений. Условие Лина является дополнительным динамическим уравнением только в случае потенциального течения. Для завихренного течения дополнительные динамические уравнения имеют более сложный вид.

Серых И.В., Сонечкин Д.М.

Нехаотические, глобально синхронные междугодовые вариации в климатической системе и их причины

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

По данным многолетних инструментальных метеорологических наблюдений и их ре-анализам междугодовые вариации глобальных приземных полей температуры воздуха и водной поверхности океанов, приземного давления и геопотенциала на разных уровнях в свободной атмосфере. Подтверждено существование найденной ранее в работах К. Тренберза и др. (1987) и В.И. Бышева и др. (2011) Глобальной Атмосферной Осцилляции (ГАО). Составной частью ГАО является давно известное Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК), но не только. Другие части ГАО включают в себя возникновение и разрушение обширной области аномалий одного и того же знака в низких широтах (от архипелага Индонезии, через Индийский океан и Африку до восточного побережья Южной Америки), а также симметрично расположенных относительно экватора антициклонов на востоке Канады и к западу от пролива Дрейка. Временные энергетические спектры различных индексов, характеризующих ГАО, найдены состоящими из примерно десятка пиков спектральной плотности. У спектров, рассчитанных для отображений этих индексов на годовом периоде, найден скейлинг, т.е. линейная зависимость между логарифмом мощности пика и логарифмом его порядкового номера. Согласно теории динамических систем, такой скейлинг свидетельствует о странной, но нехаотической природе (СНП) рассматриваемых вариаций. Сопоставление временных рядов индексов ГАО показало, что ЭНЮК и все внетропические процессы, составляющие ГАО, варьируют синхронно во времени. Подобная синхронизация хорошо известна в теории динамических систем для совокупностей взаимодействующих нелинейных осцилляторов. В случае ГАО, синхронизация вынуждается воздействием на климатическую систему нескольких (хотя и очень слабых в энергетическом смысле) периодических внешних сил, чьи периоды несоизмеримы между собой и с годовым периодом. Периоды, на которых видны пики в спектрах индексов ГАО, указывают, что этими дополнительными внешними периодичностями являются: чандлеровское колебание полюсов Земли (основной период ~1.2 года), лунно-солнечная нутация (период ~18.6 года) и цикл солнечной активности (период ~11.0 лет). СНП-вариации, в принципе, не имеют предела предсказуемости. Это открывает совершенно новую перспективу для предсказаний дальнейшей эволюции климатической системы.

Сибгатуллин И.Н., Ерманюк Е.В., Маас Л., Сюй С., Доксуа Т.

Волновые аттракторы во вращающихся системах

И.Н. Сибгатуллин, МГУ им. М.В. Ломоносова, ИО РАН
Е.В. Ерманюк, Институт гидродинамики Лавреньева РАН
Leo Maas, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands
Сюй Сюлинь, МГУ им. М.В. Ломоносова, ИО РАН
Thierry Dauxois, Ecole Normale Supérieure de Lyon

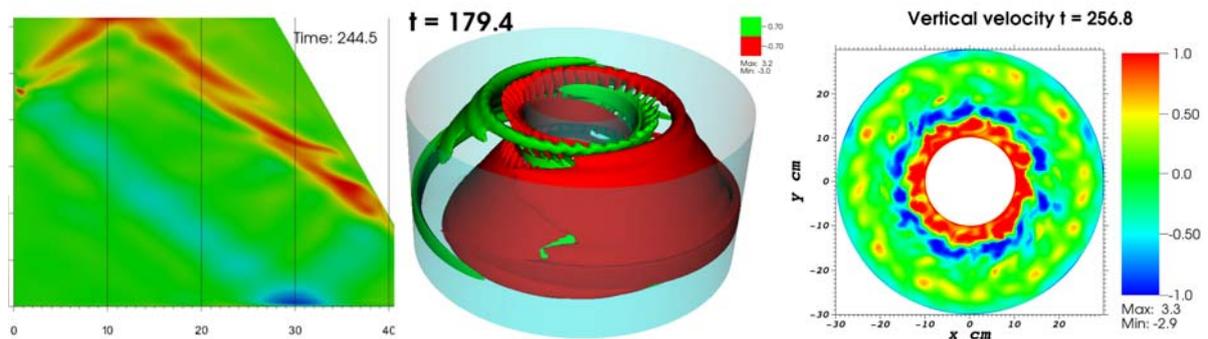
Геофизика и астрофизика изобилуют примерами стратифицированных сред и вращающихся объёмов жидкости. При наличии источника возмущений, например приливных сил, в таких средах начинают распространяться волны — в первом случае внутренние, возникающие из-за плавучести, во втором случае инерционные, возникающие из-за воздействия силы Кориолиса. Общим для внутренних и инерционных волн является особое дисперсионное соотношение, которое для фиксированной частоты определяет лишь направление волны по отношению к выделенному направлению: вектору силы гравитации, либо к вектору вращения системы. Такое дисперсионное соотношение определяет правила бильярда при отражении пучка волн от твёрдой поверхности. Лео Маас впервые обнаружил, что в замкнутых геометриях при наличии монохроматического источника могут возникнуть геометрические области, к которым сходятся все пучки волн. Трассировка лучей, или игра в бильярд по новым правилам, показала доминирование фокусировки в замкнутых объёмах при наличии наклонных границ, а также то, что существование аттракторов является общим положением, а не исключением. В лабораторных экспериментах волновые аттракторы имеют конечную толщину за счёт наличия вязкости.

Наличие аттракторов означает большую концентрацию энергии и соответственно большую амплитуду волн вдоль определённых путей. Волны большой амплитуды могут порождать дочерние волны, имеющие другие частоты и масштабы. Также они могут опрокидываться при наличии большой локальной завихренности. В результате из ламинарного аттрактора со стационарными волновыми характеристиками (постоянными значениями амплитуды и волновых векторов) с ростом амплитуды внешнего воздействия развивается волновая турбулентность. Мы изучили механизмы разрушения аттракторов большой амплитуды и установили, что имеет место каскад триадных взаимодействий: дочерние волны в свою очередь накапливают энергию и становятся неустойчивыми. При этом на турбулентном фоне продолжает существовать общая структура волнового аттрактора с большой концентрацией энергии. Также мы изучили возможность генерации волновых аттракторов сильно локализованными волнопродукторами, что имеет большое значение для океанологических приложений. Неожиданным результатом является генерация почти двумерных аттракторов волнопродукторами, имеющими на порядок меньший масштаб, чем линейный масштаб области.

Самым ярким результатом последнего времени является описание геометрии волновых аттракторов, возникающих во вращающихся слоях под действием различных внешних воздействий: приливных или симметричных. Даже в при малой амплитуде возмущающего воздействия (т.е. в линейном режиме) аттрактор оказался существенно трёхмерным, имеющим «перекрученную» в азимутальном направлении структуру. Волновые резонансы в таком аттракторе сильнее всего проявляются при рассмотрении азимутальной структуры течений, порождая мелкомасштабные волны, бегущие как в направлении фонового твердотельного вращения жидкости, так и в противоположном направлении.

Проведённые исследования имеют фундаментальное значение для понимания механизмов перемешивания и спектра внутренних волн океана, объяснения внутренней

динамики вращающихся астрофизических объектов, возможны приложения к другим анизотропным средам.



Публикации

C. Brouzet, I. N. Sibgatullin, E. V. Ermanyuk, S. Joubaud, and T. Dauxois. Scale effects in internal wave attractors. *Phys. Rev. Fluids*, 2(11):114803, 2017.

Damping of quasi-2d internal wave attractors by rigid-wall friction / Internal wave attractors examined using laboratory experiments and 3d numerical simulations / C. Brouzet, I. Sibgatullin, H. Scolan et al. // *Journal of Fluid Mechanics*. 2016. Vol. 793. P. 109–131.

F. Beckebanze, C. Brouzet, I. N. Sibgatullin, L. R. Maas // *Journal of Fluid Mechanics*. 2017. Vol. 833. P. 080092017 (в печати, доступна по адресу <https://arxiv.org/abs/1707.>)

T. Dauxois, C. Brouzet, E. Ermanyuk, S. Joubaud, D. Le Tourneau, and I. Sibgatullin. Energy cascade in internal wave attractors. *Procedia IUTAM*, 20:120–127, 2017

C. Brouzet, S. Joubaud, E. Ermanyuk, I. Sibgatullin, and T. Dauxois. Energy cascade in internal-wave attractors. *Europhysics Letters*, 113:44001–p1–44001–p6, 2016.

Синкевич О.А., Борцова А.А.

Связь между формой воронки торнадо и характеристиками двухфазного течения в ней

*Национальный исследовательский университет (МЭИ), Россия
oleg.sinkevich@itf.mpei.ac.ru*

Используя результаты работ [1-3] и данные наблюдений характеристик сформировавшихся торнадо, исследуются связи между формой воронки торнадо и характеристиками квазистационарного течения (доля водяных паров, интенсивность течения, масса вовлеченного воздуха, размеры воронки и скорость вращения воздуха) влажного воздуха в воронке. В рамках модели, сформулированной ранее в работе [3], уточняются механизмы тепло-массопереноса внутри воронки торнадо, позволяющий получить аналитическое решение задачи о течении влажного воздуха внутри воронки торнадо. Используя эти результаты, удастся найти связь между формой воронки торнадо, скоростью ее вращения и изменением влажности воздуха. Полученные соотношения позволяют сопоставить данные наблюдений о динамике формы воронки с характеристиками течения внутри торнадо и дают возможность выделить те критические атмосферные условия, при которых возможно возникновение и квази-стационарное существование воронки торнадо.

Для полного описания рассматриваемых явлений необходимо привлекать численные расчеты с использованием мощных. Однако даже для проведения численных решений полезно иметь некоторые тестовые решения.

Синкевич О.А.. Модель течения в воронке торнадо с учетом фазовых превращений. Теплофизика высоких температур, 1996, Т. 34, No 6, С.936-941. Model of Flow in the Tornado Funnel Including Phase Transitions. High Temperature, 1996, Vol. 34, No 6, pp.922 - 927.

Sinkevich O.A., Glazkov V.V., Smirnov E.P. Multiphase energy and mass transfer in atmosphere and mechanism of tornado formation. Heat Transfer Research, 1996, Vol.27, No 1, P.190-194.

Sinkevich O.A., Bortsova A.A. Two-phase flows in the formed tornado funnel J. Phys.: Conf. Ser. 891 011001.2017. V. 897. Conf. 012027.). <http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/891/1>

Слюняев А.В.

О нелинейных резонансах между волнами и группами на глубокой воде

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

The dynamics of coherent nonlinear wave groups is shown to be drastically different from the classical scenario of weakly nonlinear wave interactions. The coherent groups generate non-resonant (bound) waves which can be synchronized with other linear waves. By virtue of the revealed mechanism the groups may emit waves with similar or different lengths, which propagate in the same or opposite direction.

Солнцев А.

Нелинейная динамика фотонов в квантовой оптике

Старший преподаватель
Технологический университет Сиднея

В последние годы все больше внимания уделяется разработке приложений квантовой оптики, таких, как квантовая криптография, квантовые вычисления, квантовая метрология и др. В первую очередь такое внимание связано с широким спектром открывающихся возможностей - передачей секретной информации, сверхбыстрыми алгоритмами вычислений и многократным повышением точности разнообразных измерений. Так, например, передача секретной информации, основанная на квантовой криптографии, уже внедряется банками и крупными коммерческими структурами. Все вышеперечисленные приложения основаны на квантовой механике, а большинство из них имеют непосредственное отношение к квантовой оптике, где переносчиком информации являются отдельные фотоны либо группы перепутанных фотонов. Основным источником перепутанных фотонов для квантовой оптики - нелинейные процессы трех- или четырех-волнового смешения. В данном докладе будут представлены последние достижения в области нелинейной генерации перепутанных фотонов, а также рассмотрена нелинейная динамика взаимодействия генерируемых фотонов с лазерной накачкой и разнообразными нелинейно-оптическими интегральными элементами.

Сонечкин Д.М.

Постановка задачи о внутреннем согласовании атмосферы и океана в «быстром» и «медленном» времени

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Теплоемкость верхнего слоя сезонного термоклина океана примерно в 70 раз превосходит теплоемкость всей толщи атмосферы. Если принять за характерное время развития синоптических процессов в атмосфере одну неделю, то за характерное время верхнего океана надо принять год - полтора. Из этого следует, что при составлении среднесрочных прогнозов погоды изменениями состояния океана можно пренебречь. Однако, если рассматривать всю толщу океана, то ее теплоемкость больше атмосферной на три порядка, так что характерное время развития океанических процессов, являющихся элементами океанского конвейера, надо принять примерно двадцать лет. Имея это в виду, в системе уравнений, описывающих взаимодействие Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции (АМОЦ), являющейся составной частью конвейера, с атмосферными процессами, развивающимися над Северной Атлантикой, можно ввести малый параметр ($\sim 1/1000$). В соответствии с этим малым параметром, океан будет однозначно приспособливаться к атмосфере в «быстром» времени. В свою очередь, атмосфера будет приспособливаться к океану в «медленном» времени. Однако, это приспособление не будет однозначным из-за нелинейности океанических процессов. Грубо говоря, при теплеющем океане атмосфера может не только теплеть, но и холодеть. То или другое реализуется в зависимости от начального состояния климатической системы. В «промежуточном» диапазоне временных масштабов атмосфера и океан будут равноправными «игроками», в более или менее равной степени подверженными влиянию внешних сил. Это подтверждается многомасштабным (основанным на вейвлетах) анализом ряда Северо-Атлантического многодекадного колебания (САМК) как отражения АМОЦ. Найдено, что междугодовые колебания САМК за последние примерно 70 лет слагались колебаниями всего трех временных масштабов: 2-4 года, 7-10 лет и примерно 20 лет. Это – те же самые масштабы, которые были характерны в рассматриваемое время для колебаний средней глобальной приземной температуры воздуха (ГПТВ). Более того, фазы колебаний САМК и ГПТВ совпадали в это время, т.е. имела место фазовая синхронизация атмосферных и океанических колебаний. Полученный результат ставит под сомнение широко распространенную спеуляцию, что в теплеющем климате произойдет ослабление АМОЦ, что, в свою очередь, приведет к похолоданию (а не потеплению климата Европы).

Хатунцева О.Н.

О возможной неединственности плотности вероятности реализации случайной величины в стохастических процессах

*ПАО «РКК «Энергия», МФТИ
ol-khatun@yandex.ru*

Рассмотрены вопросы, связанные с возможной неединственностью плотности вероятности реализации случайной величины в стохастических процессах. Показано, что метод описания стохастических процессов для систем, не имеющих выделенных состояний равновесия, позволяет находить различные плотности вероятности стохастического процесса, которые в определенном диапазоне случайных величин сами могут реализовываться случайным образом.

В предельном случае описания стохастических систем: когда небольшое изменение реализованного значения приводит к значительным изменениям плотности вероятности реализации случайной величины, построена замкнутая система дифференциальных уравнений, описывающих эволюцию траекторий исследуемого процесса в фазовом стохастическом пространстве.

С помощью анализа размерности фазового пространства удастся определить устойчивые и неустойчивые ветви решения для плотности вероятности в тех областях реализации случайной величины, где может реализовываться единственное решение.

Чаликов Д.В.

Численное моделирование развития волн под действием ветра на основе полных трёхмерных уравнений

Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. Ширшова

e-mail: dmitry-chalikov@yandex.ru

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,
University of Melbourne, Victoria 3010, Australia

Развитие волн под действием ветра является трудно воспроизводимым процессом, поскольку поверхностные волны исключительно консервативны и изменяют свою энергию лишь за сотни и тысячи периодов. По этой причине наиболее популярно направление спектрального моделирования, в котором волны, как физические объекты, отсутствуют, и вместо этого воспроизводится эволюция спектрального состава волновой энергии под действием притоков и стоков энергии, описание которых не следует непосредственно из постановки задачи, а скорее из других разделов теории волн, где объектом исследования являются сами волны.

Прямое численное моделирование, нацеленное на воспроизведение собственно волнового процесса, не может конкурировать с спектральными моделями, поскольку доступный размер области составляет всего несколько километров. Такая область включает всего порядка десятков тысяч крупных волн. Тем не менее, прямое моделирование волн играет всё большую роль в геофизической гидродинамике, поскольку оно позволяет исследовать процессы, принципиально недоступные спектральным моделям. Модель прямого моделирования волн является идеальным инструментом для разработки методов параметризации физических процессов, включаемых в спектральные прогностические волновые модели.

До недавнего времени прямое моделирование использовалось для воспроизведения квазистационарного волнового режима, при котором не происходит существенного изменения волнового спектра.

Впервые в истории геофизической гидродинамики проведено трёхмерное численное моделирование развития поверхностных волн под действием ветра. Модель основана на уравнениях потенциального движения жидкости со свободной поверхностью, преобразованных в криволинейную систему координат, где высота отсчитывается от движущейся поверхности. Задача решается в дважды периодической области Фурье-методом с расчётом нелинейности на сетке высокого разрешения (Fourier Transform Method). Трёхмерное эллиптическое уравнение для потенциала скорости решается как уравнение Пуассона методом прогонки с итерациями. Приток энергии от ветра и диссипация волновой энергии введены на основе созданных ранее и проверенных алгоритмов. Долгопериодная эволюция трёхмерного потока показана на примере эволюции различных интегральных характеристик, спектров волновой поверхности, а также спектров притоков и стоков энергии. Результаты сравниваются с доступными экспериментальными данными.

Чефранов С.Г., Чефранов А.С.

Точное решение вихревого 3D уравнения Эйлера для течения сжимаемой среды и одна из математических проблем тысячелетия

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

¹⁾ schefranov@mail.ru ²⁾ a.chef@bk.ru

Получено общее точное решение задачи Коши для вихревого 3D уравнения Эйлера в неограниченном пространстве при учете сжимаемости среды. Это решение совпадает с решением 3D уравнения Хопфа и соответствует движению частиц среды по инерции. Для него установлено замкнутое описание эволюции энтропии и всех более высоких моментов поля вихря, давая точное решение проблем замыкания и перемежаемости в теории турбулентности. Получено всегда гладкое решение 3D уравнения Навье-Стокса для вязкой сжимаемой среды при учете эффективной вязкости и представления для поля давления, следующего из уравнения баланса интегральной энтропии, а не из уравнения состояния среды. Это дает положительное решение проблемы тысячелетия (www.claymath.org) именно при ее обобщении на случай уравнения Навье-Стокса для сжимаемой среды, для которого ранее априори предполагалось отсутствие гладких решений на конечном интервале времени.

Шевченко И.И.

Эффекты хаотической стратификации маломассивной составляющей в планетных системах

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Рассмотрены основные типы эффектов хаотической стратификации маломассивной составляющей в планетных системах – эффектов хаотического «клиренса» (chaotic clearance), заключающихся в образовании орбитальных зон, расчищенных и свободных от маломассивных тел из-за их динамической хаотизации в присутствии возмущений. К данным эффектам относятся: (1) коорбитальный клиренс – кольцевой просвет в планетезимальном диске, возникающий благодаря аккумуляции и перекрытию орбитальных резонансов (резонансов средних движений) первого порядка в окрестности планетной орбиты; (2) циркумбинарный клиренс – расчищенная круговая зона в планетезимальном диске вокруг двойной звезды, возникающая благодаря перекрытию целых орбитальных резонансов, аккумулирующих к сепаратрисе, отвечающей параболическому движению; (3) циркум-ядерный клиренс – расчищенная круговая зона вокруг вращающихся тел неправильной формы (контактных двойных, таких, как ядра комет, многие объекты в поясе Койпера и астероиды). Особое внимание уделено последнему случаю, как выявленному совсем недавно.

Шургалина Е.Г.

Определение роли «толстых» солитонов в солитонной турбулентности в уравнениях КдВ-типа

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Настоящая работа посвящена исследованию солитонной турбулентности в интегрируемых уравнениях типа Кортевега – де Вриза (КдВ). Теоретическая модель основана на расширенном уравнении Кортевега – де Вриза (уравнении Гарднера), где учитываются и квадратичная и кубическая нелинейности. Рассмотрен случай отрицательной кубической нелинейности, когда так называемые толстые солитоны могут играть значительную роль. Даны аналитические оценки вклада толстого солитона в статистические моменты (среднее, дисперсия, асимметрия, эксцесс). Произведено сравнение динамики солитонного газа в рамках уравнения Гарднера с КдВ моделью (когда отсутствует кубическая нелинейность). Основное внимание сфокусировано на высших статистических моментах. Представлено влияние толстых солитонов на асимметрию и эксцесс волновых полей. Проанализированы экстремумы волновых полей и функции распределения амплитуд волн. Показано, что динамика солитонов в рамках уравнения Гарднера качественно схожа с КдВ-моделью, однако, присутствует количественное различие.

Agafontsev D., Randoux S., Tikan A., Koussaifi R.E., Suret P.

Universal characteristics of the statistically steady state of the integrable turbulence developing from partially incoherent wave initial conditions

We study integrable turbulence developing from random phase initial fields in the framework of the one-dimensional focusing Nonlinear Schrodinger (NLS) equation. We show that, in the statistically steady state, the values of the kinetic and potential energies, and also of the kurtosis, are determined only by the initial potential-to-kinetic energy ratio, and do not depend on the initial wave-action spectrum. For initial fields with very large nonlinearity, we show that there exists a limiting PDF of wave amplitude, which is characterized by pronounced heavy-tail and corresponds to the value of the kurtosis equal to 4. Under certain assumptions, the shape of this PDF can be derived analytically.

Batalov S.V., Shagalov A.G., Friedland L.

Autoresonant excitation of Bose-Einstein condensates

S.V. Batalov and A.G. Shagalov

Institute of Metal Physics, Ekaterinburg 620990, Russian Federation, svbatalov@imp.uran.ru

L. Friedland

Racah Institute of Physics, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem 91904, Israel

We have studied the effect of the particles interaction on the excitation of Bose-Einstein condensate in a one-dimensional anharmonic trap under chirped-frequency perturbation. We have identified three dimensionless parameters $P_{1,2,3}$ characterizing the driving strength, the anharmonicity of the trapping potential and the strength of the particles interaction. As the driving frequency passes the linear resonance in the problem, and depending on the location in the $P_{1,2,3}$ parameter space, the system may exhibit two very different evolutions, i.e. the quantum energy ladder climbing (LC) and the classical autoresonance (AR). The transition thresholds to the semiclassical AR in the $P_{1,2}$ parameter space is independent of the nonlinearity parameter P_3 . In contrast, the LC transition thresholds is significantly affected by the strength of the interaction of the particles, because the underlying nonlinear Landau-Zener (LZ) transitions behave differently than their linear counterpart. Different driving protocols are also illustrated numerically, showing efficient control of excitation and de-excitation of the condensate.

In the limit of strong interaction, the nonlinear LZ transition probability as a function of the driving strength parameter P_1 approaches the Heaviside step function due to the nonlinear phase-locking. We have also found that in both the quantum and the semiclassical regimes the width ΔP_1 of the transition decreases as the strength of the interaction increases. In the quantum limit this effect is related to the autoresonance of the nonlinear LZ transitions, while in the semiclassical limit, the effect is due to the wave packet stability enhancement by avoiding parametric resonance between the center-of-mass motion and the internal dynamics of the condensate.

Possible applications of the results of this paper may include a control of the quantum state of BECs and the implementation of precision detectors based on either the LC or the AR. Unlike the noninteracting case, the resolution of such a detector is not limited by quantum fluctuations if the particles interaction is strong enough.

[1] I. Barth, L. Friedland, O. Gat, and A. G. Shagalov, Phys. Rev. A, 84, 013837 (2011).

[2] S.V. Batalov, A.G. Shagalov, L.Friedland, arXiv:1711.05020v1, Phys. Rev. E, submitted (2017).

Bogdanov L.V.

Matrix extensions of multidimensional dispersionless integrable systems and SDYM equations on the self-dual background

L.D. Landau Institute for Theoretical Physics

We present the scheme of matrix integrable extension of multidimensional dispersionless integrable systems, leading to matrix equations on the (geometric) background defined by dispersionless systems. SDYM equations on the self-dual background are considered as an important illustrative example.

**Savin S., Wang C., Li H., Tang B., Skalsky A., Legen L.,
Kozak L., Blecki J.**

Outer magnetospheric resonances in experiment and MHD model

IKI RAS, Russia, ssavin@iki.rssi.ru

We compare the dynamic pressure measured on 27.03.2005 on satellites Double Star, Cluster-4 and Geotail with the MHD model from Space Weather Center CAS. Cluster-4 crossed the high- latitude magnetosheath (MSH) from the upstream foreshock. Double Star and Geotail monitored the low- latitude MSH. All spacecraft (s/c) registered in MSH the plasma jets with the dynamic pressure being often larger than that in solar wind (SW). The appearance of the jets is modulated by the outer magnetospheric resonances at 0.07-10 mHz.

The model dynamic pressure in average follows well to the real one, excluding the Cluster-4 data over polar cusp. But it does not reproduce the plasma jets, probably, due to the kinetic effects substantial affect on the production and dynamics of the jets. As we know, it is outlined for the first time. The modulated jets provide the general power of the resonance waves. Despite of the jet absence, the model resonances are also seen in MSH. While the real/ model resonant frequencies slightly differ in the band of 0.07-3 mHz, the powers and cross-correlation character of the resonances are similar. So that the resonance qualitative characteristics can be further studied using the MHD model. Especially taking into account that the model displays surface waves running along the bow shock and magnetopause, providing the unique information on their frequency and wavelengths.

The model does not reproduce the real resonances at 3-10 mHz, including foreshock. We think that it is due to rising of the role of kinetic effects in the generation of the outer magnetospheric resonances.

Both the real and model cross-correlations in the chosen frequency bands (up to 96%) show that resonances in foreshock could control the MSH disturbances, (which follow the foreshock ones. Simultaneously, in different frequency bands a backlink exist (with correlation up to 87%), when disturbances first appear in MSH and then propagate into foreshock. It is supported by the sunward Poynting flux registered on Cluster-4 both in MSH (along with Double Star) and in foreshock. It is the case when the resonances begin to be excited at the bow shock and/ or in MSH. Then the foreshock is activated by the sunward Poynting flux, the foreshock being included into the total resonance pattern from MSH till ionosphere and near geotail.

The real resonances display both positive and negative correlation from different sides of the bow shock. The positive sign correlations are the characteristic ones everywhere. The real and model time lags are often close to the periods of the outer magnetospheric resonances. It supports the creation of the unique resonance pattern throughout the foreshock/ MSH/ ionosphere/ geotail.

The work is supported by ISSi (Team Savin/ Wang) and OFN15 RAS.