

## XXIX Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике

Сессия проходит в онлайн формате при технической поддержке  
Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
14-15 декабря 2020 г.

# КРАТКИЕ АННОТАЦИИ ВЫСТУПЛЕНИЙ

Алексеева Е.С., Рассадин А.Э. ....	4
О движении заряженной частицы в потенциале Морзе с учётом лоренцевых сил трения .....	4
Балакин А.А., Скобелев С.А. ....	5
Самокомпрессия лазерных импульсов при рамановском усилении шумов плазмы.....	5
Балакин А.А., Скобелев С.А., Литвак А.Г. ....	6
Когерентное усиление лазерных пучков в прямоугольном массиве слабосвязанных световодов.....	6
Бибилова С.А., Губарев Ю.Г. ....	7
Двухпоточковая неустойчивость одного класса сферически симметричных состояний динамического равновесия плазмы Власова-Пуассона.....	7
Бурмашева Н.В., Просвиряков Е.Ю. ....	8
Неоднородные течения жидкости в задачах геофизической гидродинамики .....	8
Вакуленко Н.В., Володин Е.М., Сонечкин Д.М. ....	9
Особенности синхронизации полушарных вариаций температуры в масштабах десятилетий по данным инструментальных наблюдений и данным климатической модели ИВМ РАН .....	9
Вергелес С. ....	10
Неустойчивость кинематической стадии динамо в турбулентном потоке быстро вращающейся жидкости .....	10
Веретеннов Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В. ....	11
Эффект несохранения топологического заряда в коаксиальном лазере.....	11
Габитов И., Гибни Дж., Кук И. ....	12
Нелинейность в когерентных системах связи: возвращение забытой проблемы.....	12
Гелаш А.А. ....	13
Нелинейный спектральный синтез солитонного газа.....	13
Гриневич П.Г., Сантини П.М. ....	14
Неустойчивые моды линеаризации НУШ вблизи бризера Ахмедиева .....	14
Доброхотов С.Ю., Калинин В.А., Миненков Д.С., Назайкинский В.Е. ....	15

Длинные нелинейные стоячие волны в протяженном бассейне с пологими берегами: теория и эксперимент.....	15
Дремов С.В., Качулин Д.И., Дьяченко А.И. ....	16
Исследование связанных когерентных структур, возникающих на свободной поверхности глубокой воды.....	16
Дрюма В.С.....	17
Геометрический подход к изучению течений несжимаемой вязкой жидкости.....	17
Ефимов В.Б., Межов-Деглин Л.П. ....	18
Распространение волн второго звука в среде с наночастицами .....	18
Жукова Е.И. ....	19
Исследование процессов ускорения и переноса частиц космической плазмы в нелинейных магнитоплазменных системах.....	19
Зубарев Н.М., Зубарева О.В., Кочурин Е.А. ....	20
Взаимодействие и опрокидывание волн на свободной поверхности идеальной диэлектрической жидкости в горизонтальном электрическом поле .....	20
Зыбин К.П., Ильин А.С., Копьев А.В., Сирота В.А. ....	21
О влиянии флуктуаций магнитного поля на турбулентные пульсации скорости .....	21
Ингель Л.Х. ....	22
Оценка амплитуды нелинейной «антиконвекции».....	22
Камалетдинов С.Р., Васько И.Ю., Юшков Е.В., Артемьев А.В. ....	24
Нелинейные электростатические волны на головной ударной волне .....	24
Камчатнов А.М. ....	25
Опτικο-механическая аналогия и число солитонов, порождаемых нелинейным импульсом.....	25
Клиньшов В.В., Шапин Д.С., Отти Д'Ас.....	26
Переключение мод в колебательных системах со стохастическими задержками.....	26
Конторович В.М. ....	27
Серповидное «горячее» пятно как возможный результат комбинационного рассеяния при отражении от поверхности пульсара .....	27
Кузнецов Е.А., Михайлов Е.А.....	28
Формирование магнитных филаментов в конвективной зоне Солнца.....	28
Левина Г.В. ....	29
Турбулентное вихревое динамо в тропической атмосфере: диагностика зарождения урагана Isaias (2020).....	29
Маслов Е.М., Кутвицкий В.А.....	30
Отклонение светового луча, проходящего через осциллирующее гало тёмной материи.....	30
Орлов А.В.....	31
Экспериментальные исследования размерных эффектов квазидвумерной турбулентности.....	31
Пелиновский Д.Е., Кокорина А.В., Слюняев А.В., Пелиновский Е.Н.....	32
Динамика компактонов в сублинейном уравнении Кортевега – де Вриза.....	32
Пелиновский Е.Н., Куркин А.А., Куркина О.Е., Кокоулина М.В., Епифанова А.С.....	33
Анализ динамики распространения коронавируса с помощью нелинейных логистических моделей.....	33
Переслегин С.В., Левченко Д.Г., Карпов И.О. ....	34
Вибрационная волна на поверхности воды: параметрическое возбуждение и радиолокационное наблюдение .....	34
Потапов А.А.....	35

Фрактально-скейлинговые методы в задачах мониторинга: окружающая среда, общество, финансы и COVID'19 .....	35
Пушкарев А. ....	37
Лазеро-подобная генерация океанских волн а проливах с отражающими берегами ..	37
Рубан В.П. ....	38
Вихревые структуры на массивах связанных слабодиссипативных нелинейных осцилляторов .....	38
Серых И.В. ....	39
Синхронные междугодовые колебания в глобальной климатической системе и долгосрочный прогноз Эль-Ниньо и Ла-Нинья .....	39
Смолина Е.О., Смирнов Л.А., Смирнова Д.А. ....	40
Нелинейная динамика импульсных сигналов, распространяющихся вдоль топологических доменных стенок .....	40
Талипова Т.Г., Диденкулова Е.Г., Пелиновский Е.Н. ....	41
Статистические характеристики ансамбля солитонов внутренних волн .....	41
Хатунцева О.Н. ....	42
О влиянии фракталоподобного распределения вещества во Вселенной на динамику ее объектов .....	42
Шустов П., Кузичев И. Васько И. Артемьев А. ....	43
Динамика электронных дыр в токовом слое хвоста магнитосферы Земли .....	43
Agafontsev D.S., Gelash A.A. ....	44
Rogue waves with rational profiles in unstable condensate and its solitonic model .....	44
Chefranov S.G., Chefranov A.S. ....	45
Turbulence with pressure .....	45
Lushnikov P.M., Silantyev D.A., Siegel M. ....	46
Collapse vs. blow up in vortex stretching by the generalized Constantin-Lax-Majda equation .....	46
Mokhov I.I., Chefranov S.G., Chefranov A.G. ....	47
Point vortices dynamics on a rotating sphere and modeling of global atmospheric vortices interaction .....	47
Savin S., Popov V., Budaev V., Pallocchia G., Koepe M. ....	48
Alfa- particles preferential heating versus protons by ion-sound and Alfvén nonlinear waves and cascades .....	48

**Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.**

**О движении заряженной частицы в потенциале Морзе с учётом лоренцевых сил трения**

**Е.С. Алексеева**

Нижегородское математическое общество, Нижний Новгород, Россия

E-mail: [kometarella@mail.ru](mailto:kometarella@mail.ru)

**А.Э. Рассадин**

Высшая школа экономики, Нижний Новгород, Россия

E-mail: [brat\\_ras@list.ru](mailto:brat_ras@list.ru)

В работе построено асимптотическое решение нелинейного уравнения:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \exp(-x) - 2 \cdot \exp(-2x) = \gamma \cdot \ddot{x}, \quad 0 < \gamma \ll 1, \quad (1)$$

описывающего одномерное движение заряженной частицы в потенциале Морзе [1] с учётом торможения её электромагнитным излучением, причём малый параметр  $\gamma$  имеет смысл безразмерного квадрата заряда этой частицы.

Это решение уравнения (1) имеет вид:

$$x_{as}(t) = \ln \left[ \frac{1 - \sqrt{1 + H(I(t))} \cdot \cos \theta(t)}{-H(I(t))} \right], \quad (2)$$

где  $H(I) = -(\sqrt{2} - I)^2 / 2$  — функции Гамильтона невозмущённой системы.

Для получения явных зависимостей от времени переменных действия  $I(t)$  и угловой переменной  $\theta(t)$ , входящих в (2), использовался как тот факт, что средние потери энергии системой за период невозмущённого движения должны совпадать с энергией дипольного излучения, так и результаты работы [2].

Этот доклад представляет собой предварительное исследование, необходимое для построения полуклассической теории излучения двухатомных молекул.

1. *Morse P.M.* Diatomic molecules according to the wave mechanics. II. Vibrational levels // *Physical Review*. 1929. V. 34. No. 27, pp. 57-64.

2. *Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.* Длина фазовой траектории и коэффициенты нелинейных искажений наблюдаемых для классической частицы в потенциале Морзе // Сборник материалов международной конференции КРОМШ-2019. — Симферополь: ПОЛИПРИНТ, 2019. С. 90-92.

**Балакин А.А., Скобелев С.А.**

***Самокомпрессия лазерных импульсов при рамановском усилении шумов плазмы***

Предложен метод самокомпрессии лазерного импульса в процессе шумового рамановского рассеяния в плазме, создаваемой встречно распространяющимся ионизированным импульсом. Резкость фронта ионизации обеспечивает формирование импульса близкого к  $\pi$ -импульсному решению с резким передним фронтом. Зависимость инкремента усиления от поперечного волнового числа приводит к формированию гладкого фазового фронта выходного импульса. Энергетическая эффективность в переднем импульсе достигает 28% от полной энергии накачки. Исследование влияния квазистатических неоднородностей показало лишь незначительное замедление процесса даже в плазме с 8% модуляцией плотности.

**Балакин А.А., Скобелев С.А., Литвак А.Г.**

***Когерентное усиление лазерных пучков в прямоугольном массиве слабосвязанных световодов***

Исследовано когерентное распространение и усиление мощного лазерного излучения в многоядерном волокне из прямоугольного массива слабосвязанных ядер. Найдены точные устойчивые аналитические решения для противофазной моды, описывающей когерентное распространение волновых пучков в таких волокнах. Аналитические результаты подтверждены прямым численным моделированием волнового уравнения. Найдены условия устойчивости противофазной моды в активной среде. Численно продемонстрирована возможность транспортировки более 300 МВт мощности в кварцевом волокне из 11x11 ядер.

**Бибилова С.А., Губарев Ю.Г.**

***Двухпоточковая неустойчивость одного класса сферически симметричных состояний динамического равновесия плазмы Власова-Пуассона***

*С.А. Бибилова (НГУ), Ю.Г. Губарев (ИГиЛ СО РАН, НГУ)*

Аннотация краткого сообщения. Изучается задача линейной устойчивости подкласса сферически симметричных состояний динамического равновесия безграничной бесстолкновительной электронейтральной плазмы в электростатическом приближении – плазмы Власова-Пуассона, вмещающей в себя электроны и один сорт ионов со стационарными функциями распределения, которые изотропны по физическому пространству, но переменны по скоростному континууму. Прямым методом Ляпунова доказана абсолютная неустойчивость этих состояний равновесия относительно сферически симметричных же малых возмущений. Получены конструктивные достаточные условия линейной практической неустойчивости. Построена априорная экспоненциальная оценка снизу и описаны начальные данные для нарастающих во времени малых сферически симметричных возмущений. Обращено достаточное условие линейной устойчивости Ньюкомба-Гарднера-Розенблюта, выявлен его формальный характер. Сконструированы аналитические контрпримеры к спектральным теореме Ньюкомба-Гарднера и критерию Пенроуза. Установленные результаты полностью согласуются с теоремой Ирншоу о неустойчивости равновесных конфигураций точечных электрических зарядов и расширяют область ее применимости с классической механики на статистическую.

## **Бурмашева Н.В., Просвиряков Е.Ю.**

### ***Неоднородные течения жидкости в задачах геофизической гидродинамики***

Н.В. Бурмашева<sup>1</sup>, Е.Ю. Просвиряков<sup>1,2</sup>

*1) Институт машиноведения УрО РАН*

*2) Сколковский институт науки и технологий*

В докладе анонсируется несколько новых классов точных решений для уравнений геофизической гидродинамики. В рамках этих классов открывается возможность исследования неоднородных сдвиговых течений с учетом нескольких параметров Кориолиса в различных силовых полях. Интерес к таким решениям обусловлен возможностью усиления колебаний в жидкости и генерации противотечений в тонких слоях жидкости (приближение крупномасштабности). Показано, что анонсируемые точные решения описывают течения стратифицированной жидкости при переходе к экваториальной зоне Мирового океана.

## **Вакуленко Н.В., Володин Е.М., Сонечкин Д.М.**

### ***Особенности синхронизации полушарных вариаций температуры в масштабах десятилетий по данным инструментальных наблюдений и данным климатической модели ИВМ РАН***

*Н.В. Вакуленко<sup>1</sup>, Е.М. Володин<sup>2</sup>, Д.М. Сонечкин<sup>1,3</sup>*

<sup>1)</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

<sup>2)</sup> *Институт вычислительной математики РАН*

<sup>3)</sup> *Гидрометцентр России*

С помощью специально разработанной техники вейвлетных кросскорреляций рассматриваются особенности полушарных вариаций приземной температуры воздуха, представленные в рядах инструментальных метеорологических наблюдений с конца XIX-го века до настоящего времени. Обнаружена фазовая синхронизация средних полушарных вариаций (суши и моря) во временных масштабах около одного, двух и шести – семи десятилетий и отсутствие такой синхронизации в промежуточных масштабах, где амплитуды вариаций меньше. Сравнение средних полушарных вариаций температуры в длительных интегрированиях климатической модели Института вычислительной математики РАН (эксперимент *ri-Control*, когда внешние форсинги принимались равными их средним значениям в доиндустриальный период) показало отсутствие такой синхронизации. Однако, в эксперименте *historical*, когда, в частности, принимались во внимание изменения приходящей солнечной радиации в цикле солнечной активности, фазовая синхронизация была найдена в масштабе двух десятилетий. Все это позволяет думать, что спектр температурных вариаций в рассматриваемом диапазоне масштабов (от года до половины столетия) не является непрерывным, как это можно было ожидать, если бы рассматриваемые вариации были хаотическими, и в его формировании важную роль играют очень небольшие периодические изменения внешнего форсинга климатической системы.

## **Вергелес С.**

### ***Неустойчивость кинематической стадии динамо в турбулентном потоке быстро вращающейся жидкости***

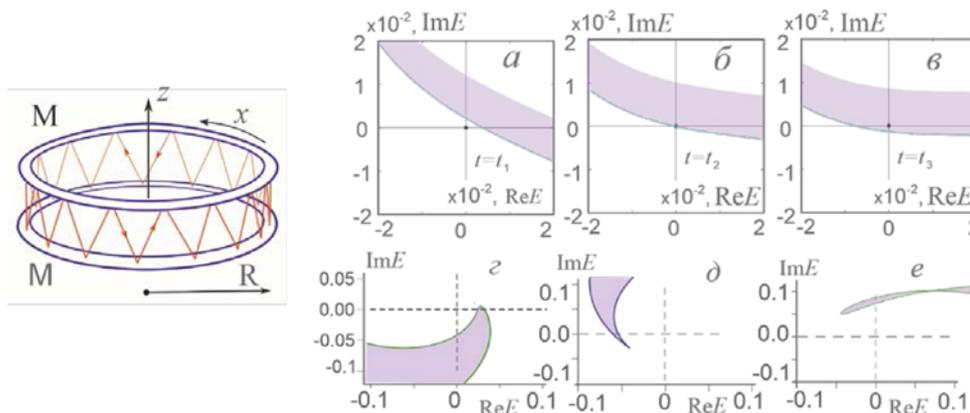
Мы исследуем возникновение крупномасштабного магнитного поля в турбулентном потоке быстро вращающейся жидкости. Если статистика турбулентности (инерционных волн) в таком потоке не обладает зеркальной симметрией, то магнитное поле может расти за счёт  $\alpha$ -эффекта. Мы вычисляем оператор  $\alpha$  из статистики инерционных волн. Если статистика турбулентности обладает зеркальной симметрией, то магнитное поле может расти за счёт эффекта отрицательной диффузии. Мы связываем оператор турбулентной диффузии с одноточечной статистикой скорости в инерционных волнах. Мы отдельно исследуем случай, когда на фоне турбулентного потока установился когерентный вихрь, и показываем, как его существование влияет на рост магнитного поля.

**Веретеннов Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В.**

## **Эффект несохранения топологического заряда в коаксиальном лазере**

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук*

Показана ограниченность топологической защищенности характеристик структур лазерного излучения и выявлены механизмы изменения топологического заряда в коаксиальном лазере.



Построена теория структур излучения в коаксиальном лазере с насыщающимся поглощением и зеркалами  $M$  (левый рисунок), в котором излучение распространяется под малыми углами к оси резонатора  $z$  (красные прямые со стрелками) [1]. Важнейшей характеристикой структуры служит ее топологический заряд  $m$ , равный набегу фазы излучения при обходе резонатора по координате  $x$ , деленному на  $2\pi$ . Заряд  $m$  меняется на единицу при пересечении на комплексной плоскости огибающей поля  $E$  начала координат фрагментом фазовой кривой, показывающей изменение вещественной  $\text{Re } E$  и мнимой  $\text{Im } E$  частей огибающей при указанном обходе (рис.  $a - b$  показывают положение фрагмента до, в момент и после пересечения). Обнаружен механизм большего изменения заряда, для чего необходимо возникновение у фазовой кривой сингулярностей – каспов, или точек возврата с последующим формированием или исчезновением замкнутых петель (рис.  $c - e$ ). Результаты позволяют установить пределы топологической защищенности информации при ее оптической записи и обработке; для них прослеживается аналогия с эффектом проскальзывания фазы, известном в сверхпроводимости [2], гидродинамике [3, 4] и электропроводности твердых тел [5].

1. N. A. Veretenov, S. V. Fedorov and N. N. Rosanov. *Phys. Rev. Lett.* **125**, 193901 (2020).
2. J. S. Langer, V. Ambegaokar. *Phys. Rev.* **164** 498 (1967).
3. G. Dee. *Physica* (Amsterdam) **15D** 295 (1985).
4. A. I. Chernych, I. R. Gabitov and E. A. Kuznetsov, in *Singular Limits of Dispersive Waves*, Eds. N. M. Ercolani et al. (New York: Plenum Press, 1994, p. 315).
5. L. Gor'kov, in *Charge Density Waves in Solids*, edited by L. Gor'kov and G. Gruner, Modern Problems in Condensed Matter Sciences (Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1989).

## **Габитов И., Гибни Дж., Кук И.**

### ***Нелинейность в когерентных системах связи: возвращение забытой проблемы***

*Ильдар Габитов  
Сколковский Институт Науки и Технологий и Аризонский Университет  
Джозеф Гибни  
Аризонский Университет  
Илья Кук  
Сколковский Институт Науки и Технологий*

В настоящее время когерентная система передачи информации является ключевой технологией высокоскоростной оптоволоконной коммуникации. Ее появление было обусловлено прогрессом в области быстродействующей электроники, использованию ортогональных поляризаций для передачи оптических сигналов и переходу от бинарной к мультисимвольной системе кодирования. Внедрение этой технологии в начале 2000-х позволило на порядок увеличить производительность передачи в каждом частотном канале, одновременно исключив нелинейные эффекты оптического волокна -- основную проблему того времени, ограничивающую производительность линий связи. Принципиальной особенностью когерентных линий связи является то, что в основе их лежит линейный характер динамики оптических импульсов в оптическом волокне. Однако современные требования как к длине, так и производительности систем передачи информации с неизбежностью ведут к появлению нелинейных эффектов оптического волокна. Для случая слабой нелинейности будут проанализированы эффекты внутриканального взаимодействия оптических импульсов, статистические свойства возмущений и их влияние на ошибки передачи. В случае сильной нелинейности будет рассмотрен механизм обработки сигнала, позволяющий уменьшить негативное влияние нелинейности, используя свойство интегрируемости модельных уравнений. В отличие от солитонных методов, для передачи информации используется спектр ассоциированной спектральной задачи и для восстановления оптического сигнала метод задачи Римана.

**Гелаш А.А.**

***Нелинейный спектральный синтез солитонного газа***

*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск  
Сколковский институт науки и технологий, Москва*

В докладе представлены теоретические принципы построения пространственно-однородного солитонного газа высокой плотности для заданного набора нелинейных спектральных параметров солитонов – данных рассеяния. Предлагаемый метод генерации волновых полей основан на точных  $N$ -солитонных решениях нелинейного уравнения Шредингера при большом  $N$  порядка 100 и выше [1]. Полученные сильно нелинейные волновые поля используются в численных [2] и натуральных экспериментах [3] по нелинейной волновой динамике и статистике. Основное внимание в докладе будет уделено новым результатам работы [3], в которой построенный солитонный газ был воспроизведен в эксперименте по распространению гравитационных волн в одномерном глубоком бассейне длиной 130 метров.

[1] A.A. Gelash, and D.S. Agafontsev, Strongly interacting soliton gas and formation of rogue waves, Phys. Rev. E., 2018.

[2] A. Gelash, D. Agafontsev, V. Zakharov, G. El, S. Randoux and P. Suret, Bound state soliton gas dynamics underlying the noise-induced modulational instability, Phys. Rev. Lett., 2019.

[3] P. Suret, A. Tikan, F. Bonnefoy, F. Copie, G. Ducrozet, A. Gelash, G. Prabhudesai, G. Michel, A. Cazaubiel, E. Falcon, G. El, S. Randoux, Nonlinear spectral synthesis of soliton gas in deep-water surface gravity waves. arXiv preprint: 2006.16778., 2020.

**Гриневич П.Г., Сантини П.М.**

***Неустойчивые моды линеаризации НУШ вблизи бризера  
Ахмедиева***

В литературе содержится утверждение о стабильности бризера Ахмедиева за счет механизма "насыщения нелинейности". В качестве аргумента используется тот факт, что среди квадратов волновых функций, по которым разлагаются решения линеаризованной задачи, нет растущих по времени. Нами показано, что эта аргументация ошибочна, поскольку из-за наличия двойной точки в спектральной задаче в разложение по квадратам собственных функций также входят производные по спектральному параметру. Мы явно предъявляем "упущенные моды".

**Доброхотов С.Ю., Калиниченко В.А., Миненков Д.С.,  
Назайкинский В.Е.**

***Длинные нелинейные стоячие волны в протяженном  
бассейне с пологими берегами: теория и эксперимент***

*Институт проблем механики РАН им. А.Ю. Ишлинского  
и Московский физико-технический институт*  
E-mail: [s.dobrokhотов@gmail.com](mailto:s.dobrokhотов@gmail.com), [yakalin@mail.ru](mailto:yakalin@mail.ru),  
[nazaikinskii@googlemail.com](mailto:nazaikinskii@googlemail.com), [minenkov.ds@gmail.com](mailto:minenkov.ds@gmail.com)

В рамках одномерной нелинейной системы уравнений мелкой воды с медленно меняющимся неровным дном, задаваемым на интервале  $(a-q, b+q)$ ,  $q > 0$ , гладкой функцией  $D(x)$ , положительной на интервале  $(a, b)$ , изучаются периодические по времени решения двух задач. В первом случае предполагается, что  $D(a) = D(b) = 0$ , причем  $D'(a)$  и  $D'(b)$  не обращаются в ноль. Во втором случае предполагается, что  $D(a) = 0$  и  $D'(a)$  не обращаются в ноль, но на границе  $x = b$  скорость движения жидкости обращается в ноль. Первый случай моделирует протяженный бассейн с пологими (в направлении движения жидкости) берегами, второй - когда один из таких берегов - вертикальная стенка. Решение линеаризованных задач выражается через функции Бесселя, эти решения хорошо приближают решения нелинейных задач вдали от точек  $a$ ,  $b$  в первом случае или точки  $b$  - во втором. Около точек  $a$  и  $b$  или точки  $a$  (то есть около берега) решение нелинейной задачи, описывающее периодический накат, строится с помощью преобразования Карриера-Гринспана и его модификаций. Приводится сравнение теоретических формул с результатами эксперимента, полученными на установке Института проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН. Установка состоит из вибростенда, обеспечивающего периодические вертикальные колебания бассейну вида протяженного прямоугольного параллелепипеда, в который встроена имитирующая наклонное дно плоскость. Колебания установки приводят к появлению на резонансных частотах нелинейных стоячих волн, динамика которых фиксируются с помощью скоростной видеосъемки. Для таких волн преобразование Карриера-Гриспана точно сводит систему уравнений нелинейной мелкой воды к линейному волновому уравнению с квадратом скорости равным  $x$ , но с нелинейной и подвижной правой границей. Другой подход основан на упрощенной замене типа Карриера-Гриспана, приводящей к задаче на отрезке с неподвижными границами, но для нелинейно возмущенного волнового уравнения. Сравнение с экспериментом проводится с асимптотическими решениями таких задач.

Работа выполнена по теме госзадания АААА-А20-120011690131-7.

## **Дремов С.В., Качулин Д.И., Дьяченко А.И.**

### ***Исследование связанных когерентных структур, возникающих на свободной поверхности глубокой воды***

С.В. Дремов<sup>1,2</sup>, Д.И. Качулин<sup>1,2</sup>, А.И. Дьяченко<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск

<sup>2</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва

<sup>3</sup> Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Черногловка

В работе будут представлены результаты исследования связанных когерентных структур, распространяющихся на свободной поверхности глубокой воды. Примером таких структур являются би-солитоны — точные решения известной приближённой модели волн на глубокой воде — нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ). Недавно, при изучении многократных столкновений бризеров, возникновение подобных объектов было обнаружено в более точной модели суперкомпактного уравнения для однонаправленных волн на воде [1]. Целью настоящей работы являлось получение и дальнейшее изучение таких структур с различными параметрами в суперкомпактном уравнении и в полной системе нелинейных уравнений в конформных переменных.

Алгоритм нахождения связанных когерентных объектов был схож с тем, который описан в работе [2]. В качестве начального условия для получения таких структур в рамках перечисленных моделей использовались би-солитонные решения НУШ, а также два одиночных бризера, численно найденные методом Петвиашвили и помещённые в одну точку расчётной области. В процессе эволюции начальные структуры излучали некогерентные волны, которые фильтровались на границах области с помощью процедуры затухания. Показано, что после отключения фильтрации излучения на поверхности жидкости остаются связанные периодически осциллирующие когерентные объекты, которые стабильно распространяются в течение ста тысяч характерных периодов волн и не теряют энергию. Проведено сравнение профилей таких структур при различных параметрах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-31-90093.

[1] Kachulin D., Dyachenko A., Dremov S. Multiple Soliton Interactions on the Surface of Deep Water //Fluids. – 2020. – Т. 5. – №. 2. – С. 65.

[2] Dyachenko A. I., Zakharov V. E. On the formation of freak waves on the surface of deep water //JETP letters. – 2008. – Т. 88. – №. 5. – С. 307.

**Дрюма В.С.**

## **Геометрический подход к изучению течений несжимаемой вязкой жидкости**

*Ин-т Математики и Информатики РМ, Кишинев*

Система уравнений Навье-Стокса, описывающая течения несжимаемой вязкой жидкости, рассматривается с геометрической точки зрения, основанной на ее представлении в форме условия равенства нулю тензора кривизны Риччи  $R_{ik}=0$  14-мерного риманового пространства в координатах  $(x, y, z, t, \eta, \rho, m, u, v, w, p, \xi, \zeta, n)$  и оснащенного метрикой вида

$$\begin{aligned} ds^2 = & 2dxdu + 2dydv + 2dtdp + 2d\eta d\xi + 2d\rho d\zeta + 2dzdw + 2dm dn + \\ & (-u(U^2 + P) - vUV - pU - wUW + \mu(wU_z + vU_y + uU_x))d\eta^2 + \\ & (-v(V^2 + P) - uUV - pV - wVW + \mu(wV_z + vV_y + uV_x))d\rho^2 + (-w(W^2 + P) \\ & - vWV - pW - uUW + \mu(wW_z + vW_y + uU_x))dm^2 - \\ & (uU + vV + wW)dt^2, \end{aligned}$$

где  $U, V, W, P, \mu$  – компоненты скорости течения, давления и вязкости жидкости, зависящие от координат  $(x, y, z, t)$  (см. [1]-[3]). Рассматриваемое пространство принадлежит к известному классу многомерных римановых пространств с нулевыми скалярными инвариантами, составленными из компонент тензора кривизны Римана и его ковариантных производных. В докладе будут получены примеры частных решений параболических уравнений с дифференциальными параметрами Бельтрами метрики, а также построены наборы ее ненулевых инвариантов Картана, с помощью которых находятся соотношения между функциями  $U, V, W, P$ , совместные уравнения течения жидкости. В частности, из различных условий на тензоры кривизны метрики и соответствующих ей уравнений геодезических линий получается уравнение 7-мерной гиперповерхности  $\Theta(x, y, z, t, u, v, w, p) = 0$ , имеющее важное значение для понимания топологических свойств решений системы уравнений Навье-Стокса.

Список литературы

1. V. Dryuma. The Ricci-flat space related with the Navier-Stokes equations. Buletinul Academiei de Stiintse a Republicii Moldova, *Mathematica*, no.2(69), 2012, p.99-102.
2. Dryuma V., Geometric properties of the Navier-Stokes equations end their applications. IV International Scientific Conference, Лазерные, плазменные исследования и технологии - ЛАПЛАЗ 2020, Collected Works of International Scientific Conference УДК: 001.89 Сборник научных трудов. Ч.1. М.: НИЯУ МИФИ, 11-14 Февраля, Москва, стр.82- 83.
3. Дрюма В. О. геометрии системы уравнений Навье-Стокса, стр.33, Тезисы докладов Международная XXIV конференция “Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность”, М.: Издательство Московского Университета, 2020 .- 131 стр.-(Электронное издание).

## **Ефимов В.Б., Межов-Деглин Л.П.**

### ***Распространение волн второго звука в среде с наночастицами***

*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, 142432, Россия*

При изучении акустической турбулентности сильно нелинейных волн второго звука в сверхтекучем гелии были обнаружены частотные каскады передачи энергии из области накачки в область затухания (Колмогоров-like cascades) [1]. Одной из задач по изучению процессов передачи энергии в квазиодномерной геометрии является задача по исследованию влияния контролируемо вносимого затухания в объем резонатора, в котором при резонансных условиях происходит резкое увеличение амплитуды волн и формирование нелинейной передачи энергии по частотам.

При экспериментальном исследовании распространения сильно нелинейных волн в качестве среды с внесенным затуханием мы провели изучение влияния дейтериевых наночастиц на частотные характеристики резонатора волн второго звука в сверхтекучем гелии. Для этого была создана специальная установка, в которой удалось в условиях низких температур и малых давлений заполнять резонатор волн второго звука (тепловых волн) примесь-гелиевым гелем.

Оказалось, что внесение в объем резонатора агломерата примесь-гелиевого геля, состоящего из дейтериевых наночастиц приводит к двум эффектам: во-первых, к уменьшению добротности резонатора, что и ожидалось увидеть; во-вторых, к уменьшению скорости второго звука, что резко отличается от эффектов распространения противотока нормальной и сверхтекучей компонент в аэрогелях, в которых за счет торможения нормальной компоненты скорость тепловых волн возрастает – второй звук становится четвертым звуком. В докладе предполагается обсудить возможные объяснения подобного поведения волн второго звука в среде с дейтериевыми частицами.

[1] В.Б.Ефимов, Акустическая турбулентность волн второго звука в сверхтекучем гелии, УФН, 188, 10, 1025-1048 (2018)

**Жукова Е.И.**

**Исследование процессов ускорения и переноса частиц  
космической плазмы в нелинейных магнитоплазменных  
системах**

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия, Москва,  
Профсоюзная ул., д. 84/32.  
E-mail: [jookove@mail.ru](mailto:jookove@mail.ru)*

Работа посвящена исследованию причин ускорения и переноса плазмы солнечного ветра в Земной магнитосфере. Построена численная модель, учитывающая различные сценарии ускорения плазмы в токовом слое магнитосферного хвоста Земли. Модель позволяет оценивать эффективность ускорения заряженных частиц (электронов, ионов водорода, гелия и кислорода) в процессах: (А) диполизации; (В) прохождения в среде с турбулентностью; (С) прохождения множественных диполяризационных фронтов; (D) комбинированных механизмов: (А) и (С) с добавлением (D) плазменной турбулентности. Показано, что на разных временных масштабах сценарии (А) - (D) способствуют различному ускорению популяций частиц. Чем ближе масштаб изменения поля к гиропериоду ионов, тем эффективней перенос энергий от полей к частицам. Показано, что ионы  $O^+$  эффективно ускоряются за счет механизма (А); ионы  $H^+$  и  $He^+$  (и в некоторой степени  $e^-$ ) более эффективно ускоряются в процессе (С), чем в (В). Установлено, что  $e^-$  могут быть значительно ускорены в процессе (D). Результаты моделирования показали, что вышеперечисленные процессы носят резонансный характер. Обсуждаются формы энергетических спектров.

**Зубарев Н.М., Зубарева О.В., Кочурин Е.А.**

***Взаимодействие и опрокидывание волн на свободной поверхности идеальной диэлектрической жидкости в горизонтальном электрическом поле***

Теоретически (аналитически и численно) исследована нелинейная динамика свободной поверхности непроводящей жидкости, находящейся в сильном тангенциальном электрическом поле. Показано, что нелинейные поверхностные волны проявляют тенденцию к опрокидыванию. При коллапсе волн формируются разрывы в градиенте локального электрического поля и кривизне границы. Установлено, что для жидкостей с диэлектрической проницаемостью близкой к  $\sim 5$  время формирования особенности минимально, т.е. коллапс поверхностных волн для таких сред происходит наиболее интенсивно. В пределе большой проницаемости жидкости нелинейные поверхностные волны распространяются без искажений; встречные волны после столкновения восстанавливают свою исходную форму, приобретая при этом некоторый сдвиг фаз.

**Зыбин К.П., Ильин А.С., Копьев А.В., Сирота В.А.**

***О влиянии флуктуаций магнитного поля на турбулентные пульсации скорости***

К.П. Зыбин<sup>1,2</sup>, А.С. Ильин<sup>1,2</sup>, А.В. Копьев<sup>1</sup>, В.А. Сирота<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>2</sup> НИУ «Высшая школа экономики», Москва

Турбулентное динамо является наиболее естественным механизмом роста затравочного магнитного поля в астрофизических системах. Идея этого механизма заключается в том, что случайный перенос растягивает магнитные линии, увеличивая тем самым флуктуации магнитного поля [1]. Хорошо известен эффект экспоненциального нарастания мелкомасштабных возмущений в сильно проводящей турбулентной среде [2, 3]. В такой системе поле скорости можно считать линейным и рост магнитного поля оказывается особенно эффективным. Нами было изучено поведение статистических моментов соленоидальной компоненты силы Лоренца, посредством которой магнитное поле оказывает обратное влияние на среду [4]. Оказалось, что в процессе эволюции инфинитезимальных начальных возмущений при большой, но конечной проводимости происходит смена качественно различных асимптотических режимов. На первой стадии конечность проводимости не сказывается, и моменты магнитного поля и силы Лоренца экспоненциально нарастают [5]. На второй стадии сказывается конечность проводимости, и хотя моменты магнитного поля продолжают экспоненциально нарастать [3], моменты соленоидальной компоненты силы Лоренца оказываются экспоненциально убывающими [4]. Таким образом, несмотря на неограниченный рост магнитного поля в системе, оно не оказывает обратного воздействия на генерирующий ее поток, по крайней мере, до тех пор, пока поле скорости можно считать линейным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-12-00047 «Самосогласованная теория космических лучей в молекулярных облаках».

**Список литературы**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, М: Физматлит, 2005, 656 с.
2. Казанцев А.П. «Об усилении магнитного поля проводящей жидкостью», ЖЭТФ, 53, 5 (11), 1806-1813, (1967).
3. Chertkov M., Falkovich G., Kolokolov I., Vergassola M. «Small-Scale Turbulent Dynamo» Phys. Rev. Lett. 83, 4065 (1999).
4. Zybin K.P., Il'yn A.S., Kopyev A.V., Sirota V.A. «No feedback is possible in small-scale turbulent magnetic field», accepted by EPL (2020) (arXiv:2007.11940)
5. Schekochihin A., Cowley S., Maron J., Malyshkin L. «Structure of small-scale magnetic fields in the kinematic dynamo theory», Phys. Rev. E, 65, 016305 (2001)

**Ингель Л.Х.**

## **Оценка амплитуды нелинейной «антиконвекции»**

*lev.ingel@gmail.com*

*ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, Обнинск Калужской обл., ул. Победы, 4  
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва*

Хорошо известно, что в жидкости (газе) в поле силы тяжести при однородном нагревании снизу или охлаждении сверху может возникать конвективная неустойчивость (неустойчивость Рэля-Тейлора). Ее физический смысл вполне прозрачен: более холодная, плотная жидкость тонет, а легкая, нагретая всплывает за счет архимедовых сил. Но несколько десятилетий назад был получен теоретический результат, на первый взгляд кажущийся парадоксальным: состояние механического равновесия горизонтально-однородной системы, состоящей из двух несмешивающихся жидкостей, нагреваемых сверху (устойчиво стратифицированных) может оказаться неустойчивым с последующим развитием конвекции в обеих жидкостях вблизи границы раздела [1, 2]. Это явление было названо «антиконвекцией». Физический механизм антиконвекции по своей природе существенно отличается от рэлеевского. Кратко его можно пояснить следующим образом.

Пусть, например, в некотором объеме вблизи границы раздела в верхней (более легкой) среде возникло сколь угодно малое по амплитуде отрицательное отклонение температуры, и этот объем оказался более холодным и более плотным, чем соседние с ним по горизонтали объемы среды. Вес столба среды в этом месте будет больше "фона". Поэтому в верхней среде у границы раздела возникнет горизонтальный градиент давления, такой, что возникшая горизонтальная составляющая силы давления будет направлена от центра к периферии возмущенной (охлажденной) области. Следовательно, в рассматриваемой области верхней среды возникнут горизонтальные расходящиеся течения (и в силу неразрывности – нисходящие вертикальные движения). Вследствие вязкости, в расходящееся горизонтальное движение будет в какой-то мере вовлечен и верхний слой нижней среды. Эти дивергентные горизонтальные течения в нижней среде из-за неразрывности означают возникновение в этой среде вертикальных восходящих движений. Восходящие движения в нижней среде приводят к появлению отрицательной аномалии температуры под границей раздела (поскольку система охлаждается снизу, восходящие движения приводят к охлаждению). Это термическое возмущение за счет теплообмена через границу раздела усиливает начальное «холодное пятно» в верхней среде. Такая положительная обратная связь, как показано в цитируемых работах, при определенных соотношениях между параметрами сред может доминировать над имеющимися в системе отрицательными обратными связями, и состояние механического равновесия в такой системе может быть неустойчивым, несмотря на устойчивую стратификацию обеих сред.

Ввиду сложности относящихся сюда задач, их аналитические исследования до сих пор, как правило, ограничивались линейным приближением. В настоящей работе сделаны оценки, относящиеся к конечноамплитудной антиконвекции.

### Литература

1. Welander P. Convective instability in a two-layer fluid heated uniformly from above. *Tellus*. 1964. V. 16, № 3. Pp. 349–358.
2. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. О неустойчивости равновесия системы горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей при нагреве сверху. *Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа*. 1980. № 6. С. 28–34.
3. Perestenko O.V., Ingell L.Kh. The occurrence of moist "anticonvection" in water-air system. *J. Fluid Mech.* 1995. V. 287. Pp. 1–20.
4. Ингель Л.Х. "Антиконвекция". *Успехи физ. наук*. 1997. Т. 167. № 7. С. 779–784.

**Камалетдинов С.Р., Васько И.Ю., Юшков Е.В.,  
Артемьев А.В.**

***Нелинейные электростатические волны на головной ударной волне***

С.Р.Камалетдинов<sup>1,2</sup>, И.Ю. Васько<sup>3,1</sup>, Е.В. Юшков<sup>1,2</sup>, А.В. Артемьев<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>*Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Физический факультет, Московский Государственный Университет, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Space Science Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA*

<sup>4</sup>*University of California, Los Angeles, California, USA*

Электронные дырки (электронные фазовые вихри) представляют собой уединенные электростатические структуры с положительным потенциалом и масштабом порядка нескольких Дебаевских длин, которые формируются на нелинейной стадии различных электронных токовых неустойчивостей (пучковая неустойчивость, неустойчивость Бунемана и др.). В настоящей работе проведен анализ свойств электронных дыр, которые наблюдаются на спутниках Magnetospheric Multiscale на головной ударной волне Земли. Показано, что данные структуры распространяются со скоростями порядка ионной акустической скорости и раскачиваются Бунеман неустойчивостью. Обсуждаются вопросы трансверсальной устойчивости и времени жизни данных структур.

**Камчатнов А.М.**

***Опτικο-механическая аналогия и число солитонов,  
порождаемых нелинейным импульсом***

*Институт спектроскопии РАН*

В докладе будет представлен метод [1] расчёта числа солитонов, порождаемых нелинейным импульсом в системах, динамика которых не является полностью интегрируемой. Метод основан на принадлежащей А.В. Гуревичу и Л.П. Питаевскому теории дисперсионных ударных волн (ДУВ), согласно которой число осцилляций, входящих в область ДУВ, равно частоте колебаний на малоамплитудном крае с учётом доплеровского сдвига вследствие движения этого края с групповой скоростью. При асимптотически больших временах и эволюции изначально локализованных импульсов все эти колебания превращаются в солитоны. Показано, что результат интегрирования скорости увеличения числа колебаний по времени даёт формулу, совпадающую с формулой типа Карпмана в интегрируемых ситуациях, где волновое число определяется спектром ассоциированной линейной задачи. Если же уравнения для динамики волн неинтегрируемы, то эта зависимость находится путём решения системы, состоящей из уравнений Гамильтона для высокочастотного пакета малоамплитудного края ДУВ и бездисперсионного уравнения для динамики фона.

[1] А. М. Камчатнов, arXiv:2008.09786 (2020).

## **Клиньшов В.В., Шапин Д.С., Отти Д'Ас**

### ***Переключение мод в колебательных системах со стохастическими задержками***

Исследована динамика автогенератора с запаздывающей обратной связью и двумя типами шумового воздействия: а) аддитивный белый шум и б) стохастические флуктуации величины запаздывания. Без шума система имеет несколько устойчивых периодических режимов, а под действием шума наблюдаются скачкообразные переключения между различными режимами. Характеристики переключений существенно зависят от типа шума: частота переключений уменьшается с ростом силы связи при аддитивном шуме, но увеличивается при флуктуациях задержки. Дано аналитическое объяснение описанного эффекта на простой модели, а также проведено его экспериментальное исследование. Наши результаты показывают, что устойчивость системы к стохастическим возмущениям сильно зависит от природы этих возмущений.

## Конторович В.М.

### ***Серповидное «горячее» пятно как возможный результат комбинационного рассеяния при отражении от поверхности пульсара***

С помощью рентгеновской обсерватории Найсер на Международной Космической Станции удалось определить распределение магнитного поля на видимой полусфере пульсара PSR J0030+0451 [1]. Было обнаружено второе «горячее» пятно, имеющее вид вытянутого серпа [2], что интерпретировано как многополюсность магнитного поля пульсара. Мы покажем, что структура подобной геометрии может возникать при комбинационном рассеянии (КР) отражённого излучения в условиях, близких к аномалии Вуда. Как показал Рэлей, аномалии Вуда возникают, когда дифракционный спектр близок к волне, скользящей вдоль дифракционной решётки с близкой к нулю нормальной компонентой волнового вектора. В этих условиях коэффициент отражения при КР имеет особенности, в первую очередь максимумы, зависящие от свойств поверхности и близости к резонансу [3] (см., например, применительно к пульсарам [4-5]), вблизи от дуги окружности  $k_z=0$ . Роль решётки на поверхности звезды, на которой происходит КР, играют возвышения, возникающие из-за неустойчивости поверхности в сильных переменных или постоянных полях. Распределение яркости вдоль серпа определяется спектрами турбулентности поверхностных волн.

1. T. E. Riley, A. L. Watts, S. Bogdanov, et al., 2019, ApJL, **887**, L21.
2. A. V. Bilous, A. L. Watts, A. K. Harding, et al. 2019, ApJL **887**, L23.
3. M. Tymchenko, V. K. Gavrikov, I. S. Spevak, et al., 2015 Appl. Phys. Lett. **106**. id. 261602.
4. В. М. Конторович, 2016, ФНТ **42**, 854.
5. В. М. Конторович, И. С. Спёвак, В. К. Гавриков. 2018, РиР. **23**, № 3, 166.

## **Кузнецов Е.А., Михайлов Е.А.**

### **Формирование магнитных филаментов в конвективной зоне Солнца**

Обсуждается вопрос о магнитном коллапсе - возможном процессе возникновения особенности магнитного поля за конечное время в рамках идеальной магнитной гидродинамики для несжимаемых жидкостей, как механизме формирования магнитных филаментов в конвективной зоне Солнца. Возможность коллапса связана со сжимаемостью непрерывно распределенных магнитных силовых линий. Известный пример формирования магнитных филаментов в приближении кинематического динамо с заданным полем скорости, рассмотренный впервые Паркером в 1963 году, свидетельствует скорее о том, что нарастание магнитного поля носит экспоненциальный во времени характер. Показано, что благодаря вмороженности в случае кинематического приближения для уравнения индукции возникновение филаментов происходит в областях с гиперболическим профилем скорости с экспоненциальным ростом во времени. При учете конечной магнитной вязкости этот рост прекращается на уровне  $B_0 Re_m^{-1/2}$ , где  $B_0$  – начальное магнитное поле,  $Re_m$  – магнитное число Рейнольдса. Для конвективной зоны Солнца эта величина достигает 1 КГ и более.

**Левина Г.В.**

***Турбулентное вихревое динамо в тропической атмосфере:  
диагностика зарождения урагана Isaias (2020)***

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

*E-mail: levina@iki.rssi.ru*

В докладах автора на предыдущих научных сессиях Совета по нелинейной динамике обсуждалась реализация турбулентного вихревого динамо в атмосфере и применимость этой концепции к явлению тропического циклогенеза. Результаты проведенных исследований позволили получить ответ на фундаментальный вопрос тропической метеорологии о начале циклогенеза, который до настоящего времени оставался открытым – “Когда зарождающийся тропический циклон становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?” Была обоснована ключевая роль вихревой облачной конвекции – вихревых горячих башен (Vortical Hot Towers) – в обеспечении динамо-эффекта в атмосфере.

Разработанный на этой основе подход для диагностики зарождения тропических циклонов был опробован с помощью идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования и рекомендован метеорологам для дальнейшего тестирования применительно к случаям формирования наблюдаемых атмосферных вихрей [1].

В настоящей работе обсуждается соединение предложенного численного подхода и анализа спутниковых данных для дистанционного точного определения времени начала тропического циклогенеза [2]. В качестве демонстрации рассматривается формирование атлантического урагана Isaias (2020).

Работа выполнена в рамках госзадания № 01.20.0.2.00164 (тема «Мониторинг»).

Литература

1. Levina G.V. Helical tropical cyclogenesis: detection of pre-depression large-scale vortex instability. Abstracts of the 34th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. New Orleans, LA, USA. 2020/2021. 371535.

<https://ams.confex.com/ams/34HURR/meetingapp.cgi/Paper/371535>

2. Levina G.V. Birth of a hurricane: early detection of large-scale vortex instability. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020 1640 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1640/1/012023>

**Маслов Е.М., Кутвицкий В.А.**

***Отклонение светового луча, проходящего через осциллирующее гало тёмной материи***

*ИЗМИРАН*

В рамках теории возмущений и при использовании метода геодезических исследовано отклонение света периодическими во времени сферически-симметричными гравитационными полями. В приближении слабого гравитационного поля выведены общие формулы, определяющие угол отклонения луча в главном приближении. Формулы действительны как для периодических по времени, так и для статических метрик. На основе этих результатов вычислен угол отклонения светового луча, проходящего через сферически-симметричное осциллирующее гало тёмной материи, образованное гравитирующим нелинейным скалярным полем с логарифмическим потенциалом самодействия.

#### **References**

V.A. Koutvitsky and E.M. Maslov, Phys. Rev. D **102**, 064007 (2020).

**Орлов А.В.**

**Экспериментальные исследования размерных эффектов квазидвумерной турбулентности**

*Институт физики твёрдого тела РАН, 142432 Черноголовка, Россия  
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, 119334 Москва, Россия  
НИУ ВШЭ, 101000 Москва, Россия*

Были проведены лабораторные эксперименты по эволюции квазидвумерных вихревых течений в слоях жидкости разной глубины. Турбулентные движения возбуждались электромагнитным способом под действием постоянной пондеромоторной силы накачки в водном растворе электролита  $KNO_3$  в квадратной ячейке. С помощью компьютерных алгоритмов были рассчитаны потоки энергии в обратный двумерный каскад турбулентной системы при различных глубинах. Показано, что с увеличением двумерности системы (уменьшением глубины), поток энергии тоже увеличивается. Таким образом, были получены первые экспериментальные результаты по переходу от двумерной к трёхмерной турбулентности в тонких слоях турбулентной системы и установлены закономерности количественных изменений потоков в зависимости от параметра двумерности. Работа выполнена при поддержке Мегагранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2019-1893 и Гранта научно-учебной группы НИУ ВШЭ «Размерные эффекты в нелинейной гидродинамике нейтральных и заряженных жидкостей».

**Пелиновский Д.Е., Кокорина А.В., Слюняев А.В.,  
Пелиновский Е.Н.**

***Динамика компактонов в сублинейном уравнении Кортевега  
– де Вриза***

*Институт прикладной физики РАН*

Исследована динамика компактонов в рамках уравнения Кортевега – де Вриза (КдВ) с сублинейной нелинейностью. В рамках этого уравнения компактоны представляют собой локализованные колоколообразные волны любой полярности, которые распространяются в том же направлении, что и волны линейного уравнения КдВ. Их амплитуда и ширина обратно пропорциональны скорости. Динамика компактонов, включая эволюцию импульсных возмущений и взаимодействия компактонов одинаковой и противоположной полярности, исследована с помощью численного моделирования. Компактоны взаимодействуют неупруго, но почти восстанавливают свою форму после столкновений. Компактоны играют двоякую роль: долгоживущих солитоноподобных структур и в то же время мелкомасштабных волн, разносящих волновую энергию по области моделирования.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФ 19-12-00253.

**Пелиновский Е.Н., Куркин А.А., Куркина О.Е.,  
Кокоулина М.В., Епифанова А.С.**

**Анализ динамики распространения коронавируса с помощью  
нелинейных логистических моделей**

*Институт прикладной физики РАН  
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

В условиях спада первой волны заболеваемости коронавирусом во многих странах накопленные данные позволяют представить анализ в широком диапазоне значений от начала эпидемии до ее конца. Целью настоящей работы является анализ динамики развития COVID-19 с помощью простых малопараметрических логистических уравнений для оценки числа вероятных пиков заболеваемости коронавирусом, а также оценки характера разброса коэффициентов логистической модели в целом. Данные о заболеваемости коронавирусом в разных странах (12) взяты с сайта Всемирной организации здравоохранения. Показано, что для всех рассматриваемых стран логистическое уравнение является неплохой регрессионной моделью. В то же время для описания суточного хода заболеваемости необходимо учитывать случайные факторы (разная плотность населения, масочный режим, степень самоизоляции, карантин), что позволяет считать коэффициенты логистической модели случайными или вводить внешние силы, делая логистическое уравнение стохастическим. Определены спектральные и вероятностные свойства случайных вариаций логистического уравнения. При всей простоте обобщенной логистической модели ею хорошо описывается зависимость роста числа заболевших от времени.

Результаты анализа опубликованы в работах авторов, а также есть похожие исследования за рубежом:

1. Кокоулина М.В., Епифанова А.С., Пелиновский Е.Н., Куркина О.Е., Куркин А.А. Анализ динамики распространения коронавируса с помощью обобщенной логистической модели. *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*, 2020, № 3, 28-41. <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2020/03/028-041.pdf>
2. Pelinovsky, E., Kurkin, A., Kurkina, O., Kokoulina, M., and Epifanova, A. Logistic equation and COVID-19. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2020, vol. 140, 110241. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077920306378>.
3. Consolini, C., and Materassi M. A stretched logistic equation for pandemic spreading. *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2020. – V. 140. – P. 110113.
4. Carletti, T., Fanelli, D., Piazza, F. COVID-19: The unreasonable effectiveness of simple models. *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2020. – V. 140. – P. 100034.
5. Wu K., Darcet D., Wang Q., and Sornette D. Generalized logistic growth modeling of the COVID-19 outbreak: comparing the dynamics in the 29 provinces in China and in the rest of the world. *Nonlinear Dynamics*, 2020, vol. 101, 1561–1581.

**Переслегин С.В., Левченко Д.Г., Карпов И.О.**

***Вибрационная волна на поверхности воды: параметрическое возбуждение и радиолокационное наблюдение***

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

Задача о возбуждении волн на поверхности воды от неподвижного осциллирующего подводного источника рассматривается в связи с проблемой дистанционного обнаружения таких источников. Показано, что затухание импульса низкочастотного источника с глубиной может в значительной степени компенсироваться усилением параметрически возбуждаемой поверхностной волны гравитационно-капиллярного (ГК) диапазона, причём ширина области возбуждения возрастает при увеличении амплитуды вибрационной мембраны. Согласно имеющейся модели, учёт вязкости приводит к оценке порога возбуждения порядка  $\zeta_0 \sim 10^{-2}$  см по амплитуде поверхностной (возбуждающей) волны, и этот порог максимален в центре ГК области, при длине возбуждаемой ГК волны  $\Lambda_0 = 1,74$  см. Сама же область возбуждения перемещается по спектру в соответствии с частотой вибратора, и наиболее эффективен случай удвоенной частоты вибратора по отношению к частоте возбуждаемой волны  $F_0 = 13,5$  Гц. Полученные модельные результаты важны для задач, связанных с радиолокацией морской поверхности. Для их проверки создана лабораторная экспериментальная установка и проведены измерения рассеяния электромагнитных волн сантиметрового диапазона от области кольцевых бегущих волн, возбуждаемых вокруг пятна над вибрирующей мембраной, где возникают стоячие волны («рябь Фарадея»). Осциллограммы и спектры на выходе фазового детектора радара, работающего в режиме диффузно-резонансного (брэгговского) рассеяния, были получены и сравнивались для двух типов вибраторов – приповерхностного и донного, и эти исследования будут продолжены. Продемонстрированы перспективы использования изучаемого эффекта для обнаружения источников низкочастотных шумов сейсмического происхождения и их радиолокационного мониторинга.

**Потапов А.А.**

**Фрактально-скейлинговые методы в задачах мониторинга: окружающая среда, общество, финансы и COVID'19**

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия  
E-mail: [potapov@cplire.ru](mailto:potapov@cplire.ru)*

Исходя из того, что мониторинг - система постоянного наблюдения за явлениями и процессами, проходящими в окружающей среде и обществе, получены следующие результаты:

Для автоматизированного анализа текстурных изображений объектов мониторинга использованы методы фрактального анализа. Рассмотрены случаи фрактального обнаружения лесных пожаров и разливов нефти на морской поверхности. Анализ гистограммы фрактальной размерности позволяет сделать вывод о наличии очага возгорания и осуществить оценку его местоположения (по зонам наибольшего задымления) и площади (порядка 5% от площади изображения). В связи с тем, что поверхность моря, незагрязненная нефтью, не имеет ярко выраженной структуры (индекс текстуры стремится к нулю), то фрактальная размерность таких участков изображения будет близка к нулю. Показано, что участки изображения, соответствующие областям поверхности моря, подвергшимся загрязнению нефтью, имеют фрактальную размерность отличную от нуля. На основе полученных гистограмм фрактальной сигнатуры возможна организация на основе нейронных сетей автоматизированной классификации объектов на анализируемом изображении и их кластеризация [1 - 6].

В области статистической теории рисков рассчитаны вариации фрактального показателя Херста  $H$  на основе 20-летних временных рядов изменений дневных котировок индексов Московской межбанковской валютной биржи (ММВБ) и Российской торговой системы (РТС). Проведен ретроспективный анализ корреляций между биржевыми колебаниями российского рынка и соответствующих изменений показателя Херста. Основными событиями, вокруг которых проведен фрактальный анализ, являются мировой финансовый кризис 2008 года, а также обвал цен в марте 2020 в результате распространения пандемии COVID'19. Выявлена численная корреляция между достижением показателем Херста минимума и последующими существенными снижениями рынка. На данной взаимосвязи можно построить стратегию управления риском, как для долгосрочных инвесторов, так и для краткосрочных. Если  $H$  достигает минимума  $< 0.6$ , то долгосрочный инвестор должен продать активы в течение нескольких недель. И наоборот, краткосрочный инвестор может, как минимум в течение нескольких недель еще покупать [7].

Применение современных методов фрактально-скейлингового анализа, развиваемого автором более 40 лет, позволяет успешно решать задачи кластеризации объектов мониторинга, оценивать их состояние, выявлять аномалии, имеющие негативные последствия, а также оценивать развитие аномальных ситуаций.

1. *Потапов А.А.* Фракталы и текстуры в радиофизике и радиоэлектронике: 40 лет научных разработок // Сб. материалов XIV Междунар. конф. «Забабахинские научные чтения».- Снежинск: Изд-во РФЯЦ - ВНИИТФ, 2019. С. 105-106.
2. *Гуляев Ю.В., Потапов А.А.* Применение теории фракталов, дробных операторов, текстур, эффектов скейлинга и методов нелинейной динамики в синтезе новых информационных технологий для задач радиоэлектроники (в частности, радиолокации) // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. № 9. С. 839-854.
3. *Potapov Alexander A.* Fractals, scaling, textures, fractional operators and deterministic chaos as the physical and mathematical components of the new conceptions and methods in radar and radio physics // The Journal of Engineering. 2019. V. 2019. No. 20. P. 7204-7209.
4. *Akinshin Nikolay, Esikov Oleg, Potapov Alexander, Akinshin Ruslan, and Kuleshov Alexander.* Application of Fractal Analysis Methods of Textures Earth Surface Images for Ecological Setting Assessment // EPJ Web of Conf. 2019. V. 224. No 04008.
5. *Акиншин Н.С., Потапов А.А., Быстров Р.П., Есиков О.В., Чернышков А.И.* К вопросу построения систем распознавания объектов многоканальными комплексами зондирования на основе нейронных сетей и фрактальных сигнатур // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65. № 7. С. 705-713.
6. *Акиншин Н.С., Есиков О.В., Потапов А.А., Акиншин Р.Н., Кулешов А.В.* Экспериментальная оценка эффективности применения размерности Минковского для фрактального анализа текстурных изображений объектов мониторинга // Сб. тр. XXVI Междунар. НТК «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, 29 сентября - 01 октября 2020 г.): В 6 тт. / ВГУ; АО «Концерн «Созвездие»». - Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. Т. 4. С. 346-355.
7. *Laktyunkin Alexander V. and Potapov Alexander A.* Impact of COVID-19 on the Financial Crisis: Calculation of Fractal Parameters // Biomedical J. Scientific & Technical Research (BJSTR). 2020. V. 30. No 5. P. 23768-23772.

**Пушкарев А.**

***Лазеро-подобная генерация океанских волн в проливах с отражающими берегами***

*Сколковский Институт науки и технологий, Москва, Россия  
Физический Институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия*

Проведено численное моделирование полного уравнения Хассельмана с точным членом нелинейного взаимодействия в ситуации бесконечно протяженного пролива с глубокой водой для ветра, дующего перпендикулярно берегу. Получены как качественные, так и количественные выводы о процессах, соответствующих ситуациям с 0% и с 50% отражением волн от берега.

Качественная картина обоих процессов одинакова – развитие процессов основывается на течении волновой энергии по полу-трубам в смешанном реальном-Фурье пространстве в противоположных направлениях. В обоих случаях, при использовании начальных условий в виде белого шума, эволюция состоит из двух стадий.

В течении первой стадии, возбуждаются волны в полу-трубе, соответствующей адвекции волн по ветру в форме ступенчатого автомодельного решения, и состоящего из участка линейного роста энергии, соответствующего автомодельному решению для ограниченного разгона волн, и плоского участка, растущего со временем, и соответствующего пространственно-однородной задаче с постоянным ветром. Точка соединения этих автомодельных решений движется со скоростью, соответствующей групповой скорости спектрального пика, и первая стадия эволюции завершается образованием промежуточной автомодельной линейной асимптотики в момент достижения точкой соединения решений подветренного берега.

Вторая стадия состоит представляет собой комплексный процесс сосуществования автомодельного режима в полу-трубе по направлению ветра, и его нелинейного взаимодействия с волнами в полу-трубе, соответствующей волнам против ветра, сопровождаемого процессом накопления волн около сепаратрисы, соответствующей нулевой скорости адвекции и перпендикулярному распространению волн по отношению к ветру. Эта стадия процесса завершается установлением квази-стационарного режима, характеризующегося равным распределением энергии вдоль, а также перпендикулярно и против ветра.

В ходе исследования были также установлены качественная и количественная разница между режимами с отражением и без отражения от берегов:

- Более чем трехкратное усиление амплитуд волн, излучаемых поперек ветра для случая с отражением от границ по сравнению со случаем без отражения
- Наличие дополнительной компоненты спектра, симметричной к основной компоненте спектра волн из-за отражения от берега
- Более длительный процесс выхода системы на стационар.

На основе сделанных экспериментов сделан вывод об аналогии изучаемого процесса с лазерным резонатором, то есть существовании нелинейного лазеро-подобного излучения океанских волн.

**Рубан В.П.**

***Вихревые структуры на массивах связанных  
слабодиссипативных нелинейных осцилляторов***

В этом сообщении будут представлены результаты численных экспериментов, указывающие на возможность долговременного существования вихревых структур в виде квантованных вихрей/нитей на двумерных/трехмерных массивах связанных слабодиссипативных нелинейных осцилляторов в пределах конечной области под резонансным внешним воздействием, приложенным на границе области. Численное моделирование проводилось как для решетки Клейна-Гордона, так и для электрической схемы с емкостными связями между колебательными контурами, содержащими нелинейные емкости. Качественно выяснены диапазоны параметров системы и внешнего сигнала, благоприятные для формирования модуляционно устойчивого квазиоднородного энергетического фона – решающего фактора для реализации данного явления. По сравнению с автономным случаем, требование по добротности может быть ослаблено с  $Q \sim 10000-100000$  до  $Q \sim 100-1000$ .

1. V.P. Ruban, Discrete vortices on spatially nonuniform two-dimensional electric networks, Phys. Rev. E 102, 012204 (2020).
2. В.П. Рубан, Дискретные вихри в системах связанных нелинейных осцилляторов: численные результаты для электрической модели, Письма в ЖЭТФ, 111 (7), 455-461 (2020).
3. В.П. Рубан, Вихревые нити на массивах связанных осцилляторов в режиме нелинейного резонанса, arXiv:2009.08106; Письма в ЖЭТФ, в печати (2020).

**Серых И.В.**

***Синхронные междугодовые колебания в глобальной климатической системе и долгосрочный прогноз Эль-Ниньо и Ла-Нинья***

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
iserykh@ocean.ru*

Пересмотрена общепринятая парадигма ограниченной предсказуемости изменений климата. Для этого используется предположение о странной нехаотичности короткопериодных (от одного года до одного десятилетия) климатических изменений, среди которых особо выделяется Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК).

В качестве основного сигнала короткопериодных климатических изменений рассмотрена недавно обнаруженная так называемая Глобальная Атмосферная Осцилляция (ГАО), которая включает в себя как процессы ЭНЮК, так и хорошо известные внетропические моды климатической изменчивости.

Определены индексы, характеризующие ГАО и ЭНЮК, в том числе индекс-предиктор ГАО (PГАО), временная эволюция которого предшествует временной эволюции индекса Эль-Ниньо (EONI). Используя вейвлет-технику для анализа кросс-корреляций между временными рядами PГАО и EONI, выявлены диапазоны временных масштабов, в которых существуют тесные связи между ГАО и ЭНЮК.

Продемонстрировано, что глобальная климатическая система на межгодовых периодах находится под влиянием нескольких внешних сил: 1) Чандлеровского колебания полюсов; 2) Лунно-солнечной нутации; 3) Цикла солнечной активности. Главные периоды этих внешних воздействий составляют ~1.2, ~18.6 и ~11.5 года соответственно. По-видимому, они несоизмеримы друг с другом.

Коль скоро это так, они воздействуют на климатическую систему, как бы, невпопад, и вместо хаоса порождают очень сложные, кажущиеся случайными вариации, математическим образом которых является странный нехаотический аттрактор.

Принимая во внимание эти силы, а также западно-восточное распространение пространственной структуры ГАО, оказалось возможным предсказать значение EONI с заблаговременностью приблизительно 12 месяцев, то есть с преодолением весеннего предела предсказуемости Эль-Ниньо. Показана эффективность предсказаний Эль-Ниньо и Ла-Нинья с помощью PГАО в качестве единственного предиктора.

**Смолина Е.О., Смирнов Л.А., Смирнова Д.А.**

***Нелинейная динамика импульсных сигналов,  
распространяющихся вдоль топологических доменных  
стенок***

*Институт прикладной физики Российской Академии наук*

Фотонные топологические изоляторы представляют собой периодические структуры, границы раздела в которых могут поддерживать локализованные спин-поляризованные электромагнитные моды, топологически защищенные от рассеяния на дефектах [1]. Они представляют интерес для многочисленных приложений в телекоммуникационных и вычислительных технологиях. Материалы, применяемые в топологической фотонике, как правило, обладают достаточно сильной оптической нелинейностью. Распространение электромагнитных полей в таких структурах может сопровождаться генерацией гармоник [2] и нелинейными эффектами самовоздействия[3].

В данной работе с использованием аналитических и численных методов исследуется динамика импульсных сигналов, направляемых доменными стенками в нелинейных фотонных топологических изоляторах. Нами была рассмотрена доменная стенка в топологической решетке на основе димеризованного графена, составленной из одномодовых диэлектрических волноводов с керровской нелинейностью. Показано, что в континуальном пределе нелинейный волновой транспорт описывается уравнениями Дирака для спинорной волновой функции. В пренебрежении пространственной дисперсией каналируемый доменной стенкой импульс представляет собой нелинейную простую волну с укручающимся по мере распространения задним фронтом. Продемонстрировано, что учет пространственной дисперсии приводит к формированию квазисолитонных структур. Выполненное численное моделирование реалистичной фотонной решетки показало хорошее согласие с развитой теорией.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект 20-72-00148) и РФФИ (проект 19-52-12053)

Литература

1. Ozawa T. et al. Topological photonics // Reviews of Modern Physics 91(1), 015006 (2019).
2. Smirnova D. et al. Third-harmonic generation in photonic topological metasurfaces // Phys. Rev. Lett. 123, 103901 (2019).
3. Smirnova D. et al. Topological edge states and gap solitons in the nonlinear Dirac model // Laser Photonics Rev., 1900223 (2019)

**Талипова Т.Г., Диденкулова Е.Г., Пелиновский Е.Н.**

***Статистические характеристики ансамбля солитонов  
внутренних волн***

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, ул. Ульянова 46, 603950*

С помощью численного моделирования в рамках модели Гарднера исследуются статистические характеристики ансамбля солитонов внутренних волн, распространяющихся в однородной по горизонтали среде при стратификации воды, соответствующей стратификации на шельфе Австралии. В качестве начальных условий взята характерная для этого шельфа группа из 13 солитонов, скомпонованных в 50 реализациях с различным набором начальных фаз. Отмечается, что в процессе эволюции солитоны объединяются в импульсы сложной формы, в результате чего количество импульсов может заметно сокращаться вдоль трассы. Построены высшие статистические моменты (асимметрия и эксцесс) и их усредненные по 50 реализациям значения. Отмечено уменьшение усредненных моментов до 20% с расстоянием, в то время, как моменты для одной реализации претерпевают сильное изменение, вплоть до возвращения почти к начальным значениям. Гистограммы амплитуд импульсов демонстрируют близкое к равномерному распределение амплитуд на малых расстояниях и значительное преобладание доли больших волн над маленькими с ростом расстояния, пройденного ансамблем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 19-05-00161, 19-35-60022, 18-02-00042).

**Хатунцева О.Н.**

***О влиянии фракталоподобного распределения вещества во Вселенной на динамику ее объектов***

*ПАО «РКК «Энергия»*

*ol-khatun@yandex.ru*

В работе рассмотрены некоторые аспекты динамики объектов Вселенной, возникающие из-за неоднородного (фракталоподобного) распределения вещества в ней.

Фрактальные структуры характеризуются дробной размерностью и обладают свойством самоподобия при рассмотрении их на разных масштабах. Предложен метод описания действия сил гравитации в системе большого количества тел, образующих фрактальную структуру, учитывающий размерность и масштаб рассмотрения системы относительно расстояния до наблюдателя.

Показано, что учет параметров, характеризующих фрактальную структуру, при рассмотрении движения тела в гравитационном поле других тел, имеющих фрактальный характер распределения, может приводить к такого рода эффектам, которые могут трактоваться, как наличие либо дополнительной силы притяжения, либо силы отталкивания. На сегодняшний день, с точки зрения современной науки, такие эффекты считаются обусловленными существованием темной материи и темной энергии. Это, в принципе, говорит о возможности описания видимых эффектов, происходящих на разных масштабах рассмотрения динамики объектов Вселенной, лишь на основе учета особенностей фракталоподобной структуры распределения вещества в ней, без привлечения понятий «темная материя» и «темная энергия».

## **Шустов П., Кузичев И. Васько И. Артемьев А.**

### ***Динамика электронных дыр в токовом слое хвоста магнитосферы Земли***

Павел Шустов<sup>1,2</sup>, Илья Кузичев<sup>3,1</sup>, Иван Васько<sup>4,1</sup>, Антон Артемьев<sup>5,1</sup>,

*1) Институт космических исследований Российской академии наук,  
117997, Москва, Россия*

*2) Физический факультет Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Россия, 105066, г. Москва, Старая Басманная улица, д. 21/4*

*3) Технологический институт Нью-Джерси, Ньюарк, Нью-Джерси 07102, США*

*4) Лаборатория космических наук, Калифорнийский университет в Беркли,  
Калифорния 94720, США*

*5) Институт геофизики и планетной физики Калифорнийского университета,  
90095, Лос-Анджелес, США*

В представленной работе исследуется динамика электронных дырок в неоднородных магнитных и электрических полях с помощью 1.5-мерного Власовского кода. Моделируемые поля, характерны для токовых слоев и, в частности, токового слоя хвоста магнитосферы Земли. Исследование показывает, что пространственный масштаб и амплитуда электронных дырок существенно не меняются в процессе распространения. Однако возникает двойной слой, локализованный вокруг электронной дырки и проявляющийся в виде падения электростатического потенциала вдоль электронной дырки. В работе показано, что электронные дырки, возникающие вокруг нейтральной плоскости токового слоя, замедляются при распространении к границам токового слоя. Хотя основной роль в торможении электронных дырок играет неоднородное магнитное поле, все же эффект электростатических полей, типичных для токовых слоев, оказывает существенное влияние. Моделирование также показывает, что электронные дырки с большей амплитудой замедляются быстрее. Исходя из результатов моделирования, можно сделать предположение, что некоторые из медленных электронных дырок, недавно обнаруженных вблизи границы плазменного слоя Земли, на самом деле могут являться изначально быстрыми электронными дырками, затормозившими в процессе распространения в токовом слое.

**Agafontsev D.S., Gelash A.A.**

***Rogue waves with rational profiles in unstable condensate and its solitonic model***

We study numerically the spontaneous emergence of rogue waves in (i) modulationally unstable plane wave at its long-time statistically stationary state and (ii) bound-state multi-soliton solutions representing the solitonic model of this state [Gelash et al, PRL 123, 234102 (2019)]. Focusing our analysis on the cohort of the largest rogue waves, we find their practically identical dynamical and statistical properties for both systems, that strongly suggests that the main mechanism of rogue wave formation for the modulational instability case is multi-soliton interaction. Additionally, we demonstrate that most of the largest rogue waves are very well approximated -- simultaneously in space and in time -- by the amplitude-scaled rational breather solution of the second order.

## **Chefranov S.G., Chefranov A.S.**

### ***Turbulence with pressure***

Sergey G. Chefranov <sup>1)</sup> and Artem S. Chefranov <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Science,  
Moscow, Russia;*

*Russian New University, Moscow, Russia;*

*Physics Department, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa 32000, Israel;*

*[schefranov@mail.ru](mailto:schefranov@mail.ru) ; [csergei@technion.ac.il](mailto:csergei@technion.ac.il)*

<sup>2)</sup> *Ministry of Natural Resources and Environment of the Russia Federation, Moscow, Russia  
[a.chef@bk.ru](mailto:a.chef@bk.ru)*

To the one-dimensional compressible Euler equations instead of the well-known Riemann's implicit solution for the nonlinear simple wave an exact explicit analytical solution is obtained. To Riemann's shock wave arising time  $t_0$  an explicit function on the arbitrary initial conditions is obtained. It is shown that near the collapse of a solution in the limit  $t \rightarrow t_0$  the ratio between single-point moments of different orders for the density gradient indicates the effect of strong intermittency of turbulence. In the same limit  $t \rightarrow t_0$  for any initial velocity the turbulence energy universal spectrum  $E(k) \propto k^{-8/3}$  which is independent of the type of initial velocity is obtained. That spectrum is matched with turbulence spectrum  $k^{-2.54} \div k^{-2.8}$  observations in magnetosheath of Saturn (measured by Cassini spacecraft), in the terrestrial magnetosheath and in the Solar Wind. It is shown that accounting for super threshold dissipation leads to regularization of the solution over an unlimited time interval.

# **Lushnikov P.M., Silantyev D.A., Siegel M.**

## ***Collapse vs. blow up in vortex stretching by the generalized Constantin-Lax-Majda equation***

Pavel M. Lushnikov<sup>1</sup>, Denis A. Silantyev<sup>2</sup> and Michael Siegel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Landau Institute For Theoretical Physics, Russia*

<sup>2</sup>*Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, 251 Mercer Street New York, NY 10012-1110, USA*

<sup>3</sup>*Department of Mathematical Sciences and Center for Applied Mathematics and Statistics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA*

We investigate finite-time singularity formation in the generalized Constantin-Lax-Majda (CLM) equation [1, 2]

$$\begin{aligned}\omega_t &= -a\omega\omega_x - \omega u_x, \\ u_x &= \mathcal{H}\omega,\end{aligned}\tag{1}$$

which is a 1D model for the advection and stretching of vorticity in a 3D incompressible Euler fluid. Here  $\omega$  and  $u$  are a scalar vorticity and velocity, respectively,  $a \in \mathbb{R}$  is a parameter, and  $\mathcal{H}$  is the Hilbert transform. The parameter  $a$  controls the strength of advection. For solutions on the infinite domain we find [3] a new critical value  $a_c = 0.6890665337007457 \dots$  below which there is finite time singularity formation that has a form of self-similar collapse, with the spatial extent of blow-up shrinking to zero. The collapse dynamics is controlled by the motion of the complex singularities in the complex plane qualitatively similar to free surface dynamics [4, 5, 6]. We find a new exact analytical collapsing solution at  $a = 1/2$  as well as prove the existence of a leading order complex singularity for general values of  $a$  in the analytical continuation of the solution from the real spatial coordinate into the complex plane. This singularity controls the leading order behaviour of the collapsing solution. For  $a_c < a \leq 1$ , we find a blow-up solution in which the spatial extent of the blow-up region expands infinitely fast at the singularity time. For  $a \gtrsim 1.3$ , we find that the solution exists globally with exponential-like growth of the solution amplitude in time. We also consider the case of periodic boundary conditions. We identify collapsing solutions for  $a < a_c$  which are similar to the real line case. For  $a_c < a \leq 0.95$ , we find new blow-up solutions which are neither expanding nor collapsing.

*Acknowledgements.* Work of P.M.L was supported by the Russian Ministry of Science and Higher Education Grant No. 075-15-2019-1893.

### **References**

- [1] Constantin, P., Lax, P.D., Majda, A.: A simple one-dimensional model for the three-dimensional vorticity equation. *Commun. Pure Appl. Math.* **38**(6), 715–724 (1985).
- [2] Chen, J., Hou, T.Y., Huang, D.: On the finite time blowup of the De Gregorio model for the 3D Euler equation. *arXiv:1905.06387* (2019).
- [3] P. M. Lushnikov, D. A. Silantyev, and M. Siegel. Collapse vs. blow up and global existence in the generalized Constantin-Lax-Majda equation. *Submitted to Journal of Nonlinear Science, arXiv:2010.01201*, 2020.
- [4] P.M. Lushnikov. *Structure and location of branch points for Stokes wave on deep water*, *Journal of Fluid Mechanics*, **800**, 557-594 (2016).
- [5] P.M. Lushnikov and N.M. Zubarev, *Exact solutions for nonlinear development of Kelvin-Helmholtz instability for counterflow of superfluid and normal components of Helium II.*, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 204504 (2018).
- [6] Dyachenko, A.I., Dyachenko, S.A., Lushnikov, P.M., Zakharov, V.E.: Dynamics of Poles in 2D Hydrodynamics with Free Surface: New Constants of Motion. *Journal of Fluid Mechanics* **874**, 891–925 (2019).

## **Mokhov I.I., Chefranov S.G., Chefranov A.G.**

### ***Point vortices dynamics on a rotating sphere and modeling of global atmospheric vortices interaction***

Igor I. Mokhov<sup>1,2,3</sup>, Sergey G. Chefranov<sup>1,4</sup>, and Alexander G. Chefranov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow 119017, Russia*  
*[mokhov@ifaran.ru](mailto:mokhov@ifaran.ru) ; [schefranov@mail.ru](mailto:schefranov@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

<sup>3</sup>*Moscow Institute for Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

<sup>4</sup>*Physics Department, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa 32000, Israel*  
*[csergei@technion.ac.il](mailto:csergei@technion.ac.il)*

<sup>5</sup>*Eastern Mediterranean University, Famagusta 99628, North Cyprus*  
*[Alexander.chefranov@emu.edu.tr](mailto:Alexander.chefranov@emu.edu.tr)*

It is shown that the hydrodynamics equations for a thin spherical liquid layer are satisfied by the stream function of a pair of antipodal vortices (APV), in contrast to the stream function of a single point vortex on a sphere with a background of a uniform opposite sign vorticity. A simple zero solution of the equation of the absolute vorticity conservation is used for bypassing well-known nonlinear problem of a point vortices interaction with regular vorticity field and an exact solution for APVs dynamics problem on a rotating sphere is obtained. Due to this a new stable stationary solution for the dynamics of APV is obtained, which can model the dynamics of the global vortex structures such as atmospheric centers of action.

(Physics of Fluids 32, 106605 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026014>)

**Savin S., Popov V., Budaev V., Pallocchia G., Koepke M.**

***Alfa- particles preferential heating versus protons by ion-sound and Alfvén nonlinear waves and cascades***

Мы развиваем гипотезу академика Силина о доминирующем турбулентном нагреве тяжелых ионов. Впервые представлены данные с КЛАСТЕРА, подтверждающие это.