

XXVII Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике

Конференц-зал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т. 36, ст. метро «Профсоюзная»
17-18 декабря 2018 г.

КРАТКИЕ АННОТАЦИИ ВЫСТУПЛЕНИЙ

Агафонцев Д.С., Кузнецов Е.А., Майлыбаев А.А.....	5
Развитие структур высокой завихренности и геометрические свойства преобразования вихревых линий.....	5
Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.	6
О применении модифицированной теории модуляции Уизема.....	6
Бадулин С., Григорьева В., Aouf L., Dalphinet A.	7
Высокоразрешающие модели прогноза морского волнения и статистическая теория волн на воде.....	7
Балакин А.А., Скобелев С.А., Андрианов А.В., Анашкина Е.А., Литвак А.Г.	8
Когерентное распространение лазерных пучков в малоразмерной системе слабосвязанных световодов.....	8
Бао Дж., Нейштадт А.И.	9
Переход через сепаратрисы во вращении тела с изменяемой геометрией масс.....	9
Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М.	10
Особенности синхронизации планетарных вариаций приповерхностной температуры в масштабах десятилетий по данным инструментальных наблюдений и данным моделирования.....	10
Вергелес С.С., Парфеньев В.М.	11
Вывод и анализ уравнений, описывающих генерацию течений и взаимодействие с ними волн на воде.....	11
Веретенев Н.А., Розанов Н.Н., Федоров С.В.....	12
Необратимый гистерезис трехмерных топологических запутанных лазерных солитонов.....	12
Гелаш А.А., Агафонцев Д.С.	13
Сильно взаимодействующий солитонный газ.....	13
Геогджаев В.	14
Устойчивость колмогоровского спектра волнения и численный счёт.....	14
Гончаров В.П.	15
Точно решаемая модель интрузии.....	15
Гордин В.А.....	16

Компактные разностные схемы для слабо нелинейных задач и граничные условия, имитирующие задачу Коши	16
Диденкулова (Шургалина) Е.Г., Слюняев А.В., Пелиновский Е.Н.	18
Численное моделирование динамики двойной системы нерегулярных волн в рамках уравнения Кортевега – де Вриза	18
Доброхотов С.Ю., Назайкинский В.Е.	19
Двухфазовые асимптотики в виде функций Эйри для задачи об обрушении волны для уравнения i -Бюргерса	19
Дрюма В.	20
Об интегрировании уравнений течения несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных	20
Дьяченко А.И.	21
Новые интегралы движения для волн на глубокой воде со свободной границе	21
Елаева М.С., Блантер Е.М.	22
Моделирование меридионального потока Солнца с помощью модели Курамото с тремя осцилляторами	22
Жужома Е.В., Медведев В.С.	23
Геометрическая модель недиссипативного быстрого динамо	23
Зубарев Н.М., Зубарева О.В.	24
Условия убегания электронов в газовом диоде с резко неоднородным электрическим полем	24
Зубарев Н.М., Кочурин Е.А.	25
Численное моделирование слабой турбулентности электрокапиллярных волн на поверхности жидкого диэлектрика	25
Иванов С.К., Камчатнов А.М.	26
Эволюция волновых импульсов в полностью нелинейной теории мелкой воды	26
Список литературы	27
Ингель Л.Х.	28
К нелинейной динамике турбулентных термиков	28
Калашник М.В., Курганский М.В.	29
Нелинейная динамика возмущений течения Колмогорова при больших числах Рейнольдса	29
Камчатнов А.М.	30
Теория Уизема для неинтегрируемых уравнений: распространение импульсов	30
Качулин Д.И., Гелаш А.А., Дьяченко А.И., Захаров В.Е.	31
Парные взаимодействия когерентных структур на поверхности глубокой воды	31
Конторович В.М., Спевак И.С., Гавриков В.К.	32
Отражение от поверхности нейтронной звезды в условиях плазмон-поляритонного резонанса и дополнительные компоненты в излучении пульсара в Крабе	32
Копьев А.В., Зыбин К.П.	33
Двухточечные третьи смешанные корреляторы скорости и градиента скорости в однородной изотропной турбулентности	33
Копьев В.Ф., Чернышев С.А.	34
Лагранжев формализм в задачах о малых колебаниях вихревых течений и его связь с вариационным принципом для идеальной несжимаемой гидродинамики вихревых нитей	34
Кострыкин С.В., Якушкин И.Г.	36
Стационарные режимы в задаче интенсивной ветровой циркуляции в мелком слое вязкой вращающейся жидкости	36
Кузнецов Е.А.	37

Квази-лагранжевое интегрирование двумерных уравнений Прандтля и Буссинеска в невязком пределе.....	37
Левина Г.В.	38
Гипотетическая вихредвижущая сила или о реализации турбулентного вихревого динамо в тропической атмосфере.....	38
Лоскутов Е.М., Мухин Д.Н., Гаврилов А.С., Куртц Ю., Фейгин А.М.....	39
Эмпирическое исследование критического перехода в климате плейстоцена на основе нелинейно-динамической реконструкции.....	39
Маевский Е.В., Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В., Попов В.Ю., Петрукович А.А., Зеленый Л.М.	40
Структура солнечного ветра в гелиосфере в зависимости от солнечного цикла: крупномасштабная динамика гелиосферного токового слоя	40
Мохов О.И., Стрижова Н.А.	41
Интегрируемость по Лиувиллю редукции уравнений ассоциативности на множество стационарных точек интеграла в случае трех примарных полей.....	41
Орлов А.В., Бражников М.Ю., Левченко А.А.	42
Затухание когерентного вихря двумерной турбулентности	42
Орлова А.А., Ефимов В.Б.	43
Распространение пробных импульсов второго звука в среде с квантовой турбулентностью в сверхтекучем гелии	43
Пархоменко Е.И., Малова Х.В., Попов В.Ю., Власова Н.А., Калегаев В.В., Зеленый Л.М., Панасюк М.И.	44
Моделирование взаимодействия ионов кислорода солнечного происхождения с диполизационными фронтами в сопровождении турбулентности как механизма пополнения радиационных поясов магнитосферы Земли.....	44
Полников В.Г.	45
Модель вертикального перемешивания, вызванного ветровыми волнами	45
Потапов А.А.	46
О применении теории размерности и нелинейной динамики в новом виде и методе радиолокации	46
Пушкарев А.Н., Захаров В.Е.	47
Автомодельные и лазеро-подобные режимы в численном моделировании кинетического уравнения Хассельмана океанских волн.....	47
Ремизов И.А., Султанова М.Р., Орлов А.В., Левченко А.А., Межов-Деглин Л.П.	48
Наблюдение локального максимума в стационарном турбулентном спектре капиллярных волн на поверхности жидкого водорода	48
Рубан В.П.	49
Трехмерное численное моделирование долгоживущих квантовых вихревых узлов и зацеплений в захваченном бозе-конденсате	49
Рыбаков Ф.Н., Борисов А.Б.	50
Взаимодействие скирмионов и новая концепция магнитной твердотельной памяти. 50	
Слюняев А.В., Досаев А.С.....	51
Самомодуляция сильно нелинейных волн на воде. Неполная рекуррентность.....	51
Теодорович Э.В.	52
Спектральные характеристики турбулентности в широком диапазоне волновых чисел	52
Хабибуллин И.Т., Хакимова А.Р.	53
Алгоритм построения пары Лакса для интегрируемых уравнений	53
Царева О.О., Попов В.Ю., Малова Х.В., Попова Е.П., Подзолко М.В., Зеленый Л.М. ..	54

Радиационная опасность на Земле и в околоземном пространстве в процессе инверсии магнитного поля	54
Шевченко И.И.	55
Эффекты хаотической «расчистки» в планетных системах	55
Шмерлин Б.Я., Новицкий М.А., Калмыкова О.В.	56
О новом подходе к прогнозированию смерчопасных ситуаций и других опасных конвективных явлений.....	56
Штремель М.	57
Особенности околорезонансных трехволновых взаимодействий в волнах на промежуточной глубине	57
Dyachenko A.I. Dyachenko S.A., Lushnikov P.M., Zakharov V.E.	58
New Integrals of Motion and Non-Canonical Hamiltonian Structure for 2D Hydrodynamics with Free Surface	58
Pierangeli D., Flammini M., Zhang L., Marcucci G., Agranat A.J., Grinevich P.G., Santini P.M., Conti C., and DelRe E.	60
Экспериментальное наблюдение повторяемости Ферми-Паста-Улама в оптическом эксперименте	60
Savin S., Pallocchia G., Wang C., Legen L.	61
Collisionless interactions: magnetopause communicates with bow shock?	61
Tsareva O.O., Fruit G., Louarn P., Tur A., Malova H.V., Popov V.Yu.	62
Drift-Alfven instability in a 2D magnetotail configuration – the addition of bouncing electrons	62

Агафонцев Д.С., Кузнецов Е.А., Майлыбаев А.А.

Развитие структур высокой завихренности и геометрические свойства преобразования вихревых линий

В несжимаемых трехмерных уравнениях Эйлера развиваются очень тонкие блинноподобные области увеличивающейся завихренности. Эти области развиваются согласно скейлингу $W_{max} \sim L^{-2/3}$ между максимумом завихренности и толщиной блина, как это было обнаружено в недавних численных экспериментах [D.S. Agafontsev et al, Phys. Fluids 27, 085102 (2015)]. Мы изучаем процесс развития блинов в терминах представления вихревых линий (ПВЛ), которое представляет собой частичное интегрирование уравнений Эйлера относительно сохранения инвариантов Коши и описывает сжимаемую динамику непрерывно распределенных вихревых линий. Впервые мы представляем численное моделирование уравнений ПВЛ с высокой точностью, которое мы выполняем на адаптивных анизотропных решетках с числом узлов вплоть до 1536^3 . С помощью этих симуляций мы показываем, что рост завихренности связан со сжимаемостью вихревых линий и находим геометрические свойства, ответственные за наблюдаемый скейлинг $W_{max} \sim L^{-2/3}$.

Алексеева Е.С., Рассадин А.Э.

О применении модифицированной теории модуляции Уизема

ННМО, Нижний Новгород, Россия

kometarella@mail.ru,

brat_ras@list.ru

Как хорошо известно, асимптотическое решение нелинейного уравнения Клейна-Гордона-Фока

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + U'(v) = 0 \quad (1)$$

может быть построено с помощью теории модуляции Уизема [1].

В данном докладе в рамках модификации теории Уизема, представленной в [2, 3], показано, что для модельного потенциала $U(v) = (v - v^{-1})^2$ уравнение (1) имеет следующее приближённое решение:

$$v(x, t) = \sqrt{\sqrt{1 + a^2(x, t)} + a(x, t) \cdot \cos(\theta(x, t) + \theta_0)}, \quad \theta(x, t) = \frac{\sqrt{8} \cdot (V \cdot x - t)}{\sqrt{1 - V^2}}. \quad (2)$$

Здесь θ_0 — постоянная начальная фаза, а функция $a(x, t)$, играющая роль переменной амплитуды модулированной волны (2), удовлетворяет линейному уравнению переноса:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + V \cdot \frac{\partial a}{\partial x} = 0, \quad -1 < V < 1. \quad (3)$$

В частности, легко видеть, что у построенного решения произведение Уизем-аналогов групповой и фазовой скоростей волны равно единице.

Кроме того, если θ_0 является случайной величиной, то в этом приближении:

$$\langle v^2(x, t) \rangle = \sqrt{1 + a^2(x, t)} + a(x, t) \cdot (\cos \theta(x, t) \cdot \operatorname{Re} f_{\theta_0}(1) - \sin \theta(x, t) \cdot \operatorname{Im} f_{\theta_0}(1)), \quad (4)$$

где $f_{\theta_0}(1)$ — значение характеристической функции величины θ_0 .

Решение (2)-(4) благодаря его простоте и содержательности можно использовать в учебном процессе для демонстрации теории Уизема. Также формулы (2) и (3) удобны для получения следующих приближений теории возмущений в рамках этого подхода [4].

1. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. — М.: Мир, 1977.

2. Костромина О.С., Потапов А.А., Ракуть И.В., Рассадин А.Э. Колебания в однородной цепочке с сегнетоэлектрическими конденсаторами с отрицательной ёмкостью // Учёные записки физического факультета Московского университета. 2017. N 6. 1760703.

3. Алексеева Е.С., Рассадин А.Э. Асимптотический анализ уравнения Клейна-Гордона-Фока с чисто кубической нелинейностью // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" имени Е.В. Воскресенского: VIII Международная научная молодежная школа-семинар (Саранск, 16-20 июля 2018 г.). Саранск: СВМО, 2018. С.: 12-15.

4. Маслов В.П., Омелянов Г.А. Асимптотические солитонобразные решения уравнений с малой дисперсией // УМН. 1981. Т. 36. Вып. 3(219). С. 63–126.

Бадулин С., Григорьева В., Aouf L., Dalphiné A.

Высокоразрешающие модели прогноза морского волнения и статистическая теория волн на воде

*Сергей Бадулин, Виктория Григорьева (ИО РАН),
Lotfi Aouf (Division Marine et Océanographie Météo-France),
Alice Dalphiné (Météo-France)*

Увеличение пространственно-временного разрешения численных моделей и систем мониторинга рассматривается как перспективное направление совершенствования оперативного прогноза волнения в Мировом океане. При этом возникают серьезные проблемы соответствия разрешения, достигаемого в численных моделях, количества измерений, используемых в системах усвоения данных, и естественных ограничений применимости самих физических моделей, лежащих в основе прогнозирования. Некоторые из этих проблем рассматриваются в работе на результатах работы трех моделей: CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) с разрешением 0.1° , MFWAM (Meteo-France WAve Model) - 0.025° и WaveWatch III с разрешением 0.01° .

Проанализированы данные для атлантической акватории юго-запада Европы за период 1.01.2018-28.02.2018. Наряду с удовлетворительным согласием в целом, модели демонстрируют значимые расхождения величин изменчивости волнения на масштабах 20-50 км, которые отвечают релаксационным процессам волнового поля за счет нелинейных резонансных взаимодействий. Эти процессы играют определяющую роль в динамике волнения (по сравнению с ветровой накачкой и диссипацией) и достаточно точно описываются простыми аналитическими соотношениями теории волновой турбулентности, позволяя восстановить период и крутизну волнения по изменчивости высоты как для данных моделирования, так и для данных спутниковой альтиметрии. Анализ результатов показывает вероятную избыточность разрешения модели WaveWatch III 0.01° при моделировании волнения. Расхождения в двух других тестируемых моделях, в основном, связаны с различиями в разделении поля волнения на компоненты зыби и ветровое волнение.

**Балакин А.А., Скобелев С.А., Андрианов А.В.,
Анашкина Е.А., Литвак А.Г.**

***Когерентное распространение лазерных пучков в
малоразмерной системе слабосвязанных световодов***

Найдены устойчивые распределения интенсивных волновых пучков в малоразмерной оптической системе из $2N$ идентичных слабосвязанных световодов, позволяющие когерентную транспортировку излучения на большие расстояния. Полная мощность излучения в найденных распределениях может многократно (до $2N$ раз) превышать критическую мощность самофокусировки в непрерывной среде. Наиболее явно это проявляется для распределения с противофазными полями в соседних волноводах, устойчивого при произвольной мощности волнового пучка. Прямое численное моделирование нелинейного волнового уравнения подтверждает устойчивость найденных распределений полей.

Бао Дж., Нейштадт А.И.

Переход через сепаратрисы во вращении тела с изменяемой геометрией масс

Рассматривается свободное вращение тела, части которого медленно движутся друг относительно друга под действием внутренних сил. Эта задача может рассматриваться как возмущение задачи о вращении твердого тела в случае Эйлера-Пуансо. Задача имеет приближенный закон сохранения – адиабатический инвариант. Это позволяет описать эволюцию вращения в адиабатическом приближении. Эволюция приводит к кувырканию во вращении тела: вектор угловой скорости пересекает сепаратрисы задачи Эйлера-Пуансо. Сепаратрисы делят фазовое пространство на области. Вопрос о том, в какой области продолжится движение после перехода через сепаратрисы и удаления от них, не имеет детерминированного ответа в адиабатическом пределе, когда скорости относительного движения частей тела стремятся к 0. Это общее свойство задач о переходе через сепаратрисы: малое изменение начальных условий или изменение величины малого параметра приводят к изменению исхода эволюции. Можно говорить только о вероятности захвата в ту или иную область. В работе получены формулы для вычисления этих вероятностей.

Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М.

Особенности синхронизации планетарных вариаций приповерхностной температуры в масштабах десятилетий по данным инструментальных наблюдений и данным моделирования

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

С помощью вейвлетов рассматриваются особенности полушарных вариаций приземной температуры воздуха и температуры водной поверхности, представленные в рядах инструментальных метеорологических наблюдений с конца XIX-го века до настоящего времени. Обнаружена сильная фазовая синхронизация этих вариаций между полушариями и между сушей и морем во временных масштабах около одного, двух и шести – семи десятилетий и отсутствие такой синхронизации в промежуточных масштабах. Это позволяет думать, что спектр температурных вариаций в рассматриваемом диапазоне масштабов (от года до столетия) не является непрерывным, как это можно было ожидать, если бы рассматриваемые вариации были хаотическими. Аналогичное сравнение полушарных вариаций температуры в длительных интегрированиях моделей общей циркуляции атмосферы и океана проекта CMIP5 обнаружило существенные отличия фазовой синхронизации почти во всех временных масштабах. Предполагается, что причиной различий в характере фазовой синхронизации реальных и моделированных рядов температуры является неверный учет в моделях квазипериодических воздействий на климатическую систему, связанных с солнечной активностью.

Вергелес С.С., Парфеньев В.М.

Вывод и анализ уравнений, описывающих генерацию течений и взаимодействие с ними волн на воде

ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Мы получаем уравнения, описывающие генерацию медленных течений волнами на воде и взаимодействием между волнами и медленными течениями. Наш теоретический и экспериментальный опыт в области возбуждения вихревых течений системой ортогонально распространяющихся монохроматических волн говорит, что возбуждение вихревых течений происходит только за счёт диссипации в волнах. В нашем случае обрушений волн не происходило, поэтому единственным каналом диссипации в волнах была вязкая диссипация. В предлагаемом нами теоретическом исследовании мы показываем, что закон сохранения количества движения, записанный в интегральной форме для приповерхностного слоя, в котором содержатся горбы и впадины волн, позволяет проследить прямую связь между вязкой диссипацией в волнах и возбуждением ими медленного течения жидкости. Мы получаем эффективные граничные условия для медленного течения на горизонтальной поверхности (предполагая предел малого числа Фруда) в виде виртуального волнового касательного напряжения. Мы демонстрируем, что наш подход, выполненный исключительно в рамках эйлерового описания, выгодно отличается от развиваемых в настоящее время альтернативных подходов, основанных на рассмотрении лагранжевого движения жидкости.

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

Необратимый гистерезис трехмерных топологических запутанных лазерных солитонов

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

В лазерной среде с насыщающимся усилением и поглощением или же в лазере с такой средой и достаточно большой длиной резонатора авторами ранее продемонстрирован класс диссипативных трехмерных топологических солитонов. Такие солитоны обладают «скелетами» – набором нескольких замкнутых и незамкнутых вихревых линий, на которых поле обращается в 0, а фаза при обходе которых получает приращение, кратное 2π . Существенно, что области параметров схемы, в которых различные типы топологических солитонов существуют и устойчивы, перекрываются. Соответственно, возникает вопрос о характере изменения структуры солитонов и их скелетов при медленном изменении параметров. Ответ на этот вопрос, преимущественно в рамках численного моделирования, и служит предметом настоящего доклада.

Исходным уравнением служит обобщенное комплексное уравнение Гинзбурга-Ландау для медленно меняющейся огибающей поля, причем эволюционной переменной служит продольная координата вдоль трассы преимущественного распространения z . Контрольным параметром служит коэффициент линейного (ненасыщенного) усиления поля g_0 . Начальное значение этого параметра отвечает центральной части области устойчивости исходного солитона (для определенности, «соломонова солитона»). Затем g_0 медленно возрастает, пересекая границу устойчивости, после чего стабилизируется и медленно убывает, возвращаясь в конце концов к исходному значению.

Мы демонстрируем, что в результате такого гистерезисного цикла солитон не возвращается к исходному – его структура кардинально упрощается. Это выражается в уменьшении значений различных топологических индексов, а также в уменьшении энергии поля и увеличении энергии активной среды (за вычетом ее постоянного фона). На стадии уменьшения g_0 топологические характеристики не меняются (два «солитона-яблока». Переходный процесс включает серию элементарных реакций перезамыкания вихревых линий и отрыва замкнутых петель после сильного изгиба родительской вихревой линии. Кроме того, в течение переходного процесса возникает ряд новых метастабильных типов локализованных топологических структур. Представлены анимации динамики гистерезисных изменений топологической структуры лазерных солитонов.

Гелаш А.А., Агафонцев Д.С.

Сильно взаимодействующий солитонный газ

А. А. Гелаш^{1,2}, Д. С. Агафонцев^{1,3}

1. Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск

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

3. Институт океанологии им. П.П. Ширшова, РАН, Москва

Будут представлены результаты работы [1], которая посвящена исследованию сильно взаимодействующего (имеющего высокую пространственную плотность) газа солитонов НУШ. Наш подход к моделированию такого газа основан на генерации статистических ансамблей N -солитонных решений с $N \sim 100$. Прямое использование хорошо известных точных N -солитонных формул приводит к численным ошибкам уже при $N \sim 10$ по причине плохой обусловленности задачи. Эта неустойчивость носит исключительно численный характер и о физической неустойчивости решений речь не идет. Для того, чтобы преодолеть проблему плохой обусловленности задачи мы используем для построения N -солитонных решений метод одевания комбинированный с арифметикой произвольной точности. На сколько нам известно, N -солитонные решения с таким большим числом солитонов ранее не конструировались и не исследовались. Мы используем ансамбли N -солитонных решений в качестве начальных условий для дальнейшего численного моделирования статистических характеристик волнового поля сильно взаимодействующего солитонного газа, таких как PDF волновых амплитуд, спектр волнового действия, кинетическая и потенциальная энергии. Также изучается динамика волнового поля такого солитонного газа, например профиль формирующихся волн-убийц. В заключении доклада будут обсуждаться дальнейшие перспективы применения метода генерации N -солитонных решений с большим N .

[1] A.A. Gelash and D.S. Agafontsev, Strongly interacting soliton gas and formation of rogue waves. PRE, 98, 042210, 2018.

Геогджаев В.

Устойчивость колмогоровского спектра волнения и численный счёт

Колмогоровский спектр гравитационных волн устойчив к малым возмущениям. Для этих возмущений рассчитан инкремент затухания, показана его зависимость от частоты волн. Показано влияние этого инкремента на устойчивость численных расчётов. Обнаружено, что переход к методу DIA сильно уменьшает значение инкремента по сравнению с реальным.

Гончаров В.П.

Точно решаемая модель интрузии

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

Подход конформных отображений используется, чтобы сформулировать минимальную, точно разрешимую модель для изучения интрузии, возникающей в бесконечном горизонтальном канале при извлечении затвора, разделяющего две несжимаемые жидкости разной плотности. Отличительной особенностью таких течений является скачок давления, который появляется на границе раздела сразу после удаления затвора. По этой причине процесс интрузии не вписывается в сценарий теории Бенджамина, а скорее похож на распространение двух встречных ударных волн. Будучи идентичными по форме и скорости, они двигаются в противоположных направлениях вдоль верхней и нижней границе канала, достигая при $t \rightarrow \infty$ установившегося режима распространения с постоянной скоростью $V_\infty = (1/2 Agh)^{1/2}$, где A – число Атвуда, g – ускорение силы тяжести, h – высота канала.

Гордин В.А.

Компактные разностные схемы для слабо нелинейных задач и граничные условия, имитирующие задачу Коши

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» & ФГБУ «Гидрометцентр России»

Компактные разностные схемы хорошо известны и демонстрируют высокий порядок точности для дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Разработаны алгоритмы построения компактных схем 4-го порядка для краевых задач с переменным (гладким и со скачком) коэффициентом. Для уравнений диффузии с гладким переменным коэффициентом и уравнения Левина – Леонтовича также построены разностные схемы и экспериментально подтвержден их 4-й порядок. Метод построения компактных схем 4-го порядка можно обобщить на уравнения и системы в частных производных со слабой нелинейностью, например, на уравнение Фишера – Колмогорова – Петровского – Пискунова, нелинейное уравнение Шрёдингера или система Фитцхью – Нагумо. Для нелинейных задач используется комбинация простых явных схем и релаксации. Производится их сравнение по быстродействию. Экстраполяция Ричардсона позволяет повысить порядок схем до 6-го.

Для ряда разностных схем, аппроксимирующих важнейшие эволюционные уравнения математической физики можно построить специальные граничные условия, имитирующие задачу Коши на всей прямой. Эти разностные граничные условия существенно зависят не только от исходного уравнения, но и от типа разностной схемы, и даже от коэффициентов соответствующего дифференциального уравнения. Граничные условия определяются с точностью до нормировки. Но при численной реализации выбор этой нормировки оказывается существен. Важна роль рациональных аппроксимаций типа Паде – Эрмита символа соответствующего псевдодифференциального оператора.

Работа была поддержана грантом № 18-05-0011 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» 2018 - 2019 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации "5-100".

В.А.Гордин. О смешанной краевой задаче, имитирующей задачу Коши. Успехи матем. наук, 33(5), с.181-182, 1978.

В.А.Гордин. Применение проекторов в прогностических схемах. Труды Гидрометцентра СССР, № 212, с.79-96 (1978).

В.А.Гордин. Граничное условие полного поглощения волн, выходящих из прогностической области для дифференциального уравнения в частных производных. Труды Гидрометцентра СССР, № 242, с.104-120 (1982)

В.А.Гордин. Применение векторной аппроксимации Паде для численного решения эволюционных прогностических уравнений. Метеорология и гидрология, N11, pp.24-37 (1982).

В.А.Гордин. Математические задачи гидродинамического прогноза погоды. Вычислительные аспекты. Ленинград, Гидрометеиздат, 264с (1987).

В.А.Гордин. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики. М., ФИЗМАТЛИТ, 733 стр. 1-е изд. 2010, 2-е изд. 2012-2013.

V.A. Gordin, E.A. Tsymbalov. *Compact difference schemes for the diffusion and Schrodinger equations. Approximation, stability, convergence, effectiveness, monotony* // Journal of Computational Mathematics, Vol. 32, No.3, 2014, pp. 348-370.

<http://www.global-sci.org/jcm/galley/JCMCR-14.pdf>

В.А.Гордин. *Дифференциальные и разностные уравнения. Какие явления они описывают и как их решать.* «Издательский дом ВШЭ», М., 2016. 530 стр.

Гордин В.А., Цымбалов Е. А. Разностная схема 4-го порядка точности для дифференциального уравнения с переменными коэффициентами. Математическое моделирование, 2017, т.29, №7, стр.3-14 (Russian). [V.A. Gordin, E.A. Tsymbalov](#). 4-th order difference scheme for differential equation with variable coefficients. Mathematical Models and Computer Simulations, v.10, №1, pp.3-14, 2018 (English).

Гордин В. А., Цымбалов Е. А. [Компактная разностная схема для дифференциального уравнения с кусочно-постоянным коэффициентом.](#) // Математическое моделирование. 2017, т.29, №12, стр.16-28.

[V.A. Gordin, E.A. Tsymbalov](#). Compact difference schemes for weakly-nonlinear parabolic and Schrodinger-type equations and systems. arXiv preprint arXiv:1712.05185, (2017).

[V.A. Gordin, E.A. Tsymbalov](#). Compact difference scheme for parabolic and Schrodinger-type equations with variable coefficients. J. Comp. Phys. V.375, pp.1451-1468, 2018.

[V.A. Gordin, A.A. Shemendyuk](#). "Transparent" Boundary Conditions for the Equation of Rod Transverse Vibrations. Preprint <https://arxiv.org/submit/2447606/view> 2018, submitted to Journal of Sound and Vibration

**Диденкулова (Шургалина) Е.Г., Слюняев А.В.,
Пелиновский Е.Н.**

***Численное моделирование динамики двойной системы
нерегулярных волн в рамках уравнения Кортевега – де Вриза***

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Динамика нерегулярных волн исследуется с помощью численного моделирования в рамках уравнения Кортевега – де Вриза. Исследуется влияние второй системы волн на эволюцию статистических характеристик волновых полей и спектров. Такая двойная система волн может соответствовать, например, взаимодействию ветровых волн и волн зыби на мелкой воде.

Доброхотов С.Ю., Назайкинский В.Е.

Двухфазовые асимптотики в виде функций Эйри для задачи об обрушении волны для уравнения i -Бюргерса

*Институт проблем механики РАН им. А.Ю. Ишлинского,
Московский физико-технический институт
E-mail: dobr@ipmnet.ru, nazaikinskii@googlemail.com*

Мы рассматриваем задачи об обрушении волны для уравнения Бюргерса с малой «мнимой вязкостью», которая на самом деле играет роль малой дисперсии. Хотя, по-видимому, такое уравнение физического смысла не имеет, тем не менее рассматриваемая задача является интересным аналогом знаменитой задачи Гуревича-Питаевского об образовании зоны осцилляций при обрушении «простой волны» для уравнения Кортевега-де Фриза. При этом, в отличие от уравнения Кортевега де Фриза для уравнения i -Бюргерса решение в зоне осцилляций описывается явно и имеет «двухфазовую структуру». На этот факт было указано более 25 лет назад в работе С.Ю. Доброхотова, В.П. Маслова и В.Б. Цветкова (Математические заметки, 51:6,1992, С.143-147), где решение было построено в виде функции от канонического оператора Маслова. Здесь мы приводим решения в более эффективной форме- в виде равномерной асимптотики, представленной как логарифмическая производная от функции Эйри сложного аргумента.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (тема АААА-А17-117021310377-1).

Дрюма В.

Об интегрировании уравнений течения несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных

ИМИ РМ (Кишинев)

В докладе будет рассказано о построении точных решений уравнений трехмерных течения несжимаемой жидкости в лагранжевых переменных на основе параметрического представления функций и их частных производных.

В качестве основного объекта рассматривается условие несжимаемости, которое при лагранжевом подходе к описанию течений жидкости допускает точное интегрирование с достаточно большим функциональным произволом.

Литература

1. Dryuma V. S. On equations of incompressible liquids in Lagrangian variables, Международная конференция "Современные проблемы механики сплошной среды, посвященная памяти академика Леонида Ивановича Седова в связи со столетием со дня его рождения", Тезисы докладов, стр.14-15, МИАН, Москва, 13-15 ноября 2017.

Дьяченко А.И.

Новые интегралы движения для волн на глубокой воде со свободной границе

Хорошо известно, что в приближении слабой нелинейности для волн на воде (теория слабой турбулентности), когда учитываются только четырех-волновые взаимодействия, имеется интеграл движения - полное "число волн" (волновое действие). Волны на глубокой воде могут быть разделены на две группы, бегущие влево и бегущие вправо. Показано, что особые свойства коэффициента четырех-волнового взаимодействия приводят к сохранению не только полного "числа волн", но и двух новых интегралов движения: "число волн", бегущих влево, и "число волн", бегущих вправо.

Елаева М.С., Блантер Е.М.

Моделирование меридионального потока Солнца с помощью модели Курамото с тремя осцилляторами

М.С.Елаева
*НИУ Высшая школа экономики,
Email: melaeva@hse.ru*

Е.М.Блантер
*Институт теории прогноза землетрясений и
математической геофизики РАН,
НИУ Высшая школа экономики
Email: ablanter@hotmail.com*

Меридиональный поток Солнца является важной составляющей солнечного динамо. Согласно наблюдениям гелиосейсмологии меридиональный поток в каждой полусфере состоит из трех циркуляционных ячеек. Мы используем модель Курамото с тремя связанными осцилляторами для математического описания фазовой синхронизации циркуляционных ячеек меридионального потока. Мы рассматриваем модель с симметричной связью и частотой среднего осциллятора близкой к нулю. С ее помощью мы восстанавливаем угловые скорости меридионального потока на поверхности Солнца и в глубине зоны конвекции. Мы показываем, что для данной модели скорость меридионального потока на поверхности Солнца должна быть не менее, чем вдвое выше его скорости в глубине. Полученное соотношение скоростей соответствует гелиосейсмологическим наблюдениям.

Жужома Е.В., Медведев В.С.

Геометрическая модель недиссипативного быстрого динамо

*НИУ Высшая Школа Экономики (Россия, Нижний Новгород)
E-mail: zhuzhoma@mail.ru, medvedev@unn.ac.ru*

Различные аспекты теории кинематического динамо рассматривались Паркером Е. и Эль-зассаром В, и др. При этом теоретические исследования наталкивались на серьезные математические трудности вследствие существенной нелинейности задачи. Важной частью теории кинематического динамо является теория быстрого кинематического динамо, которая исследует существование такого движения среды, которое вызывает экспоненциальный рост так называемого затравочного магнитного поля (или магнитной энергии) при малой магнитной диффузии. Общепринятая точка зрения состоит в том, что эффект быстрого кинематического динамо является причиной существования магнитных полей в космических масштабах.

В связи с большими теоретическими трудностями проблемы быстрого кинематического динамо стали разрабатываться различные геометрические и топологические конструкции движений проводящей среды, которые приводят к многократному усилению затравочного магнитного поля. Грубо говоря, основная идея сводилась к построению консервативного отображения, которое, с учетом вмороженности силовых линий, приводит к многократному увеличению плотности силовых линий магнитного поля.

В 70-ых годах 20-ого века Я.Б. Зельдович предложил конструкцию так называемого веревочного динамо, которая в идейном плане легла в основу современных геометрических конструкций трехмерных моделей быстрого динамо. С точки зрения теории динамических систем конструкция Зельдовича представляет собой отображение полнотория в себя, и имеет положительную топологическую энтропию (то есть, отображение достаточно хаотичное). Отметим, что конструкция Зельдовича соответствует отображению Смейла построения гиперболического соленоида. С точки зрения теории кинематического динамо указанная конструкция имеет существенный недостаток, состоящий в том, что предложенное отображение не является консервативным.

В докладе мы приводим модификацию конструкции Зельдовича, лишенную этого недостатка в окрестности неблуждающего множества. Показывается, что построенное отображение продолжается до диффеоморфизма 3-мерной сферы или евклидова пространства.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект 17-11-01041.

Зубарев Н.М., Зубарева О.В.

Условия убегания электронов в газовом диоде с резко неоднородным электрическим полем

Проведено исследование динамики убегания электронов в газовом диоде в резко неоднородном электрическом поле, обусловленном геометрией электродов. Для поля, спадающего с удалением от катода по корневому закону (эта ситуация реализуется для кромочного катода), получено аналитическое решение уравнений движения электронов. Согласно ему, убегание электронов носит пороговый характер - для их непрерывного ускорения на периферии, в области слабого поля, требуется, чтобы приложенная разность потенциалов превышала некоторое пороговое значение, определяемое межэлектродным расстоянием и параметрами газа. Это условие дополняет классическое условие убегания, согласно которому напряженность поля вблизи эмиссионной кромки катода должна превышать зависящее лишь от параметров газа значение. Как оказывается, новое условие накладывает более высокие требования, чем классическое, на величину поля для сильно заостренной кромки катода. Наши расчеты подтверждаются проведенными экспериментами, в которых определялись условия убегания электронов для серии катодов с различными радиусами скругления кромки.

Зубарев Н.М., Кочурин Е.А.

**Численное моделирование слабой турбулентности
электрокапиллярных волн на поверхности жидкого
диэлектрика**

Н.М. Зубарев^{1,2}, Е.А. Кочурин¹

¹*Институт электрофизики УрО РАН, 620016 Екатеринбург, Россия*

²*Физический институт им. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия*

В настоящей работе проведено прямое численное моделирование процесса взаимодействия плоских капиллярных волн на поверхности жидкого диэлектрика во внешнем тангенциальном электрическом поле с учетом сил вязкости. Показано, что взаимодействие встречных нелинейных волн может привести к возникновению прямого энергетического каскада. В режиме квазистационарной диссипации энергии функции плотности вероятности для углов наклона границы стремятся к нормальному распределению Гаусса, а форма границы приобретает сложную, хаотическую форму. Спектр поверхностных возмущений в этом режиме описывается степенной зависимостью $k^{-5/2}$. В терминах энергии полученный спектр имеет форму $k^{-3/2}$, что совпадает с энергетическим спектром Ирошникова-Крайчнана и свидетельствует о родственной природе наблюдаемой волновой турбулентности поверхности жидкости и слабой магнитогидродинамической турбулентности взаимодействующих альфвеновских волн.

Иванов С.К., Камчатнов А.М.

Эволюция волновых импульсов в полностью нелинейной теории мелкой воды

Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, 117303

Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк, 108840

Хотя теория мелкой воды является классическим предметом исследований с огромным количеством посвященных ей работ, она по-прежнему остается очень активной областью исследований со множеством важных приложений. Даже в своей простейшей формулировке — в одномерной геометрии, когда пренебрегают эффектами диссипации и неровностью дна, присутствие нелинейности и дисперсии приводит к довольно сложным волновым формам, которые в решающей степени зависят от начального профиля импульса. Например, если эффекты нелинейности и дисперсии учитываются в самом низком приближении и имеется только однонаправленное распространение волны, то ее динамика определяется знаменитым уравнением Кортевега-де Фриза (КдФ). Сравнение с экспериментами (см., например, [1, 2]) показывает, что приближение КдФ недостаточно хорошо, и нужно выйти за его пределы, так как в типичных экспериментальных ситуациях длина волны не очень велика по сравнению с глубиной воды. Поэтому значительные усилия были направлены на выведение соответствующего волнового уравнения, где принимались только малые эффекты нелинейности. Одна из самых популярных моделей была впервые предложена и подробно изучена Серре [3], а затем те же уравнения были получены в работах [4, 5]

$$h_t + (hu)_x = 0,$$

$$u_{tt} + uu_x + h_x = \frac{1}{h} \left[\frac{1}{3} h^3 (u_{xt} + uu_{xx} - (u_x)^2) \right]_x. \quad (1)$$

Уравнение Серра (Грина-Нахди или Су-Гарднера) имеет хорошее периодическое и солитонное решение, поэтому теорию модуляции Уизема можно сформулировать в рамках стандартного подхода [6, 7]. Однако, в отличие от теории уравнений КдФ, в случае уравнения Серра уравнения модуляции Уизема не могут быть преобразованы к диагональному виду Римана. Отсутствие инвариантов Римана препятствует приложениям теории модуляции Уизема к описанию волн, подчиняющихся уравнению Серра. Несмотря на это, некоторые важные последствия теории Уизема могут быть получены без знания инвариантов. Таким примером может послужить гладкая волна, описываемая двумя уравнениями бездисперсионного приближения. Следовательно, если рассматривать однонаправленное (простое волновое решение) распространение, то один из инвариантов Римана является постоянным. Если эта простая волна опрокидывается с образованием ДУВ, то потоки на обеих границах ДУВ имеют одинаковые значения соответствующего бездисперсионного инварианта Римана. Помимо этого Элем было сделано важное исследование закона сохранения «количества волн» и его солитонного аналога (см. [8]), с помощью которого можно найти законы движения краев ДУВ в задачах, связанных с автомодельной эволюцией ступени, таких как начальные разрывы.

Чтобы выйти за рамки начального профиля в виде разрыва, нужно использовать некоторую дополнительную информацию о свойствах уравнений модуляции Уизема на

краях ДУВ. В частности, хорошо известно и было использовано в методе Эля, что характерные скорости системы Уизема сводятся на границах ДУВ либо к групповой скорости на малоамплитудном краю, либо к скорости солитона на солитонном краю. Как было показано в работе [9] для случая уравнения КдФ, эта информация вместе с известными предельными выражениями для уравнения Уизема позволяет найти закон движения соответствующего малоамплитудного края для начального условия в виде простой волны. Чтобы распространить этот метод на неинтегрируемые уравнения, мы можем прибегнуть к методу вычисления характерных скоростей Эля и объединить его с известной формой годографа уравнений Уизема (см., например, [10]). Как было показано в работе [11], такой подход позволяет найти некоторые наиболее важные свойства эволюции импульса в достаточно простой аналитической форме. В настоящем докладе мы покажем применение методов работы [11] к исследованию эволюции начальных импульсов в виде простой волны в теории уравнений Серра и дадим аналитическое решение для законов движения краев ДУВ, образуемых в процессе эволюции начального импульса. Аналитические результаты подтверждены численными расчетами.

Список литературы

- [1] J. L. Hammack and H. Segur, *J. Fluid Mech.* 65, 289 (1974); *ibid.*, *J. Fluid Mech.* 84, 337 (1978).
- [2] S. Trillo, M. Klein, G. F. Clauss, M. Onorato, *Physica D* 333, 276 (2016).
- [3] F. Serre, Contribution a l'étude des écoulements permanents et variables dans les canaux, *La Houille Blanche*, 8, 374-388, 830-887 (1953).
- [4] C. H. Su and C. S. Gardner, Korteweg-de Vries equation and generalizations. III. Derivation of the Korteweg-de Vries and Burgers equation, *J. Math. Phys.*, 10, 536 (1969).
- [5] A. E. Green and P. M. Naghdi, A derivation of equations for wave propagation in water of variable depth, *J. Fluid Mech.*, 78, 237 (1976).
- [6] G. B. Whitham, Nonlinear dispersive waves, *Proc. Roy. Soc. London, A* 283, 238 (1965).
- [7] G. B. Whitham, *Linear and Nonlinear Waves* (Wiley Interscience, New York, 1974).
- [8] G. A. El, *Chaos* 15, 037103 (2005); *ibid.* 16, 029901 (2006).
- [9] A. V. Gurevich, A. L. Krylov, and N. G. Mazur, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 95, 1674 (1989) [*Sov. Phys. JETP* 68, 966 (1989)].
- [10] A. M. Kamchatnov, *Nonlinear Periodic Waves and Their Modulations—An Introductory Course*, (World Scientific, Singapore, 2000).
- [11] A. M. Kamchatnov, “On the dispersive shock waves theory for non-integrable equations”.

Ингель Л.Х.

К нелинейной динамике турбулентных термик

*ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017, Москва, Пыжневский
пер., 3,
lev.ingel@gmail.com*

Нередко используемая модель турбулентной конвекции от локализованных источников плавучести и (или) импульса, действующих в течение короткого времени – изолированные термики. В такой модели область возмущения (термик) приближенно представляется в виде поднимающегося (или опускающегося – в зависимости от знака возмущения) «пузыря» или вихревого кольца переменного объема и массы. Объем термика постепенно растет вследствие захвата им прилегающих объемов окружающей среды («вовлечение» – entrainment). Для термика записывается нелинейная система уравнений баланса массы, импульса и плавучести. В настоящей работе нелинейная интегральная модель турбулентных термик обобщена на случай наличия горизонтальной составляющей его движения относительно среды (например, всплывания термика в сдвиговом потоке). По сравнению с традиционными моделями дополнительно учтена возможность наличия в термике источников тепла и количества движения. Задача решена в квадратурах. Анализируются различные предельные случаи. Обращается внимание на нелинейный эффект взаимодействия горизонтальной и вертикальной составляющих движения термика, поскольку каждая из составляющих влияет на интенсивность вовлечения окружающей среды, т.е. на скорость роста размеров термика и, следовательно, на его подвижность. Интенсификация вовлечения за счет взаимодействия термика с поперечным потоком может приводить к существенному уменьшению его подвижности.

Калашник М.В., Курганский М.В.

Нелинейная динамика возмущений течения Колмогорова при больших числах Рейнольдса

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

109017 Москва, Пыжевский пер., 3, Россия; e-mail: kurgansk@ifaran.ru

*** Научно-производственное объединение "Тайфун"*

249038 г. Обнинск, Калужская обл., ул. Победы, 4, Россия

Исследована нелинейная динамика длинноволновых возмущений течения Колмогорова при больших значениях числа Рейнольдса. Для описания динамики использован метод Галеркина с базисными функциями, представляющими собой первые три члена разложения решения в тригонометрический ряд. Из условий ортогональности этим функциям сформулирована нелинейная система уравнений в частных производных для коэффициентов разложения. На основе асимптотических решений этой системы выделены линейная, квазилинейная и нелинейная стадия динамики возмущений. Показано, что экспоненциальный временной рост возмущений на первых двух стадиях сменяется стадией устойчивых нелинейных колебаний. Соответствующие колебания описываются уравнением осциллятора с кубической нелинейностью, которое интегрируется в терминах эллиптических функций. Получена аналитическая формула для периода колебаний, определяющая его зависимость от амплитуды начального возмущения. Описаны структурные особенности поля функции тока возмущений, связанные с образованием замкнутых вихревых ячеек и меандрирующего потока между ними.

Камчатнов А.М.

***Теория Уизема для неинтегрируемых уравнений:
распространение импульсов***

Институт спектроскопии РАН

В докладе будут представлены результаты работы [1] по изучению эволюции импульсов, динамика которых подчиняется неинтегрируемым уравнениям. Будет показано, что если в бездисперсионном пределе импульс соответствует простой волне, то некоторые важные параметры дисперсионной ударной волны, образующейся после опрокидывания импульса, могут быть рассчитаны аналитически методом Уизема. Теория обобщает метод Г. А. Эля, развитый ранее для начальных импульсов в форме «ступеньки», на импульсы произвольной начальной формы. В частности, теория позволяет определить скорость края дисперсионной ударной волны на границе с гладкой частью импульса. Развитый метод иллюстрируется приложениями к типичным уравнениям нелинейной физики. Сравнение с результатами численных расчётов демонстрирует его эффективность.

[1] А. М. Камчатнов, “On the dispersive shock waves theory for non-integrable equations”, <http://arxiv.org/abs/1809.08553>

Качулин Д.И., Гелаш А.А., Дьяченко А.И., Захаров В.Е.

Парные взаимодействия когерентных структур на поверхности глубокой воды

Д.И. Качулин¹, А.А. Гелаш^{1,2}, А.И. Дьяченко^{1,3}, В.Е. Захаров^{1,3,4,5}

- 1. Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск*
- 2. Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе, СО РАН, Новосибирск*
- 3. Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Черноголовка*
- 4. Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва*
- 5. Аризонский университет, Тусон, Аризона, США*

Будут представлены результаты работы [1], которая посвящена исследованию динамики парных взаимодействий когерентных структур (солитонов) на поверхности глубокой воды в рамках модели Дьяченко-Захарова. Были выявлены существенные различия в динамике столкновений солитонов компактного уравнения Дьяченко-Захарова, по сравнению с динамикой взаимодействия солитонов нелинейного уравнения Шредингера (НУШ). Обнаружено, что в более точной модели гравитационных поверхностных волн, в отличие от НУШ, величина максимальной амплитуды волны (возникающей при столкновении когерентных структур) превышает сумму амплитуд взаимодействующих солитонов, и кроме того, растет с увеличением их крутизны. Взаимодействия солитонов (бризеров) в неинтегрируемой модели Дьяченко-Захарова приводят к появлению небольшого излучения, что было обнаружено ранее в 2013 году ([2], [3]). Теперь нам удалось показать, что величина потерь энергии сталкивающихся солитонов на излучение также зависит от их относительной фазы. Кроме того, в зависимости от значения относительной фазы, солитоны могут как забирать, так и отдавать энергию, что приводит к увеличению или уменьшению их амплитуды после столкновения. Также нами обнаружено, что в отличие от модели НУШ, пространственные сдвиги солитонов в более точной модели могут быть как положительными, так и отрицательными. Использование солитонных решений приближенной модели Дьяченко-Захарова и канонического преобразования к физическим переменным – профилю свободной поверхности и потенциалу на поверхности жидкости позволили найти приближенные решения в виде бризеров в рамках точных нелинейных уравнений для потенциальных течений несжимаемой жидкости. Предварительные результаты численных экспериментов в точной модели показали схожую динамику взаимодействия бризеров, что говорит о том, что представленная нами теоретическая картина взаимодействия когерентных структур является общей и может наблюдаться в эксперименте.

[1] D. Kachulin and A. Gelash, On the phase dependence of the soliton collisions in the Dyachenko–Zakharov envelope equation, *Nonlin. Processes Geophys.*, V. 25, P. 553–563, 2018.

[2] A. I. Dyachenko, D. I. Kachulin and V. E. Zakharov, Collisions of two breathers at the surface of deep water, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, V. 13, P. 3205–3210, 2013.

[3] A. I. Dyachenko, D. I. Kachulin and V. E. Zakharov, On the Nonintegrability of the Free Surface Hydrodynamics, *JETP Letters*, V. 98, No. 1, P. 43–47, 2013.

Конторович В.М., Спевак И.С., Гавриков В.К.

Отражение от поверхности нейтронной звезды в условиях плазмон-поляритонного резонанса и дополнительные компоненты в излучении пульсара в Крабе

В.М.Конторович^{1,2}, И.С.Спевак³, В.К.Гавриков¹

¹*Радиоастрономический институт НАН Украины*

²*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*

³*Институт радиопизики и электроники имени А.Я. Усикова НАН Украины*

Дополнительные вч-компоненты в излучении пульсара в Крабе наблюдаются в том же диапазоне, что и смещение интеримпульса (Моффет и Хэнкинс, 1996; Хэнкинс, Джонс и Айлек, 2015), объясняемое зеркальным отражением от поверхности нейтронной звезды излучения возвратных позитронов в наклонном магнитном поле (Конторович, Трофименко, 2017). Дополнительные вч-компоненты, существенно сдвинутые по фазе вращения пульсара, естественно также связать с (нелинейным) отражением дифракцией на периодической структуре на поверхности. Существенно, что такая структура может возникнуть в результате вынужденного рассеяния на поверхностных волнах, а рассеяние может происходить в условиях плазмон-поляритонного резонанса, связанного с дифракционным спектром, скользящим вдоль поверхности. Большая ширина компонент объясняется сплошным спектром падающего на поверхность излучения. Другая возможность – дифракция на периодической структуре, обусловленной действием постоянных полей (электрического или магнитного), требует отдельного рассмотрения.

[1] D. Moffett & T. Hankins, Multifrequency radio observations of the Crab pulsar. ApJ. 468, 779 (1996); astro/ph 9604163

[2] T. Hankins, G. Jones & J. Eilek, The crab pulsar at centimeter wavelengths: I. Ensemble characteristics, arXiv:1502.00677v1 [astro-ph.HE]

[3] V. M. Kontorovich and S. V. Trofymenko, On the Mystery of the Interpulse Shift in the Crab Pulsar, Journal of Physical Science and Application (JPSA) 7, 11 (2017); arXiv:1707.01584

[4] V.M. Kontorovich, I.S. Spevak, V.K. Gavrikov. Resonance nonlinear reflection from neutron star and additional radiation components of Crab pulsar, Problems of atomic science and technology, 2018, N 4(116), p. 112-117. ISSN 1562-6016; Connection of additional pulsar emission components in the Crab with the resonance reflection from a neutron star (in Russian), Radio Physics and Radio Astronomy, 2018, 23, № 3, p. 109-119. DOI: 10.15407/rpra23.03.166; arXiv:1806.02163 V.3

Копьев А.В., Зыбин К.П.

Двухточечные трети смешанные корреляторы скорости и градиента скорости в однородной изотропной турбулентности

А.В.Копьев¹, К.П. Зыбин^{1,2}

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

2 НИУ «Высшая школа экономики», Москва

На основании колмогоровского закона «4/5» [1, 2] получены аналитические соотношения для тройных двухточечных корреляций градиентов скорости и скорости в однородной изотропной несжимаемой турбулентности [3]. Соответствующий тензор корреляции может быть выражен через скорость диссипации, корреляционную функцию продольного приращения скорости второго порядка и новую скалярную функцию. Некоторые компоненты тензора не зависят от новой функции. Полученные аналитические результаты согласуются с данными прямого численного моделирования стационарной изотропной турбулентности. Новая скалярная функция может быть с большой точностью аппроксимирована в инерционном диапазоне масштабов постоянным значением, зависящим только от скорости диссипации. Обсуждается значение полученных корреляторов в теории турбулентного транспорта [4, 5].

Исследование выполнено во ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-11-01271)

Список литературы

1. Колмогоров А.Н. Рассеяние энергии при локально изотропной турбулентности // ДАН СССР, 1941, 32, 1, 19-21.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, М: Физматлит, 2006, 736 с.
3. Koryev A. V., Zybin K. P. Exact result for mixed triple two-point correlations of velocity and velocity gradients in isotropic turbulence // Journal of Turbulence, 2018, 19, 9, 717-730.
4. П'ун А. С., Sirota V. A., Zybin K. P. Statistical properties of the T-exponential of isotropically distributed random matrices // J. Stat. Phys., 2016, 7, 709.
5. Казанцев А.П. Об усилении магнитного поля проводящей жидкостью // ЖЭТФ, 1967, 53, 5 (11), 1806-1813.

Копьев В.Ф., Чернышев С.А.

Лагранжев формализм в задачах о малых колебаниях вихревых течений и его связь с вариационным принципом для идеальной несжимаемой гидродинамики вихревых нитей

ФГУП «ЦАГИ», Московский комплекс, ул. Радио 17, vkopiev@mktsagi.ru

В работе рассматриваются возмущения стационарных вихревых течений идеальной несжимаемой жидкости на языке лагранжева формализма. Используя поле смещение жидких частиц в качестве обобщенной координаты, выписывается лагранжиан, описывающий динамику малых возмущений [1]

$$L = \frac{1}{2} \int \dot{\boldsymbol{\eta}}(\boldsymbol{\eta} \times \boldsymbol{\Omega}_0) d\mathbf{r} + \frac{1}{2} \int ((\mathbf{V}_0 \nabla) \boldsymbol{\eta} - (\boldsymbol{\eta} \nabla) \mathbf{V}_0 - \mathbf{v})[\boldsymbol{\eta} \times \boldsymbol{\Omega}_0] d\mathbf{r} \quad (1)$$

где \mathbf{V}_0 , $\boldsymbol{\Omega}_0$ - стационарные поля скорости и завихренности, $\boldsymbol{\eta}$ - поле смещения жидких частиц, \mathbf{v} - возмущение скорости. Соответствующие уравнения Лагранжа представляют собой уравнение для поля смещения [2].

$$\frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial t} + \nabla \times (\boldsymbol{\eta} \times \mathbf{V}_0) - \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

эквивалентное уравнению Гельмгольца для возмущений завихренности. Поле смещения можно понимать, как разность положений жидких частиц на траекториях в возмущенном и невозмущенном течениях [2]. Хотя это определение дается в терминах лагранжевых переменных, связанных с жидкими частицами, само поле смещения является эйлеровой переменной, выражающейся через возмущения скорости и завихренности.

На основе предложенного лагранжевого описания рассмотрена задача о сохранения квадрупольного момента вихревого течения. С использованием теоремы Нетер найдены условия сохранения квадрупольного момента при эволюции малых возмущений. Показано, что эти условия всегда выполняются для возмущений струйных течений, однородных вдоль одной из координат [1]. Полученный результат имеет важное значение в аэроакустике в связи с тем, что квадрупольный момент вихревого течения представляет собой главный член разложения акустического источника по числу Маха [3-5].

Полученный лагранжиан для возмущений вихревых течений имеет особенную структуру с нулевым гессианом [6]. Известно, что такую же структуру имеют лагранжианы, описывающие нелинейную гидродинамику и использующие координаты жидких частиц в качестве обобщенных координат, Это, например, лагранжиан 2-мерной системы точечных вихрей [7]

$$L = \frac{1}{2} \sum_n^N \Gamma_n \mathbf{e}_z (\dot{\mathbf{r}}_n \times \mathbf{r}_n) + \frac{1}{2} \sum_n^N \sum_{m \neq n}^N \Gamma_n \Gamma_m G(\mathbf{r}_n - \mathbf{r}_m) \quad (3)$$

лагранжиан вихревой нити [8],

$$L = \kappa \frac{1}{3} \int \mathbf{x} (\partial_t \mathbf{x} \times \partial_s \mathbf{x}) ds - H \quad H = \frac{\kappa^2}{8\pi} \int \frac{\mathbf{t} \cdot \mathbf{t}'}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} ds ds' \quad (4)$$

а также лагранжиан 3-мерного течения с непрерывным полем завихренности [9]

$$L = \frac{1}{3} \int d^3 \mathbf{a} \left((\mathbf{R}_t (\mathbf{Q}) \times \mathbf{R}(\mathbf{a})) (\mathbf{R} \mathbf{a} \cdot \nabla_a) \mathbf{Q} \right) - H(\{ \{ \} \}) \quad (5)$$

Рассматривается вопрос о взаимосвязи различных описаний. Показано, что переход в (5) от лагранжевых переменных, привязанных к жидким частицам, к эйлеровым переменным с использованием поля смещений, дает выражение для лагранжиана в общем нелинейном случае. Таким образом, общее выражение для лагранжиана (5) удается записать в эйлеровом представлении, что, несмотря на определенную громоздкость, в некоторых случаях оказывается более удобным. Показано, что разложение преобразованного таким образом лагранжиана до квадратичных членов дает выражение (1) для линейных возмущений вихревых течений.

Литература

1. Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Развитие методов лагранжевой и гамильтоновой механики применительно к задачам аэроакустики, Акуст. журн., 2018, т. 64, №6, с. 677–688.
2. Drazin P.G., Reid W. H., Hydrodynamic Stability. Cambridge, Cambridge University Press, 1981
3. Lighthill M.I., On sound generated aerodynamically. II. Turbulence as a source of sound, Proc. R. Soc., v. A222, N 1148, pp.1-32, 1952.
4. Crow S.C., Aerodynamic sound emission as a singular perturbation problem, Studies in Applied Mathematics, v.49, N 1, pp.21-44, 1970.
5. Копьев В.Ф., Чернышев С.А. "О разложения звукового поля по числу Маха в проблеме генерации звука локализованными вихрями", Акуст. журн., 1995, т. 41, N4, стр. 622-627
6. Гитман Д.М., Тютин И.В. Каноническое квантование полей со связями, М.: Наука, 1988, 216 с.
7. Chapman D. Ideal vortex motion in two dimensions: symmetries and conservation laws, J. Math. Phys. 1978. V. 19(9). pp. 1988–1992
8. Гончаров В.П., Павлов В.И., Гамильтонова вихревая и волновая динамика, Москва, ГЕОС, 2008, 431 с
9. Кузнецов Е.А., Рубан В.П. Гамильтоновская динамика вихревых линий в системах гидродинамического типа, Письма в ЖЭТФ, т.67, в.12, с.1015-1020, 1998

Кострыкин С.В., Якушкин И.Г.

Стационарные режимы в задаче интенсивной ветровой циркуляции в мелком слое вязкой вращающейся жидкости

Кострыкин С.В.^{1,2}, Якушкин И.Г.¹

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

2) Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН

Рассматривается задача о ветровой циркуляции в мелком слое вязкой однородной вращающейся жидкости. В качестве приближенной модели течения исследуется модифицированная модель течения Кармана, в которой можно ввести два параметра – числа Россби и Экмана. Для случая малых чисел Экмана и умеренных чисел Россби получено численное решение этой модели. Показано существование двух разных типов стационарных течений, соответствующих течениям, описанным Стюардсоном и Бетчелором для задачи о течении между двумя дисками, а также существование периодического режима. Построена диаграмма режимов на плоскости параметров задачи и показано существование области бистабильности решения. Описаны зависимости характеристик течения от чисел Экмана и Россби и дано их качественное физическое обоснование.

Кузнецов Е.А.

***Квази-лагранжевое интегрирование двумерных уравнений
Прандтля и Буссинеска в невязком пределе***

Для систем гидродинамического типа, описывающих локально несжимаемые двумерные течения жидкостей в отсутствии диссипации, предложен квази-лагранжевый метод их интегрирования. Этот метод основан на применении неполного преобразования Лежандра, когда независимыми переменными становятся лагранжевы инвариант (т.е. неизменная величина вдоль траектории жидкой частицы) вместо одной из двух декартовых координат, а остальные – другая декартова координата и время – остаются неизменными. Таким образом, этот метод основан на обратном преобразовании одной из декартовых координат и по этой причине отличается от полного преобразования Лежандра. Классический пример полного преобразования Лежандра – это преобразование годографа для решения уравнений одномерного изоэнтропического течения газа. В данной работе показано, что уравнение для лагранжевого инварианта после применения неполного преобразования Лежандра и введения функций тока превращается в линейное уравнение и может быть разрешено путем введения производящей функции. Этот метод оказался эффективным для решения двумерного невязкого уравнения Прандтля (это уравнение описывает поведение погранслоя), что дало возможность проинтегрировать это уравнение полностью. В качестве лагранжевого инварианта в случае нулевого градиента давления выступает компонента скорости вдоль твердой границы. Полученное решение записывается через начальные условия и удовлетворяет граничным условиям непротекания на твердой границе. Анализ этих решений показывает наличие возникновения особенности для градиента скорости на границе. Эта особенность возникает за счет опрокидывания потока. В точке опрокидывания градиент скорости обращается в бесконечность по степенному закону $\sim (t_0 - t)^{-1}$, где t_0 – время образования особенности. Данное решение описывает появление сингулярности типа складки, которое, возможно, связано с явлением отрыва. Показано также, что уравнение Прандтля допускает интегрирование для произвольной (заданной) зависимости давления от продольной координаты. Наиболее просто ответы записываются для случая постоянного градиента давления вдоль стенки.

Левина Г.В.

Гипотетическая вихредвижущая сила или о реализации турбулентного вихревого динамо в тропической атмосфере

¹*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

²*Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме РАН, Москва, Россия
E-mail: levina@iki.rssi.ru*

В обзорной работе [1] содержится подробное обсуждение серии исследований 1983-1999 гг, связанных с созданием (1983 г.) и дальнейшим развитием математической модели турбулентного вихревого динамо. Модель, полученная методами теории средних полей [2], впервые содержала крупномасштабную неустойчивость в электрически непроводящей среде (гидродинамический альфа-эффект), генерируемую особыми свойствами мелкомасштабной спиральной турбулентности поля скорости. Аналогично модели альфа-эффекта в магнитной гидродинамике такая неустойчивость описывается генерационным слагаемым, полученным в результате осреднения уравнений для турбулентного поля скорости и представляющим собой по физическому смыслу некоторую силу. Однако в отличие от магнитной гидродинамики, где в качестве генерационного слагаемого выступает средняя электродвижущая сила, интерпретация полученного результата в модели гидродинамического альфа-эффекта долгое время вызывала серьезные затруднения. Действительно, появление средней электродвижущей силы объясняется взаимодействием магнитного поля и поля скорости. В случае непроводящей среды полученная гипотетическая сила, назовем ее для определенности, например, «вихредвижущей» силой, должна создаваться только полем скорости. В природе такая сила неизвестна, однако на основании новых знаний об атмосферной конвекции в тропиках удалось интерпретировать вихредвижущую силу как параметризацию [3] взаимодействия нескольких эффектов - вращающейся глубокой влажной конвекции [4], сопровождающейся интенсивным объемным выделением тепла, и вертикального сдвига горизонтального ветра.

Предложенная параметризация позволяет объяснить реализацию турбулентного вихревого динамо в тропической атмосфере.

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

Литература

1. Levina G.V., Moiseev S.S., Rutkevich P.B. Hydrodynamic alpha-effect in a convective system. *Advances in Fluid Mechanics. Nonlinear Instability, Chaos and Turbulence.*/Eds. L. Debnath, D.N. Riahi. Southampton: WIT Press, 2000. V. 2. P. 111-162.
2. Краузе Ф., Рэдлер К.Х. Магнитная гидродинамика средних полей и теория динамо. М.: Мир, 1984. 314 с.
3. Levina G.V. On the path from the turbulent vortex dynamo theory to diagnosis of tropical cyclogenesis. *Open Journal of Fluid Dynamics.* 2018. Vol. 8. P. 86-114.
4. Hendricks E.A., Montgomery M.T., Davis C.A. The role of "vortical" hot towers in the formation of tropical cyclone Diana (1984). *J. Atmos. Sci.* 2004. Vol. 61. P. 1209-1232.

**Лоскутов Е.М., Мухин Д.Н., Гаврилов А.С., Куртц Ю.,
Фейгин А.М.**

Эмпирическое исследование критического перехода в климате плейстоцена на основе нелинейно-динамической реконструкции

Е.М. Лоскутов¹, Д.Н. Мухин¹, А.С. Гаврилов¹, Ю. Куртц^{1,2}, А.М. Фейгин¹

*1 Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН), Нижний Новгород, Россия;
2 Потсдамский институт изучения климатических изменений (PIK), Потсдам,
Германия*

На сегодняшний день причины возникновения среднеплейстоценового перехода (СПП) - смены 41 тысячилетней периодичности ледниковых циклов плейстоцена на 100 тысячилетнюю – остается одним из актуальных вопросов палеоклиматологии. В этой работе мы показываем, как байесовы методы анализа данных и нелинейно-динамическая эмпирическая реконструкция помогают выявить основные механизмы, управляющие изменчивостью климата в плейстоцене. Наша эмпирическая модель, построенная по изотопно-кислородной записи LR04 [1], однозначно связанной с температурой поверхности океана, учитывает основные факторы, которые могут влиять на климат плейстоцена: собственную изменчивость климата, плавные тренды параметров климатической системы и вариации внешних факторов (инсоляционного форсинга). При помощи этой модели нами установлено, что эволюция ледниковых циклов плейстоцена, определяется, прежде всего, воздействием более быстрых - тысячилетних - процессов климатической изменчивости. Мы демонстрируем, что, хотя инсоляционный форсинг не является причиной возникновения СПП, он вносит существенный вклад в динамику ледниковых циклов после СПП через механизм фазовой синхронизации: период межледниковья начинается после достижения максимума меридиональным градиентом инсоляции.

Lisiecki, L. E., & Raymo, M. E. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, 20(1)

**Маевский Е.В., Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В.,
Попов В.Ю., Петрукович А.А., Зеленый Л.М.**

***Структура солнечного ветра в гелиосфере в зависимости
от солнечного цикла: крупномасштабная динамика
гелиосферного токового слоя***

ИКИ РАН, ИЗМИРАН

Построена осесимметричная МГД-модель солнечного ветра, позволяющая исследовать практически на всех гелиоширотах пространственное распределение характеристик магнитного поля и плазмы на радиальных расстояниях от 20 до 400 радиусов Солнца. В модели учтены изменения магнитного поля Солнца в течение четверти солнечного цикла, когда доминирующее дипольное магнитное поле сменяется квадрупольным. Получены самосогласованные решения для магнитного поля, плотностей плазмы и тока в солнечном ветре (СВ) в зависимости от фазы солнечного цикла. Показано, что в период доминирования дипольной магнитной компоненты в солнечном ветре формируется гелиосферный токовый слой (ГТС), который является частью системы продольных и поперечных токов, симметричных в северном и южном полушариях. По мере возрастания относительного вклада квадрупольной компоненты в полное магнитное поле ГТС становится конусообразной; раствор конуса уменьшается с течением времени, вследствие чего токовый слой перемещается целиком в одно из полушарий. Одновременно на высоких широтах противоположного полушария зарождается второй конический ГТС, раствор которого увеличивается. Когда квадрупольное поле становится доминирующим (в максимуме солнечной активности), оба ГТС лежат на конусных поверхностях, наклоненных под углом 30 градусов к экватору. Модель также описывает плавный переход от быстрого солнечного ветра на высоких гелиоширотах к медленному солнечному ветру на низких гелиоширотах, а также укрупнение профилей основных характеристик солнечного ветра с ростом радиального расстояния от Солнца. Сравнение полученных зависимостей с имеющимися данными наблюдений обсуждается.

Мохов О.И., Стрижова Н.А.

Интегрируемость по Лиувиллю редукции уравнений ассоциативности на множество стационарных точек интеграла в случае трех примарных полей

Московский государственный университет

Построена явно редукция уравнений ассоциативности с антидиагональной матрицей η_{ij} на множество стационарных точек невырожденного квадратичного по производным первого порядка интеграла в случае трех примарных полей и доказана ее интегрируемость по Лиувиллю.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-11-10260)

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

Затухание когерентного вихря двумерной турбулентности

А.В. Орлов^{+,*,x}, М.Ю. Бражников^{+,*,x}, А.А. Левченко^{+,*}

⁺ *Институт физики твёрдого тела РАН, 142432 Черноголовка, Россия*

^{*} *Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, 119334 Москва, Россия*

^x *НИУ ВШЭ, 101000 Москва, Россия*

Экспериментально исследовано свободное затухание когерентного вихря в турбулентном течении, возбуждаемом пространственно-периодической электромагнитной силой в тонком слое проводящей жидкости. Благодаря обратному каскаду двумерной турбулентности энергия течения накапливается на масштабе сравнимом с размерами экспериментальной ячейки, формируется крупномасштабный когерентный вихрь, занимающий большую часть площади ячейки. После выключения накачки наблюдаются три стадии затухания течения. На первом этапе полная кинетическая энергия и энтропия быстро убывают, причём относительное падение энтропии больше относительного изменения энергии. В дальнейшем — энергия и энтропия изменяются схожим образом. На втором этапе уменьшение энергии и энтропии можно описать степенной зависимостью, а на финальной стадии они убывают экспоненциально с постоянной времени, которая определяется трением жидкости о дно.

Орлова А.А., Ефимов В.Б.

Распространение пробных импульсов второго звука в среде с квантовой турбулентностью в сверхтекучем гелии

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская область.

Особенностью сверхтекучего гелия является наличие в нем двух компонент – нормальной и сверхтекучей. Противоток нормальной и сверхтекучей компонент с одной стороны связан с волнами второго звука, с другой стороны такой противоток, взаимодействуя с остаточной вихревой системой в сверхтекучем гелии, может существенно увеличивать плотность вихрей. В квазиодномерной геометрии (в длинном тонком капилляре) были проведены измерения прохождения пробных импульсов второго звука при пропускании в этом же капилляре постоянного теплового потока. Были определены параметры пробных импульсов, не влияющих на плотность вихрей в системе, были изучены процессы генерации и распада вихревой системы при включении и выключении постоянного теплового потока, было определено влияние длины капилляра на затухание пробных импульсов. Эксперименты показали расхождение с теоретическими моделями взаимодействия пробных импульсов со стационарной плотностью вихрей, генерируемой постоянным противотоком двух компонент в сверхтекучем гелии.

Пархоменко Е.И., Малова Х.В., Попов В.Ю., Власова Н.А., Калегаев В.В., Зеленый Л.М., Панасюк М.И.

Моделирование взаимодействия ионов кислорода солнечного происхождения с диполизационными фронтами в сопровождении турбулентности как механизма пополнения радиационных поясов магнитосферы Земли

Е.И. Пархоменко^{1, a}, Х.В. Малова^{2,1}, В.Ю. Попов^{3,4,1}, Н.А. Власова¹, В.В. Калегаев¹,
Л.М. Зеленый¹, М. И. Панасюк^{2,3}

¹ *Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, 117997.*

² *Lomonosov Moscow State University, Scobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Russia, 119991.*

³ *Lomonosov Moscow State University, Physics Department, Russia, 119991.*

⁴ *National Research University, "Higher School of Economics", Moscow, Russia, 101000.
E-mail: ^ajookove@mail.ru, ^bhmalova@yandex.ru, ^cmasterlu@mail.ru*

Работа посвящена исследованию механизмов пополнения радиационных поясов Земли ионами кислорода в результате их ускорения в период магнитосферных суббурь. Построена численная модель, позволяющая исследовать перенос и ускорение частиц солнечного ветра восьми сортов: ионов кислорода $O^+ - O^{+8}$ в результате их взаимодействия с крупномасштабной турбулентностью и множественными диполизационными фронтами, которые характеризуются скачками нормальной компоненты магнитного поля длительностью меньше минуты. Показано, что под воздействием такого комбинированного механизма происходит многократное увеличение энергий ионов кислорода до максимального значения порядка десяти МэВ. При этом, чем больше заряд ионов тем эффективней их ускорение и выше вероятность инжекции в область геостационарной орбиты (ГО). Выявлено, что ионы ионосферного происхождения $O^+ - O^{+2}$ способны попасть в область ГО с $4.5 < L < 7.5$ в процессе переноса на диполизационных фронтах. Для ионов $O^{+3} - O^{+8}$ (преимущественно солнечного происхождения) требуется дополнительный механизм, такой как крупномасштабная электромагнитная турбулентность, за счет которого они могут достигнуть энергий близких к усредненным экспериментально наблюдаемым в указанной области значений L оболочек.

Полников В.Г.

Модель вертикального перемешивания, вызванного ветровыми волнами

*ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова
Российской Академии Наук
E-mail: polnikov@mail.ru*

Задача работы заключается в получении формул для коэффициента вертикального перемешивания, вызванного ветровыми волнами. Для этого, в уравнениях Навье-Стокса скорость течения разлагается на четыре составляющих: средний поток, волновое орбитальное движение, турбулентные флуктуации течения, индуцированные волнами, и фоновые турбулентные флуктуации. При определенных статистических предположениях такое разложение позволяет в уравнениях Рейнольдса выделить волновое напряжение R_w как дополнение к фоновому напряжению R_b . Для замыкания R_w используется приближение Прандтля для фоновых турбулентных флуктуаций, приводящее к неявному выражению для индуцированной волнами функции вертикального перемешивания B_v . Конечное выражение для B_v определяется с привлечением результатов автора для турбулентной вязкости в зоне волнения, найденного ранее в рамках трехслойной концепции для интерфейса воздух-вода. Явное выражение для функции $B_v(a, u_*, z)$ является линейным по амплитуде волны $a(z)$ на глубине z и скорости трения u_* в воздухе. Поскольку амплитуда волны экспоненциально убывает с глубиной, $a(z) \sim \exp(kz)$, найденный результат для $B_v(a)$ означает возможность усиления воздействия волн на вертикальное перемешивание по сравнению полученной ранее в работе Цяо и др. кубической зависимостью $B_v(a)$.

Потапов А.А.

О применении теории размерности и нелинейной динамики в новом виде и методе радиолокации

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

Впервые в мировой практике предложен и обоснован новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно, фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация [1-7]. Доказана эффективность функционалов, которые определяется топологией, дробной размерностью и текстурой принятого многомерного сигнала, для синтеза принципиально новых не энергетических обнаружителей малококонтрастных объектов на фоне помех.

Фрактальная радиолокация базируется на трех постулатах:

- 1 - интеллектуальная обработка сигнала / изображения, основанная на теории дробной меры и скейлинговых эффектов, для расчета поля фрактальных размерностей;
- 2 - выборка принимаемого сигнала в шумах относится к классу устойчивых негауссовых распределений вероятностей фрактальной размерности D сигнала;
- 3 - максимум топологии при минимуме энергии входного случайного сигнала.

Подтверждено повышение чувствительности радиосистемы (что эквивалентно увеличению дальности действия) при использовании фрактальных и текстурных признаков в топологических обнаружителях. Это влечет за собой коренные изменения в математическом аппарате теоретической радиолокации.

1. Потапов А.А. Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация и фрактальная обработка сигналов и изображений // Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (110 лет со дня рождения академика В.А. Котельникова и 65 лет ИРЭ РАН). – М.: 2018. – С. 99–104.

2. Потапов А.А. Текстурные и фрактально-скейлинговые методы обнаружения, обработки и распознавания слабых радиолокационных сигналов и малококонтрастных изображений на фоне интенсивных помех // Вестник воздушно-космической обороны («НПО «Алмаз»). – 2018. – № 2(18). – С. 15–26.

3. Потапов А.А. О стратегических направлениях в синтезе новых видов радиолокационных текстурно-фрактальных обнаружителей малококонтрастных объектов с выделением их контуров и локализацией координат на фоне интенсивных помех от поверхности земли, моря и осадков // Труды IV Всероссийской НТК «РТИ Системы ВКО – 2016», посв. 100-летию НИИДАР и 70-летию РТИ им. академика А.Л. Минца (Москва, ОАО «РТИ им. академика А.Л. Минца»). - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2017. – С. 438–448.

4. Потапов А.А. Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация: открытие, обоснование и пути развития // Сб. науч. ст. по материалам II Всероссийской науч.-практ. конф. «Авионика» (Воронеж, 16 – 17 марта 2017 г.). - Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2017. – С. 143–152.

5. Potapov Alexander A. Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015. – Глава 12 в книге: The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. C. Skiadas. – Switzerland, Basel: Springer Int. Publ., 2016. – P. 195–218. – (ISBN 978-3-319-29701-9).

6. Potapov Alexander A. Postulate “The Topology Maximum at the Energy Minimum” for Textural and Fractal-and-Scaling Processing of Multidimensional Super Weak Signals against a Background of Noises. – Глава 3 в книге: Nonlinearity: Problems, Solutions and Applications. – Vol. 2 / Ed. Ludmila A. Uvarova, Alexey B. Nadykto, and Anatoly V. Latyshev. – New York: Nova Science Publ., 2017. – P. 35–94.

7. Potapov A.A. Fractal and topological sustainable methods of overcoming expected uncertainty in the radiolocation of low-contrast targets and in the processing of weak multi-dimensional signals on the background of high-intensity noise: A new direction in the statistical decision theory // IOP Conf. Ser.: Journal of Physics. – 2017. – V. 918. – 19 p. – № 012015. (<https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012015>).

Пушкарев А.Н., Захаров В.Е.

Автомодельные и лазеро-подобные режимы в численном моделировании кинетического уравнения Хассельмана океанских волн

Численно показано, что турбулентность океанских ветровых волн проявляет автомодельные свойства для специфических функций ветровой накачки. В ситуациях типа морских проливов с ветром, направленным перпендикулярно к берегу, наблюдается появление нового лазеро-подобного режима, генерирующего монохроматические волны поперек ветра. Полученные результаты проясняют физику нелинейного взаимодействия океанских волн и помогают созданию нового поколения физически обоснованных моделей ветрового волнения.

**Ремизов И.А., Султанова М.Р., Орлов А.В.,
Левченко А.А., Межов-Деглин Л.П.**

***Наблюдение локального максимума в стационарном
турбулентном спектре капиллярных волн на поверхности
жидкого водорода***

*Институт физики твердого тела РАН, 142432 Черноголовка, Россия
e.mail: mabinkaiftt@issp.ac.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований волновой турбулентности в системе капиллярных волн, формирующихся на поверхности жидкого водорода при температуре 15 К в цилиндрической ячейке при монохроматической радиально-симметричной накачке. Впервые наблюдается формирование локального максимума с понижением амплитуды накачки в высокочастотной области инерционного интервала стационарного турбулентного спектра, на краю прямого каскада. Возникновение локального максимума может быть связано с влиянием вязкого затухания в высокочастотной области спектра.

Методика эксперимента развита в рамках Государственного задания ИФТТ РАН, научные исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ # 17-12-01525.

Рубан В.П.

***Трехмерное численное моделирование долгоживущих
квантовых вихревых узлов и зацеплений в захваченном бозе-
конденсате***

Численно в рамках трехмерного уравнения Гросса-Питаевского промоделирована динамика простейших вихревых узлов, «не-узлов» и зацеплений торического типа в атомном бозе-конденсате, находящемся при нуле температуры в анизотропной гармонической ловушке. Обнаружено, что время существования таких квазистационарно вращающихся вихревых структур оказывается весьма долгим в широких областях значений параметров системы. Этот результат находится в качественном соответствии с ранее сделанным предсказанием, основанным на упрощенной одномерной модели, которая приближенно описывает динамику вихревых нитей.

[В. П. Рубан, ЖЭТФ 153, 475 (2018), arXiv:1809.07527].

Рыбаков Ф.Н., Борисов А.Б.

Взаимодействие скирмионов и новая концепция магнитной твердотельной памяти

Новый частицеподобный объект- киральный боббер, теоретически предсказанный ранее [1], экспериментально обнаружен [2] в тонких пластинах гелимагнетика FeGe. Предложена новая концепция магнитной твердотельной памяти, основанная на кодирования потока данных цепью чередующихся магнитных скирмионов и киральных бобберов, которые играют роль битов «1» и «0».

Теоретически и экспериментально исследовано взаимодействие скирмионов между собой и с границами образца в нанополосках кирального магнетика [3]. Зависимость энергии взаимодействия двух асимметричных скирмионов $E_{\text{вз}}(r)$ от расстояний между ними для различных значений приложенного магнитного поля имеет вид потенциала типа Леннарда - Джонса и указывает на *притягивающее* межскирмионное взаимодействие. Экспериментально найденные зависимости от поля равновесных расстояний между двумя скирмионами, а также расстояний между отдельным скирмионом и краем полоски количественно согласуются с результатами микромагнитного моделирования

Публикации

1. Rybakov F.N, Borisov A.B, Blügel S and Kiselev N.S. New type of particlelike state in chiral magnets, Phys. Rev. Lett., 2015, 115, 117201.
2. Fengshan Zheng, Filipp N. Rybakov, Aleksandr B. Borisov et al Experimental observation of chiral magnetic bobbers in B20-type FeGe- Nature Nanotechnology, 2018, v.13, p.451-455.
3. H. Du, X. Zhao, F. N. Rybakov, A. B. Borisov et al Interaction of Individual Skyrmions in Nanostructured Cubic Chiral Magnet, Phys. Rev. Lett., 120, 197203 (2018)

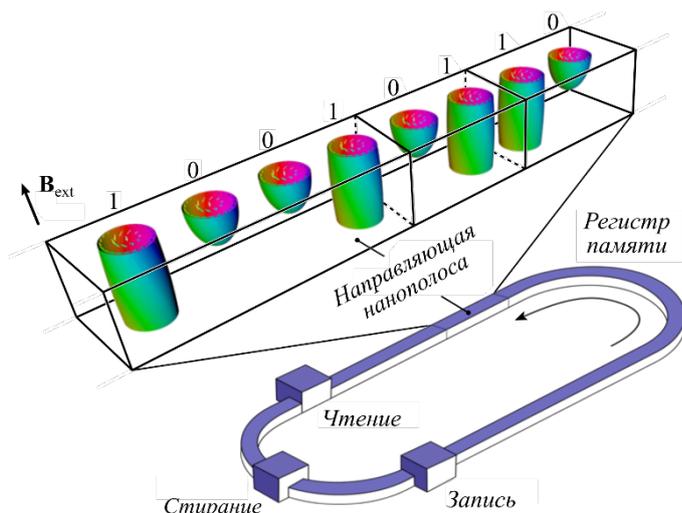


Рис. Альтернативная концепция магнитной твердотельной памяти на основе кодирования потока данных в нанополоске. Полоска имеет форму замкнутой дорожки и содержит цепь чередующихся магнитных скирмионов и киральный бобберов, которые играют роль битов «1» и «0». Действия записи, чтения и удаления информации выполняются на разных участках направляющей дорожки.

Слюняев А.В., Досаев А.С.

Самомодуляция сильно нелинейных волн на воде. Неполная рекуррентность

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В рамках численного моделирования гравитационных волн на поверхности воды в рамках уравнений Эйлера исследованы процессы спонтанной самомодуляции крутых волн с формированием очень коротких групп. Показано, что последующая демодуляция является неполной в результате генерации новых волн с другими длинами, распространяющимися как попутно, так и навстречу основной волне. Таким образом, бризерному решению нелинейного уравнения Шредингера в рамках полных уравнений гидродинамики соответствует приближенный аналог.

A.V. Slunyaev, Group-wave resonances in nonlinear dispersive media: The case of gravity water waves. *Phys. Rev. E* 97, 010202(R) (2018).

A. Slunyaev, A. Dosaev, On the incomplete recurrence of modulationally unstable deep-water surface gravity waves. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 66, 167–182 (2019).

Теодорович Э.В.

Спектральные характеристики турбулентности в широком диапазоне волновых чисел

Институт проблем механики РАН
E-mail: teodor@ipmnet.ru

В рамках модели однородной изотропной и стационарной турбулентности проводится вычисление спектра энергии турбулентных пульсаций скорости вязкой несжимаемой жидкости. Принимается, что область порождения турбулентной энергии за счет развития неустойчивости крупномасштабных течений ограничена в пространстве волновых чисел некоторым значением волнового числа k_g . Вне этой области спектральный поток $W(k)$ и спектральная плотность энергии $E(k)$ подчиняются уравнению баланса энергии.

Предположение о каскадном механизме переноса энергии по спектру волновых чисел (каскад Ричардсона-Колмогорова) означает марковский характер процесса. В этом случае спектральный поток подчиняется полугрупповому уравнению Колмогорова-Чепмена (уравнению Эйнштена Смолуховского у физиков), что дает дополнительное недостающее уравнение для определения $W(k)$ и $E(k)$. В результате получена единая формула для спектра, справедливая в диапазоне волновых чисел, охватывающая как инерционный интервал, так и интервал диссипации.

Хабибуллин И.Т., Хакимова А.Р.

Алгоритм построения пары Лакса для интегрируемых уравнений

Институт математики с ВЦ УФИЦ РАН, г.Уфа, Россия

В литературе широко известен метод построения частных решений нелинейных уравнений в частных производных, основанный на понятии дифференциальной связи (или инвариантного многообразия) (см. [1], [2]). Идея метода состоит в том, что к заданному уравнению добавляется совместное с ним уравнение, как правило, более простое. Такой прием позволяет найти частные решения исследуемого уравнения. В работах [3]—[7], была предложена схема построения пар Лакса и рекурсионных операторов для интегрируемых уравнений в частных производных, основанная на использовании аналогичной идеи. Подходящее обобщение состоит в том, что мы накладываем дифференциальную связь не к самому уравнению, а к его линеаризации. Полученное в итоге уравнение мы называем обобщенным инвариантным многообразием. В работах [3]—[7] показано, что обобщенные инвариантные многообразия позволяют эффективно строить пары Лакса и операторы рекурсии интегрируемых уравнений. В докладе предполагается обсудить алгоритм построения обобщенного инвариантного многообразия для заданного уравнения и способ построения пары Лакса и оператора рекурсии с помощью этих многообразий.

1. А. Ф. Сидоров, В. И. Шапеев, И. И. Яненко *Метод дифференциальных связей и его приложение в газовой динамике* // Новосибирск: Наука (1984).
2. И. И. Яненко *Об инвариантных дифференциальных связях для гиперболических систем квазилинейных уравнений* // Изв. вузов. Матем. 3, 185-194 (1961).
3. I. T. Habibullin, A. R. Khakimova, M. N. Poptsova *On a method for constructing the Lax pairs for nonlinear integrable equations* // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 49:3, id 035202 (35pp) (2016).
4. Е. В. Павлова, И. Т. Хабибуллин, А. Р. Хакимова *Об одной интегрируемой дискретной системе* // Дифференциальные уравнения. Математическая физика, Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз., ВИНТИ РАН, М., 140, 30-42 (2017).
5. И. Т. Хабибуллин, А. Р. Хакимова *Инвариантные многообразия и пары Лакса для интегрируемых нелинейных цепочек* // Теоретическая и математическая физика 191:3, 369-388 (2017).
6. I. T. Habibullin, A. R. Khakimova *On a method for constructing the Lax pairs for integrable models via a quadratic ansatz* // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 50:30, id 305206 (19 pp.) (2017).
7. И. Т. Хабибуллин, А. Р. Хакимова *О прямом алгоритме построения рекурсионных операторов и пар Лакса для интегрируемых моделей* // Теоретическая и математическая физика 196:2, 294-312 (2018).
8. I. T. Habibullin, A. R. Khakimova *On the recursion operators for integrable equations* // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 51:42, id 305206 (22 pp.) (2018).
9. А. Р. Хакимова *К задаче описания обобщенных инвариантных многообразий нелинейных уравнений* // Уфимский математический журнал 10:3, 110-120 (2018).

**Царева О.О., Попов В.Ю., Малова Х.В., Попова Е.П.,
Подзолко М.В., Зеленый Л.М.**

***Радиационная опасность на Земле и в околоземном
пространстве в процессе инверсии магнитного поля***

По последним наблюдениям современное магнитное поле Земли ослабевает, а его магнитные полюса смещаются, что позволят говорить о начале инверсии геомагнитного поля. Согласно модели геомагнитного динамо, квадрупольная составляющая магнитного поля Земли в момент инверсии станет доминирующей. Для нахождения увеличения радиационной опасности на поверхности Земли и околоземном пространстве в момент инверсии магнитного поля разработана численная модель, позволившая сравнить потоки ГКЛ и СКЛ (в минимумы и максимумы солнечной активности), проникающие на Землю (с учетом атмосферы) и МКС в периоды доминирования дипольного и квадрупольного полей. Найдено, что в максимально неблагоприятный для человечества период инверсии, когда магнитное поле Земли достигнет минимума, поток ГКЛ может возрасти не более чем в три раза, и радиационная опасность не превысит предельно допустимой дозы.

Шевченко И.И.

Эффекты хаотической «расчистки» в планетных системах

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Рассмотрены основные типы эффектов хаотической «расчистки» (chaotic clearing) в планетных системах. Расчистка заключается в формировании орбитальных зон, свободных от маломассивных тел (планетезималей, астероидов, частиц, фрагментов), из-за динамической хаотизации в присутствии возмущений. К данным эффектам относятся: (1) коорбитальная расчистка – формирование кольцевого просвета в планетезимальном диске благодаря аккумуляции и перекрытию орбитальных резонансов (резонансов средних движений) первого порядка «частица – планета» в радиальной окрестности планетной орбиты; (2) циркумбинарная расчистка – формирование полного кругового просвета в планетезимальном диске вокруг двойной звезды благодаря перекрытию целых орбитальных резонансов «частица – двойная», аккумулялирующих к сепаратрисе, соответствующей параболическому движению; (3) циркум-ядерная расчистка – формирование полного кругового просвета в облаке частиц и фрагментов вокруг вращающихся тел неправильной формы (контактных двойных, таких как ядра комет, многие объекты в поясе Койпера и астероиды) благодаря перекрытию целых резонансов «частица – контактная двойная», аккумулялирующих к сепаратрисе, соответствующей параболическому движению. Особое внимание уделено последнему случаю, как выявленному совсем недавно.

Шмерлин Б.Я., Новицкий М.А., Калмыкова О.В.

О новом подходе к прогнозированию смерчеопасных ситуаций и других опасных конвективных явлений

ФГБУ "НПО"Тайфун", Обнинск, shmerlin@rpatyphoon.ru

Для анализа и прогноза смерчеопасных ситуаций используются индексы конвективной неустойчивости (далее просто индексы). Индексы рассчитывались нами на основании выходной продукции модели WRF, расчеты были проведены для 10-ти смерчей, зарегистрированных на европейской территории РФ.

Показано, что наиболее информативным является индекс STP (significant tornado parameter). Продемонстрирована возможность с использованием индекса STP прогнозировать смерчеопасные ситуации с заблаговременностью до трех суток с точностью до 150 км по пространству и нескольких часов по времени.

Предложен новый подход к краткосрочному прогнозированию смерчей. Он основан на расчете по прогностическим данным модели WRF наряду с индексами полей, которые видны на экране радиолокаторов, в частности, полей максимальной радиолокационной отражаемости, верхней границы радиоэхо и интегрального вертикального водосодержания. Сравнение прогностических полей с реальными полями, которые видит радиолокатор, позволяет указать реальную конвективную систему, в которой впоследствии индекс STP достигнет порогового значения и возникнет смерч, в момент её формирования. Это может до нескольких часов увеличить заблаговременность предупреждения о смерче, которая в настоящее время составляет в среднем 13 минут. Подход можно использовать в любых прогностических моделях для текущей коррекции прогноза путем усвоения поступающей радиолокационной (спутниковой) информации.

Штремель М.

Особенности околорезонансных трехволновых взаимодействий в волнах на промежуточной глубине

ИО РАН

В докладе рассматриваются две проблемы:

- 1) существует ли расстройка по волновым числам, а полный резонанс – по частотам или наоборот: полный резонанс по волновым числам и расстройка по частотам.
- 2) как предсказать пространственную периодичность обмена энергией между первой и второй гармониками при условии расстройки по волновым числам.

**Dyachenko A.I. Dyachenko S.A., Lushnikov P.M.,
Zakharov V.E.**

***New Integrals of Motion and Non-Canonical Hamiltonian Structure
for 2D Hydrodynamics with Free Surface***

A. I. Dyachenko¹, S. A. Dyachenko², Pavel M. Lushnikov^{1,3} and V. E. Zakharov^{1,4,5}

¹ Landau Institute For Theoretical Physics, Russia

² Department of Mathematics, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

³ Department of Mathematics and Statistics, University of New Mexico USA

⁴ Department of Mathematics, University of Arizona, USA

⁵ Novosibirsk State University, Russia

We consider a potential motion of ideal incompressible fluid with a free surface and infinite depth in two dimensions with gravity forces and surface tension. A time-dependent conformal mapping $z(w, t)$ of the lower complex half-plane of the variable w into the area filled with fluid is performed with the real line of w mapped into the free fluid's surface. We study the dynamics of singularities of both $z(w, t)$ and the complex fluid potential $n(w, t)$ in the upper complex half-plane of w . We reformulate the exact Eulerian dynamics through a non-canonical nonlocal Hamiltonian structure for a pair of the Hamiltonian variables [1], the imaginary part of $z(w, t)$ and the real part of $n(w, t)$ (both evaluated of fluid's free surface). The corresponding Poisson bracket is non-degenerate, i.e. it does not have any Casimir invariant. Any two functionals of the conformal mapping commute with respect to the Poisson bracket. New Hamiltonian structure is a generalization of the canonical Hamiltonian structure of Ref. [2] (valid only for solutions for which the natural surface parametrization is single valued, i.e. each value of the horizontal coordinate corresponds only to a single point on the free surface). In contrast, new non-canonical Hamiltonian equations are valid for arbitrary nonlinear solutions (including multiple-valued natural surface parametrization) and are equivalent to Euler equations. We also consider a generalized hydrodynamics with the additional physical terms in the Hamiltonian beyond the Euler equations as in Ref. [3] with the powerful reductions which allowed to find general classes of particular solutions. In Eulerian case we show the existence of solutions with an arbitrary finite number N of complex poles in $z_w(w, t)$ and $n_w(w, t)$ which are the derivatives of $z(w, t)$ and $n(w, t)$ over w [4]. These solutions are not purely rational because they generally have branch points at other positions of the upper complex half-plane with generally the infinite number of sheets of the Riemann surface for $z(w, t)$ and $n(w, t)$ [5]. The order of poles is arbitrary for zero surface tension while all orders are even for nonzero surface tension. We find that the residues of $z_w(w, t)$ at these N points are new, previously unknown constants of motion. These constants of motion commute with each other with respect to the Poisson bracket. There are more integrals of motion beyond these residues. If all poles are simple then the number of independent real integrals of motion is $4N$ for zero gravity and $4N - 1$ for nonzero gravity. For higher order poles the number of the integrals is increasing. These nontrivial constants of motion provides an argument in support of the conjecture of complete integrability of free surface hydrodynamics.

References

- [1] A. I. Dyachenko, P. M. Lushnikov and V. E. Zakharov, *Non-Canonical Hamiltonian Structure and Poisson Bracket for 2D Hydrodynamics with Free Surface*, Submitted to Journal of Fluid Mechanics (2018). arXiv:1711.02841
- [2] V.E. Zakharov, *Stab. of periodic waves of finite ampl. on a surface*, J. Appl. Mech. Tech. Phys. **9**, 190 (1968).
- [3] 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).
- [4] A. I. Dyachenko, S. A. Dyachenko, P. M. Lushnikov, and V. E. Zakharov. Dynamics of Poles in 2D Hydrodynamics with Free Surface: New Constants of Motion. *Submitted to Journal of Fluid Mechanics*, arXiv:1809.09584, 2018.
- [5] P.M. Lushnikov. *Structure and location of branch points for Stokes wave on deep water*, Journal of Fluid Mechanics, **800**, 557-594 (2016).

**Pierangeli D., Flammini M., Zhang L., Marcucci G.,
Agranat A.J., Grinevich P.G., Santini P.M., Conti C., and
DelRe E.**

***Экспериментальное наблюдение повторяемости Ферми-
Паста-Улама в оптическом эксперименте***

Недавно П.Г. Гриневичем и П.М. Сантини были предложены простые приближенные формулы для решения периодической задачи Коши для фокусирующего НУШ в предположении, что мы стартуем с малого возмущения неустойчивого конденсата и число неустойчивых мод не очень велико. С использованием этих результатов в Римском университете были проведены эксперименты в фоторефрактивном кристалле, в котором наблюдалось трехкратная повторная генерация аномальных волн, причем было получено хорошее согласие эксперимента с предсказаниями, сделанными на основе уравнения НУШ.

Работа принята к публикации в журнале PHYSICAL REVIEW X

Savin S., Pallocchia G., Wang C., Legen L.

Collisionless interactions: magnetopause communicates with bow shock?

S. Savin¹, G. Pallocchia², C. Wang³, L. Legen¹

(1) Space Research Institute RAS, RF,

(2) INAF-Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Roma, Italy,

(3) National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

ssavin@iki.rssi.ru

Our analysis of a sunward Poynting flux throughout magnetosheath and foreshock (directly measured by INTERBALL-1, Cluster-4 and Double Star TC1), for the first time clearly demonstrates, how the resonances in the magnetospheric boundary layers are transmitted back towards the bow shock: the short impulses of the sunward Poynting flux initiate the strongest (>80%!) 3-wave interactions with the incident dynamic pressure. They start in the foreshock, regulate the bow shock position and oscillations, and then another near- magnetopause 3-wave strong interactions assist plasma flow extra deflections and acceleration downstream the magnetopause.

**Tsareva O.O., Fruit G., Louarn P., Tur A., Malova H.V.,
Popov V.Yu.**

***Drift-Alfven instability in a 2D magnetotail configuration – the
addition of bouncing electrons***

To explain the possible destabilization of a 2D magnetic equilibrium such as the Near-Earth magnetotail, we developed a kinetic model describing the resonant interaction of electromagnetic fluctuations and bouncing electrons trapped in the magnetic bottle. A small- β approximation is used in agreement with a small field line curvature. It has been found that for a quasi-dipole configuration, unstable electromagnetic modes may develop in the current sheet with a growth rate of the order of a few tenth of seconds provided that the typical scale of density gradient slope responsible for the diamagnetic drift effects is over one Earth radius or less. This instability growth rate is large enough to destabilise the current sheet on time scales often observed during substorm onset.