"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Института теоретической
физики им. Л.Д. Ландау РАН
профессор, член-корреспондент РАН

В.В. Лебедев____________________

ВЫПИСКА

из протокола заседания сектора «Нелинейная динамика» Института теоретической физики им Л.Д. Ландау РАН от 24 декабря 2004 г. (заключение о диссертации А. И. Дьяченко «**Турбулентность и сингулярности в нелинейных волновых системах**» по месту её выполнения).

СЛУШАЛИ: доклад А. И. Дьяченко о диссертации «Турбулентность и сингулярности в нелинейных волновых системах», представляемой на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.03 – математическая физика.
ПОСТАНОВИЛИ: принять следующее заключение о диссертации А. И. Дьяченко:

Диссертационная работа А. И. Дьяченко посвящена изучению турбулентных и сингулярных течений идеальной жидкости со свободной поверхностью. В работе развивается несколько направлений исследований, как в рамках точных уравнений (потенциальные течения в уравнении Эйлера), так и в приближенных моделях типа нелинейного уравнения Шредингера. Одним из предметов исследования являются волны аномально большой амплитуды, называемые обычно волны-убийцы, образующиеся на поверхности океана. Изучение этих волн важно как для кораблестроения, так и для проектирования нефтяных и газовых платформ на морских шельфах. Также важным является разработка методов их прогноза. Поэтому актуальность этого исследования не вызывает сомнений. Также важной и интересной проблемой является вопрос о интегрируемости одномерного потенциального течения, или его приближеннных моделей, который также рассматривается в диссертации.

Ещё одна важная проблема, рассмотренная в диссертации - проблема колмогоровских спектров - является ключевой в теории слабой волновой турбулентности. Несомненно, что слаботурбулентные колмогоровские спектры должны теоретически объяснять степенные спектральные распределения энергии в ансамблях стохастических нелинейно взаимодействующих волн любой природы. Спектры такого типа наблюдаются систематически. Самый яркий пример такого рода - спектр $\epsilon_\omega \simeq gv/\omega^4$, который обычно наблюдается при возбуждении ветром гравитационных волн в море. Однако, эта точка зрения разделяется не всеми. Кроме того, самая применимость кинетического уравнения для волн к реальной ситуации также дискутируется. Вывод кинетического уравнения из исходных динамических уравнений предполагает законность предположения о хаотичности фаз, которая может быть нарушена формированием некоторых когерентных структур, таких как волновые коллапсы, солитоны или Бозе-конденсат. Фактически, эта критика имеет серьезные основания. В реальных ситуациях когерентные структуры встречаются часто, но в то же время нет причин для полного отказа от теории слабой турбулентности. Действительность многообразна, и во многих конкретных ситуациях когерентные структуры сосуществуют со слаботурбулентной компонентой, участвуя в процессы переноса и диссипации энергии и других интегралов движения.

Следовательно, имеется мотивация, чтобы продолжить исследование теории слабой турбулентности, исследуя тот случай, где когеретные структуры важны, и случай, где такие структуры не важны.

В первой главе, для исследования нестационарной двумерной динамики свободной поверхности предлагается подход, сочетающий

- конформное преобразование области, занимаемой жидкостью на полуплоскость, и
- гамильтонов формализм.

Их комбинация позволяет эффективно исследовать течения жидкости произвольной глубины в гравитационном поле, ис учетом капиллярности. Также рассмотрены некоторые приближенные модели, и их решения.

Основным же результатом первой главы являются новые, кубически нелинейные уравнения динамики жидкости, который можно эффективно решать численно. проведено численное моделирование образования волн-убийц на поверхности жидкости. показано, что механизмом их образования является модуляционная неустойчивость.

Во второй главе исследуется гипотеза о возможной интегрируемости двумерного потенциального течения жидкости в гравитационном поле. Эта гипотеза возникла благодаря замеченному факту, что амплитуда четырехволнового процесса тождественно равна нулю. Это было бы так, если бы система была интегрируемой. Для проверки этой гипотезы был вычислен (с помощью диаграммной техники и программы "Mathematica") пятиволновой матричный элемент, который оказался не равным нулю, и тем самым доказано, что двумерная гидродинамика со свободной границей является неинтегрируемой. Получено пятиволновое кинетическое уравнение.

В третьей главе исследуется влияние когерентных труктур на слаботурбулентные спектры в различных моделях волновой динамики, таких как модель MMT (A.Maida, D.McLaughlin и E.Tabak), нелинейное уравнение Шредингера в модифицированной нелинейностью, уравнене Гросса-Питаевского. Выяснены режимы, когда когеретные структруры оказывают существенное влияние на турбулентные спектры. Проведено численное моделирование различных турбулентных режимов. Кроме того в этой главе исследован коллапс в модели модифицированного уравнения Бенджамина-Оно (уравнение Шриры). Ваполнено численное моделирование динамики коллапса и проведено сравнение с экспериментальными данными.

В последней, четвёртой главе исследуется влияние дискретности разностной сетки на резонансное взаимодействие капиллярных и гравитационных волн на свободной поверхности трёхмерной жидкости. Важно понимать, что при слишком малых амплитудах волн в численном эксперименте резонансные взаимодействия могут отсутствовать. А слишком большая амплитуда волн может привести к нарушению условий применимости теории слабой турбулентности. Полученные результаты могут быть использованы при выборе параметров моделей, использующихся в экспериментах по численному моделированию турбулентности волн на поверхности жидкости. Проведено численное моделирование слабой турбулентности гравитационных волн на свободной поверхности. Подтверждена справедливость теории слабой турбулентности.

Основные результаты, представленные в диссертации, получены впервые. Предложенные теоретические и численные методы применены для исследования нелинейной волновой динамики для широкого класса моделей. Полученны кубически нелинейные уравнения безвихревой двумерной гидродинамики позволяющие эффективное численное моделирование нелинейных процессов на поверхности жидкости, включая такие как обрушение волн, когда граница жидкости становится неоднозначной. Новый подход к вычислению матричных элементов (с помощью конформных канонических переменных) позволяет эффективно вычислять резонансные взаимодействия волн в двумерной потенциальной гидродинамике. Теоретическое и численное исследование коллапса в пограничном слое объясняет экперименты по генерации когерентных структур в пограничном слое. Наблюдениие в численных экспериментах слаботурбулентных режимов, с Колмогоровскими спектрами флуктуаций, близких к экспериментальным, позволяет применять более простые, кинетические уравнения для предсказания океанского волнения в метеорологических приложениях.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Список литературы

[1] А.И. Дьяченко, В.Е. Захаров, А.Н. Пушкарев, В.Ф. Швец, В.В. Яньков, *Солитонная турбулентность в неинтегрируемых волновых системах*, *ЖЭТФ*, **96**, Вып. 6(12), стр. 2026-2031, (1989).
Sov. Phys. JETP, **69**(6), pp. 1144-1147 (1989).

[2] Dyachenko A.I., Pushkarev A.N., Shvets V.F., et al. Proc IV Int. Workshop “Nonlinear and Turbulent processes in physics”, Kiev, 1989.

[3] A.I.Dyachenko, A.C.Newell, A.N.Pushkarev, and V.E.Zakharov, *Optical Turbulence*, *Physica* D, **57**, pp. 96-160 (1992)

[4] A.I.Dyachenko, E.A.Kuznetsov, *Instability and Self-Focusing of Solitons in the Boundary Layer*, *Письма в ЖЭТФ*, **59**, Вып. 2, стр. 103-108 (1994).
JETP Lett., **59**, pp. 108-113 (1994).

[5] A.I.Dyachenko, V.E.Zakharov, *Is the free-surface hydrodynamics an integrable system? Phys. Lett. A* **190**, pp. 144-148 (1994).

[6] A.I.Dyachenko, Y.V.L’vov, *On the Hasselmann’s and Zakharov’s approaches to the kinetic equations for the gravity waves J.Phys. Oceanography* **25** N12, pp. 3237-3238 (1995)

[7] A.I.Dyachenko, Y.V.L’vov and V.E.Zakharov, *Five-wave interaction on the surface of deep fluid*, *Physica D* **87**, pp. 233-261 (1995)

[8] A.I.Dyachenko, E.A.Kuznetsov, *Two-Dimentional Wave Collapse in The Boundary Layer*, *Physica D* **87**, pp. 301-313 (1995)

[9] A.I.Dyachenko, E.A.Kuznetsov, M.D.Spector and V.E.Zakharov, *Analytical Description of the Free Surface Dynamics of an Ideal Fluid*, *Phys. Lett. A*, **221**, pp. 73-79 (1996).

[10] A.I.Dyachenko, V.E.Zakharov, *Toward an Integrable Model of Deep Water*, *Phys. Lett. A*, **221** pp. 80-87 (1996).

[11] А.И. Дьяченко, В.Е. Захаров, Е.А. Кузнецов, *Нелинейная динамика свободной поверхности идеальной жидкости*, *Физика плазмы*, **22**, Вып. 10, стр. 916-928 (1996)
Plasma Physics Reports, **22** No. 10, pp. 829-840 (1996).

[12] A.I.Dyachenko, G.Fal’kovich, *Condensate Turbulence in Two Dimensions*, *Physical Review E*, **54**, No. 5, pp. 5095-5099, (1996).

[13] V.E.Zakharov, A.I.Dyachenko, *High-Jacobian approximation in the free surface dynamics of an ideal fluid*, *Physica D* **98**, pp. 652-664 (1996).

[14] А.И. Дьяченко, *О динамике идеальной жидкости со свободной поверхностью*, *Доклады Академии Наук*, **376**, Вып. 1, стр. 27-29 (2001).
Doklady Mathematics, **63**, No. 1, pp. 115-118 (2001).

[15] V.E. Zakharov, O.A. Vasilyev and A.I. Dyachenko, *Kolmogorov spectra in one-dimensional weak turbulence*, *Письма в ЖЭТФ*, **73**, Вып. 2, стр. 68-70 (2001).
JETP Letters, **73**, No. 2, pp. 63-65 (2001).

[16] V.E. Zakharov, A.I. Dyachenko and O.A. Vasilyev, *New method for numerical simulation of a nonstationary potential flow of incompressible fluid with a free surface*, *European Journal of Mechanics B-Fluids*, **21**, No. 3, pp. 283-291 (2002).

[17] A.I. Dyachenko, A.O. Korotkevich, V.E. Zakharov, *Decay of the monochromatic capillary wave*, *Письма в ЖЭТФ*, **77**, Вып. 9-10, стр. 572-576 (2003)

[18] A.I. Dyachenko, A.O. Korotkevich, V.E. Zakharov, *Weak turbulence of gravity waves*, *Письма в ЖЭТФ*, **77**, Вып. 9-10, стр. 649-653 (2003).

[19] A.I. Dyachenko, A.O. Korotkevich, V.E. Zakharov, *Weak Turbulent Kolmogorov Spectrum for Surface Gravity Waves*, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, No. 13, pp. 134501-1–134501-4 (2004).

Опубликованные по теме диссертации работы в достаточной мере отражают её содержание. Уровень и объём проведенного исследования, актуальность и новизна полученных результатов свидетельствуют о том, что диссертация А. И. Дьяченко «**Турбулентность и сингулярности в нелинейных волновых системах**» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК России к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

На основании вышеизложенного сектор нелинейной динамики Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН рекомендует диссертацию А. И. Дьяченко «**Турбулентность и сингулярности в нелинейных волновых системах**» к публичной защите по специальности 01.01.03 - математическая физика.

24 декабря 2004 г.

Заведующий сектором «Нелинейная динамика»
Института теоретической
физики им. Л.Д. Ландау РАН
профессор, член-корреспондент РАН /*Е. А. Кузнецов*/