

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2020

XIX научная школа

29 февраля – 6 марта 2020 года, Нижний Новгород

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Нижний Новгород

ИПФ РАН

2020

В сборнике собраны аннотации лекций и инициативных докладов XIX научной школы «Нелинейные волны – 2020» (Нижний Новгород, 29 февраля – 6 марта 2020 г.), прошедшие рецензирование членами программного комитета и одобренные к включению в программу школы.

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

- современные проблемы теории нелинейных колебаний и волн;
- нелинейные процессы в геофизике;
- модели климата и экосистем;
- нелинейные явления в космологии и астрофизике;
- физика экстремальных электромагнитных полей;
- нелинейные процессы в биофизике и нейродинамике;
- нелинейная динамика квантовых систем.

Всего в работе школы принимает участие более 200 человек. Запланировано 45 лекций приглашенных известных российских и иностранных ученых, около 70 устных докладов и более 80 стендовых выступлений других участников школы. В этом году ожидается приезд исследователей из Нижнего Новгорода (ИПФ РАН, ННГУ, ИФМ РАН, ВШЭ), Москвы (ВШЭ, ГАИШ, ИВМ РАН, ИКИ РАН, ИО РАН, ИПМ РАН, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, ИТЭФ, ИФА РАН, ИФЗ РАН, ИЯИ РАН, МГУ, МИФИ, МФТИ, НИТУ «МИСиС», НИЦ «Курчатовский институт», МЭИ, Сколтех, ФИАН), Саратова (СГУ, СФ ИРЭ РАН), а также из Владивостока, Казани, Калининграда, Новосибирска, Обнинска, Перми, Петрозаводска, Пущино, Санкт-Петербурга, Самары, Тюмени, Черногоровки, Ярославля. Кроме того, на школу должны приехать ученые из Германии, Израиля, Великобритании, Испании, Норвегии, США, Финляндии.

Ответственный за выпуск *А.В. Слюняев*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛИТОНОВ: ВЕРОЯТНОСТНЫЕ АСПЕКТЫ

Т.В. Тарасова, А.В. Слюняев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород

Интерес к солитонному газу (большим ансамблям взаимодействующих солитонов) связан с задачами описания вероятностных характеристик в случайных полях когерентных волн, существенно отличающихся от гауссовых. К таким ситуациям относят, например, специфические состояния морских волн, когда вероятность высоких волн становится аномально большой (эффект аномально высоких волн, или волн-«убийц», rogue waves). Не менее актуально построение теории солитонного газа для приложения в нелинейной оптике, где оптические солитоны (единичные и сложные солитонные комплексы) используются для кодирования информации. Кинетические уравнения для солитонов, выведенные в работах [1, 2], описывают транспорт солитонов, но не дают информации о значениях поля, в том числе экстремальных значениях. Потому вопросы высот волн-«убийц» и вероятности электрического пробоя оптоволоконных линий сегодня могут решаться только прямым численным моделированием. В то же время точные аналитические решения позволяют подробно исследовать парные столкновения, представляющие собой «элементарные акты» «солитонной турбулентности» [3]. При столкновениях солитоны сохраняют свою идентичность, что подсказывает аналогии с задачами взаимодействующих частиц, но приобретают фазовые сдвиги. В численных экспериментах [4] статистика множественных столкновений солитонов с близкими скоростями оказалась подчиненной экспоненциальному закону. Это наблюдение может быть интерпретировано как результат независимого движения частиц с конечным размером. Если вероятность нахождения в заданной точке одной частицы размером d , движущейся с постоянной скоростью по окружности длиной L , равна $p_1 = d/L$, то вероятность нахождения в этой точке n подобных частиц (n -кратное столкновение) может быть оценена как $P_n = p_1^n = \exp(n \ln p_1)$, что дает искомую экспоненциальную зависимость. В работе [4] следовала оценка $\ln p_1 \approx -1,9$. Развивая механическую аналогию, мы предположили связь $d = \Delta x$, где Δx – сдвиг координат, приобретаемый солитонами при взаимодействии. Величины Δx были рассчитаны для параметров солитонов уравнения Гарднера, использованных в [4],

$$u_t + 6uu_x + 6u^2u_x + u_{xxx} = 0, \quad (1)$$

но для двух предельных случаев (1): уравнения Кортевега – де Вриза и модифицированного уравнения Кортевега – де Вриза (когда в уравнении (1) равны нулю второе и первое нелинейное слагаемое соответственно). Все эти перечисленные эволюционные уравнения являются интегрируемыми, и сдвиг фаз солитонов в них записывается универсальным образом:

$$\Delta x_{1,2} = \pm \frac{2}{\sqrt{c_{1,2}}} \ln \frac{\sqrt{c_2} + \sqrt{c_1}}{\sqrt{c_2} - \sqrt{c_1}}, \quad (2)$$

где c_1 и c_2 – скорости взаимодействующих солитонов.

По результатам оценок для параметров, использованных в [4], следует результат $-5,60 < \ln p_1 < -4,68$ для уравнения Кортевега – де Вриза и $-6,10 < \ln p_1 < -4,88$ для модифицированного уравнения Кортевега – де Вриза в зависимости от выбора пар взаимодействующих солитонов. Таким образом, пренебрежение различиями между солитонами оказалось разумным допущением (диапазон значений $\ln p_1$ не велик), но числовая оценка далека от найденной в работе [4]. На наш взгляд, причиной такого существенного количественного расхождения теоретического предсказания и результата численного моделирования является использование величины Δx в качестве оценки характерного размера солитона. Для выбранных параметров этой ширине соответствует уровень менее чем 0,017 от амплитуды солитона. Поскольку в работе [4] выделение многосолитонных столкновений происходило визуально, то эффективный порог должен быть выше.

Для оценки вероятностных свойств полей взаимодействующих солитонов рассмотрен идеализированный случай столкновения двух солитонов уравнения Кортевега – де Вриза. На основе точного двухсолитонного решения строилась функция изменения вероятности превышения заданного значения по отношению к таковой, когда солитоны не взаимодействуют. Далее производилось интегрирование по времени. Полученная функция отражает измерение вероятностных свойств поля из двух солитонов, связанное с их взаимодействием. Она построена для разных соотношений параметров взаимодействующих солитонов, включая ситуации обгонного и обменного взаимодействия.

Разные части работы выполнены при поддержке лаборатории динамических систем и приложений НИУ ВШЭ (грант Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение 075-15-2019-1931), а также проекта РНФ 19-12-00253.

Литература

1. *Захаров, В.Е.* Кинетическое уравнение для солитонов // ЖЭТФ. 1971. Т. 60, вып. 3. С. 993–1000.
2. *El, G.A.* Kinetic equation for a dense soliton gas / G.A. El, A.M. Kamchatnov // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 95. P. 204101.
3. *Pelinovsky, E.N.* Two-soliton interaction as an elementary act of soliton turbulence in integrable systems / E.N. Pelinovsky, E.G. Shurgalina, A.V. Sergeeva, T.G. Talipova, G.A. El, R.H.J. Grimshaw // Phys. Lett. A. 2013. V. 377. P. 272–275.
4. *Didenkulova (Shurgalina), E.G.* Numerical modeling of soliton turbulence within the focusing Gardner equation: rogue wave emergence // Physica D. 2019. V. 399. P. 35–41.