

**БРИЗЕРЫ В СПОНТАННО ВОЗМУЩЕННОМ КОНДЕНСАТЕ\***✉ И. И. Мулляджанов<sup>1,2</sup>, Р. И. Мулляджанов<sup>2,3</sup>, А. А. Гелаш<sup>1,4</sup><sup>1</sup> *Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск*<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*<sup>3</sup> *Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск*<sup>4</sup> *Сколковский институт науки и технологии, Москва*

✉ i.mulliadzhanov@g.nsu.ru

Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) является фундаментальной моделью распространения нелинейных волн, применимой в различных областях физики. Например, НУШ описывает в первом приближении распространение гравитационных волн на поверхности глубокой воды и распространение света в оптоволокне с кубической (керровской) нелинейностью. НУШ можно полностью проинтегрировать (решить) с помощью метода обратной задачи рассеяния (МОЗР), который преобразует волновое поле в так называемые данные рассеяния, представляющие собой нелинейный аналог традиционных Фурье-гармоник [1, 2]. Данные рассеяния НУШ могут быть получены в результате решения задачи рассеяния для вспомогательной линейной системы Захарова — Шабата, в которой волновое поле играет роль потенциала. Таким образом, благодаря МОЗР мы имеем возможность решать целый класс нелинейных дифференциальных уравнений, называемых интегрируемыми, сопоставляя им линейные уравнения. Это, в свою очередь, позволяет изучать многие феномены, возникающие в нелинейных системах, например модуляционную неустойчивость, которая представляет собой неустойчивость постоянного фона (конденсата) к длинноволновому возмущению.

Мы изучаем численно задачу о модуляционной неустойчивости конденсата с периодическими граничными условиями, что на практике находит применение, например, в нелинейной оптике, где большое количество источников света являются периодическими. Размер численной области, в которой мы проводим моделирование, существенно больше характерной длины волны возмущений конденсата. Это позволяет наблюдать распространение пространственно-локализованных когерентных структур — бризеров. Нас интересуют так называемые суперрегулярные бризеры НУШ, которые могут возникнуть как результат развития модуляционной неустойчивости конденсата из локализованных возмущений [3, 4]. Для суперрегулярных бризеров НУШ ранее была построена теория на бесконечном пространственном интервале [3, 4], а также изучен механизм их появления из случайных локализованных возмущений конденсата [5]. В работе мы рассматриваем периодические возмущения конденсата и демонстрируем примеры формирования суперрегулярных бризеров в данной задаче. Каждому бризеру, помещенному в периодические граничные условия, соответствует разрешенная зона небольшой ширины в спектре собственных чисел системы Захарова — Шабата. Для изучения спектра периодической задачи Захарова — Шабата мы используем адаптированный нами алгоритм Фурье-коллокаций, что является новым подходом и значительно упрощает процесс нахождения собственных чисел периодической системы Захарова — Шабата.

Сначала мы изучаем особенности спектральных портретов суперрегулярных бризеров, помещенных в периодические граничные условия, строим диаграммы ширины разрешенных

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-22-00653.

© И. И. Мулляджанов, Р. И. Мулляджанов, А. А. Гелаш, 2023

зон в зависимости от параметров бризеров и формулируем критерий, по которому разрешенной зоне соответствует локализованный в пространстве бризер. Затем мы изучаем особенности спектральных портретов системы Захарова — Шабата для начального условия вида бризер плюс шум (рис. 1). Наконец, мы генерируем начальные условия в виде возмущенного конденсата, в котором спонтанно формируются бризеры. Для всех начальных условий мы также рассчитываем пространственно-временные диаграммы распространения, которые позволяют визуализировать распространение бризеров на фоне развивающейся из шума модуляционной неустойчивости. В заключение мы обсуждаем условия, при которых возможно формирование суперрегулярных бризеров в периодически возмущенном конденсате, и сравниваем наши результаты с результатами работы [6]. Полученные нами пространственно-временные диаграммы для разных конфигураций шума сходна с теми паттернами, которые описаны в работе [6]. Различие состоит в том, что мы наблюдали меньшее количество треков, а для спектральных портретов задачи Захарова — Шабата благодаря модифицированному нами алгоритму Фурье-коллокаций мы получали как обе граничные точки (оранжевые точки на рис. 2) по квази-импульсу, так и промежуточные (синие точки на рис. 2).

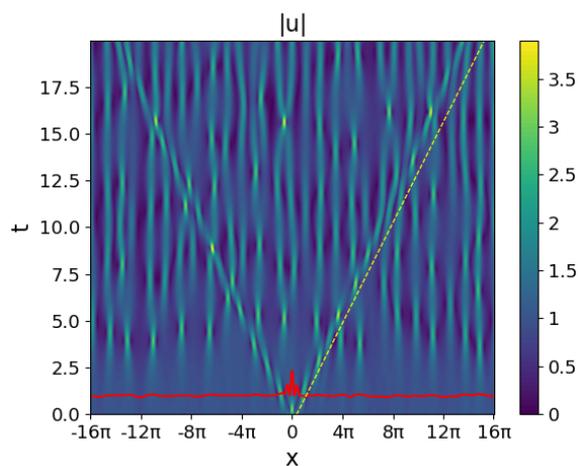


Рис. 1. Пространственно-временная диаграмма с начальным условием бризер плюс шум (красная кривая) и траектория бризера, рассчитанная при помощи теоретической формулы для скорости бризеров (желтая пунктирная линия)

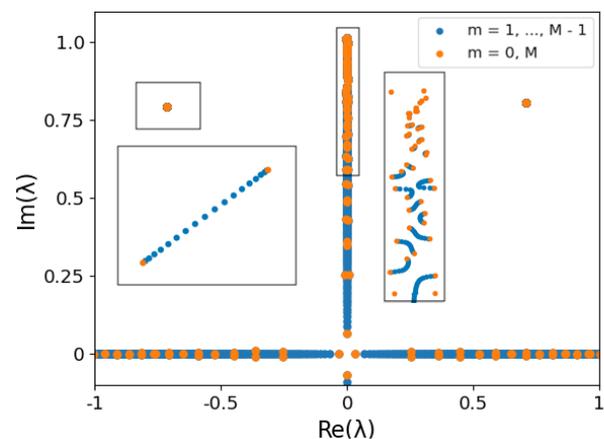


Рис. 2. Спектральный портрет системы Захарова — Шабата, где выделенная черным квадратом зона, соответствует бризеру, для которого была рассчитана теоретическая траектория на рис. 1

## Список литературы

1. Захаров В. Е., Шабат А. Б. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61, No.1. С. 118–134.
2. Захаров В. Е., Манаков С. В., Новиков С. П., Питаевский Л. П. Теория солитонов: Метод обратной задачи. М.: Наука, 1980. 319 с.
3. Zakharov V. E., Gelash A. A. Nonlinear stage of modulation instability // Phys. Rev. Lett. 2013. Vol. 111. P. 054101.
4. Gelash A. Formation of rogue waves from a locally perturbed condensate // Phys. Rev. E. 2018. Vol. 97. P. 022208.
5. Conforti M., Li S., Biondini G., Trillo S. Automodulation versus breathers in the nonlinear stage of modulational instability // Optics letters. 2018. Vol. 43. P. 5291.
6. Soto-Crespo J. M., Devine N., Akhmediev N. Integrable turbulence and rogue waves: breathers or solitons? // Phys. Rev. Lett. 2016. Vol. 116. P. 103901.