

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СОЛИТОНЫ В АКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В. В. Япаров, В. Б. Тараненко

*Численно и экспериментально исследованы фундаментальные свойства топологических пространственных солитонов, которые существуют в активных резонаторах с высоким (больше 100) числом Френеля и с лазерным и/или параметрическим усилением и насыщающимся поглотителем. Рассмотрены запись и стирание би- и тристабильных лазерных солитонов (фундаментальных солитонов [1, 2] и вихревых солитонов [3]) в различных местах поперечного сечения лазера с помощью внешнего управляющего импульса света. Мы впервые показали в численном эксперименте существование оптических доменных стенок (разделенных фазовых доменов, которые находятся в противофазе) в форме расширяющихся спиральных волн, а также локализованного доменного солитона, вращающегося вокруг дефекта Нееля (в связи с этим мы его назвали “неелевский солитон”) в активных резонаторах со смешанным лазерным и параметрическим усилением. Мы предложили потенциальные возможности применения топологических солитонов в оптической обработке, хранении и передаче информации.*

**Ключевые слова:** лазер, параметрический генератор, топологические структуры.

В оптических резонаторах с лазерным/параметрическим усилением возможна генерация световых полей с нетривиальной топологической структурой, например, в виде оптических вихрей [1] или оптических доменных стенок [2, 3]. Наибольший практический интерес представляет режим генерации локализованных топологических структур, называемых топологическими резонаторными солитонами, которые существуют в бистабильных активных резонаторах. Так, в амплитудно-бистабильных лазерах воз-

---

Международный центр “Институт прикладной оптики” НАН Украины, ул. Кудрявская, 10-г, Киев, Украина, 04053.

можно генерация вихревых солитонов [4], а в фазово-бистабильных параметрических генераторах света – кольцевых доменных стенок [5]. В настоящей работе рассмотрен активный резонатор, обладающий комбинированной амплитудно-фазовой бистабильностью. Методом численного моделирования продемонстрировано существование в таком резонаторе топологического солитона нового типа, структура которого подобна топологической структуре дефекта Нееля в ферромагнетиках.

Рассмотрим широкоапертурный четырехволновой параметрический генератор, схема которого показана на рис. 1.

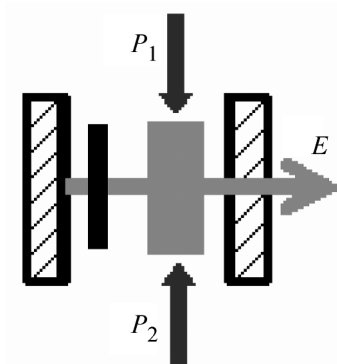


Рис. 1: Схема активного оптического резонатора: между двумя плоскопараллельными зеркалами (штрихованными прямоугольниками) находятся активная среда (серый прямоугольник) и насыщающийся поглотитель (черный прямоугольник),  $P_1$  и  $P_2$  – первая и вторая когерентные накачки соответственно, стрелкой показано направление распространения излучения резонатора с напряженностью поля  $E$ .

Численное моделирование эволюции оптического поля внутри резонатора такого генератора проводилось в среде MatLab с использованием сплит-шагового фурье-метода решения нелинейного уравнения (1).

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{gE + \gamma E^*}{1 + |E|^2} - \frac{aE}{1 + s|E|^2} - \eta E + (d_{\text{Re}} + id_{\text{Im}})\nabla_{\perp}^2 E, \quad (1)$$

где  $E(x, y, t)$  – напряженность электрического поля, нормированная на напряженность поля насыщения усиления;  $E^*$  – поле, комплексно-сопряженное с  $E$ ;  $t$  – время, нормированное на время жизни фотона в пустом резонаторе;  $g$  – ненасыщенный лазерный коэффициент усиления;  $\gamma$  – ненасыщенный параметрический коэффициент усиления;

$a$  – ненасыщенный коэффициент поглощения насыщающегося поглотителя;  $s$  – отношение интенсивностей насыщения усиления и поглощения;  $\eta$  – коэффициент линейных потерь;  $d_{\text{Re}}$  – коэффициент диффузии;  $d_{\text{Im}}$  – коэффициент дифракции;  $\nabla_{\perp}^2$  – поперечный лапласиан.

Такое моделирование показывает, что данный генератор обладает комбинированной амплитудно-фазовой бистабильностью и при определенном соотношении интенсивностей накачек в нем образуется новый тип топологического солитона (рис. 2). Структура его волнового фронта подобна дефекту Нееля в ферромагнетиках, поэтому мы назвали его “неелевский солитон”.

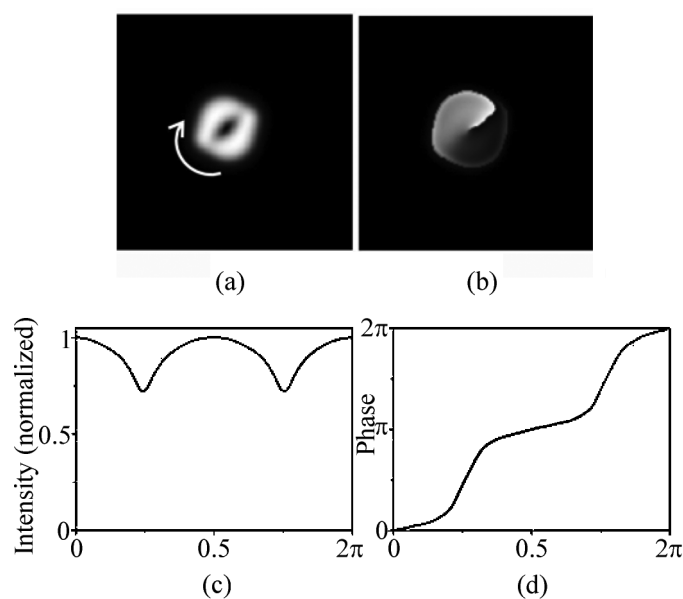


Рис. 2: Распределение интенсивности (a) и фазы (b) в поперечном сечении резонатора, а также зависимости интенсивности (c) и фазы (d) от полярного угла  $\varphi$  при фиксированной координате  $\rho$ , равной радиусу солитона (начало полярной системы координат в центре солитона).

Волновой фронт неелевского солитона содержит одновременно линейный и точечный дефекты (рис. 2). Поэтому такой солитон сочетает в себе характеристики как оптической доменной стенки, так и вихревого солитона. Темная линия разделяет неелевский солитон на две противофазные части, что характерно для оптической доменной стенки. Интенсивность света в центре неелевского солитона падает до нуля подобно вихревому солитону. Отличительная особенность неелевского солитона состоит в том, что точка нулевой интенсивности делит доменную стенку на две равные части, имеющие противо-

положные поперечные градиенты фазы. Благодаря этому доменная стенка испытывает вращение как показано стрелкой на рис. 2(a). Направление вращения зависит от начальных условий.

Неелевские солитоны наряду с вращательной подвижностью обладают также и поступательной подвижностью, что представляет интерес для их применений в качестве подвижных тристабильных носителей информации.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] P. Couillet, L. Gil, and F. Rocca, *Opt. Commun.* **73**, 403 (1989).
- [2] S. Trillo, M. Haelterman, and A. Sheppard, *Opt. Lett.* **22**, 970 (1997).
- [3] K. Staliunas and V. J. Sanchez-Morcillo, *Phys. Rev. A* **57**, 1454 (1998).
- [4] N. N. Rosanov, *Spatial Hysteresis and Optical Patterns* (Springer, Berlin, 2002).
- [5] V. B. Taranenko, K. Staliunas, and C. O. Weiss, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 2236 (1998).

*По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.*

Поступила в редакцию 28 декабря 2010 г.