

Управление пространственными солитонами при помощи локализованных нелинейных дефектов различной формы

А. В. Маслова^{1,*}, Д. О. Игнатьева^{1,2,†}, В. Е. Лобанов¹, А. П. Сухоруков¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн. Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Российский квантовый центр, Россия, 143025,
Московская область, Одинцовский р-н, дер. Сколково

Изучена динамика солитона в керровской среде с локализованным нелинейным дефектом. Показана возможность наблюдения двух режимов: преломления солитона и его захвата при взаимодействии с нелинейным дефектом. Исследована зависимость условий захвата солитона дефектом от формы нелинейного дефекта и показано усиление влияния дефекта на динамику солитона при увеличении градиента коэффициента нелинейности.

PACS: 42.65.Tg, 42.65.Jx, 42.65.Wi. УДК: 535.3.

Ключевые слова: солитон, кубичная нелинейность, нелинейный дефект.

Создание новых методов управления динамикой солитонов является важной задачей современной фотоники, так как открывает возможность применения солитонов в телекоммуникационных системах в качестве носителей информации [1], управления светом при помощи света, создания оптических переключателей и в ряде других задач нелинейной оптики [2, 3]. Одним из способов контроля динамики солитона является модуляция линейных или нелинейных свойств среды, которая может осуществляться периодическим образом [4] или в виде локализованного дефекта [5, 6].

В данной работе рассмотрен способ управления динамикой пространственного солитона в кубично-нелинейной среде посредством локальной модуляции нелинейности, причем ширина нелинейного дефекта сопоставима с шириной солитона. Эволюция амплитуды солитона в такой среде может быть описана при помощи нелинейного уравнения Шредингера:

$$i \frac{\partial A}{\partial z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + (1 + \chi(x, z)) |A|^2 A = 0, \quad (1)$$

где кубичная нелинейность имеет локальную неоднородность $\chi(x, z)$ в виде канала:

$$\chi(x, z) = \chi_0 F \left(\frac{x+d-\alpha z}{w} \right), \quad (2)$$

параметр χ_0 отвечает за глубину модуляции, d — начальное расстояние, α — тангенс угла между солитоном и дефектом, w — ширина нелинейного дефекта. Функция F отвечает за форму дефекта. Считается, что начальное расстояние d сравнительно велико, так, что при $z = 0$ форма солитона практически не отличается от формы солитона в кубично-нелинейной изотропной

среде:

$$A(x, z = 0) = a \operatorname{sech}(ax). \quad (3)$$

Ранее было показано [7], что в нелинейной среде с положительной модуляцией нелинейности $\chi_0 > 0$ наблюдается изменение направления распространения солитона в зависимости от его амплитуды, начального угла и параметров дефекта. При этом может наблюдаться как плавная перестройка угла наклона солитона, так и его захват нелинейным дефектом.

В данной работе проведен анализ динамики солитона для различных форм нелинейного дефекта F , в том числе рассмотрен дефект гауссовой формы:

$$F = \exp \left(-\frac{(x+d-\alpha z)^2}{w^2} \right), \quad (4)$$

дефект в виде прямоугольного канала:

$$F = \begin{cases} 1, & |x+d-\alpha z| \leq w \\ 0, & |x+d-\alpha z| > w \end{cases}, \quad (5)$$

в виде гиперболического секанса:

$$F = \operatorname{sech} \left(-\frac{x+d-\alpha z}{w} \right), \quad (6)$$

в виде двух близко расположенных каналов гауссовой формы:

$$F = \frac{(x+d-\alpha z)^2}{w^2} \exp \left(-\frac{(x+d-\alpha z)^2}{w^2} \right). \quad (7)$$

На рис. 1 представлены результаты расчетов угла отклонения солитона в зависимости от модуляции нелинейности для указанных форм нелинейного дефекта. Безразмерный угол, под которым расположен нелинейный дефект по отношению к направлению распространения солитона, во всех случаях составляет 0,3, амплитуда солитона $a = 1$.

*E-mail: masanna93@yandex.ru

†E-mail: ignatyeva@physics.msu.ru

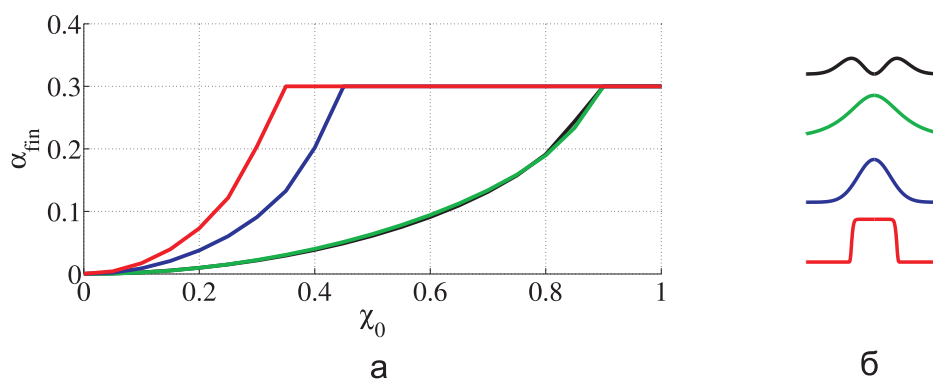


Рис. 1: (а) Угол отклонения солитона в зависимости от величины модуляции нелинейности. (б) Различные формы нелинейного дефекта: прямоугольная (красная кривая), гауссова (синяя кривая) формы, а также дефекты в виде двух близко расположенных каналов (черная кривая) и гиперболического секанса (зеленая кривая)

При значениях модуляции нелинейности ниже некоторого порогового значения происходит отклонение солитона, причем угол отклонения плавно изменяется с увеличением глубины модуляции нелинейности. Выше порогового значения наблюдается захват солитона нелинейным дефектом, при котором солитон распространяется вдоль дефекта.

Из рис. 1 видно, что в случае дефекта прямоугольного профиля солитон захватывается дефектом быстрее, нежели в остальных случаях. Нелинейность гауссовой

формы занимает промежуточное положение, в то время как сложнее всего происходит захват солитона при нелинейности, описываемой двумя близко расположенными каналами или в виде гиперболического секанса. Таким образом, для управления солитоном наиболее предпочтительна форма нелинейного дефекта, описываемого ступенчатой функцией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 12-02-01119, 14-02-01012 и 14-02-90050).

- [1] *Kivshar Y. S., Agrawal G. P.* Optical solitons: from fibers to photonic crystals (Academic Press, London, 2003).
 [2] *Optical solitons: theory and experiment.* ed. J. R. Taylor, (New York: Cambridge University Press, 1992).
 [3] *Solitons: nonlinear pulses and beams.* eds. N. N. Akhmediev, A. Ankiewicz (London: Chapman and Hall, 1997).
 [4] *Malomed B. A.* Soliton Management in Periodic Systems. (New York: Springer, 2006).

- [5] *Primatarowa M. T., Stoychev K. T., Kamburova R. S.* Phys. Rev. E. **72**, No. 3. (2005).
 [6] *Primatarowa M. T., Kamburova R. S., Stoychev K. T.* Journal of optoelectronics and advanced materials. **9**, No. 1. P. 152. (2007).
 [7] *Игнатьева Д. О., Лобанов В. Е., Сухоруков А. П.* Сборник трудов «Фотонное эхо и когерентная спектроскопия». С. 95. (2013).

Control of spatial solitons using localized nonlinear defects of different shape

A. V. Maslova^{1,a}, D. O. Ignatyeva^{1,2,b}, V. E. Lobanov¹, A. P. Sukhorukov¹

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Photonics and Microwave Physics Department. Moscow 119991, Russia*

²*Russian Quantum Center. Skolkovo village, Moscow region 143025, Russia*
 E-mail: ^amasanna93@yandex.ru, ^bignatyeva@physics.msu.ru

Soliton dynamics in Kerr medium with localized nonlinear defect was investigated. Two regimes can be observed: refraction and trapping of the soliton by the inhomogeneity as a result of their interaction. The conditions of the soliton trapping for different shapes of the defect were investigated and it was shown that the defect impact on soliton dynamics is amplified with the increase of the nonlinear coefficient gradient.

PACS: 42.65.Tg, 42.65.Jx, 42.65.Wi.

Keywords: soliton, cubic nonlinearity, nonlinear defect.

Сведения об авторах

1. Маслова Анна Васильевна — без звания, студент; тел.: +7(495) 939-33-17, e-mail: masanna93@yandex.ru.
2. Игнатьева Дарья Олеговна — канд. физ.-мат. наук, без звания, научный сотрудник; тел.: +7(495) 939-33-17, e-mail: ignatyeva@physics.msu.ru
3. Лобанов Валерий Евгеньевич — канд. физ.-мат. наук, без звания, докторант; тел.: +7(495) 939-33-17, e-mail: vallobanov@gmail.com.
4. Сухоруков Анатолий Петрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой фотоники и физики микроволн.