

Моделирование распространения автофокусирующихся пучков в линейной и нелинейной оптической среде

Е.О. Монин¹, С.Н. Хонина^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация

Рассмотрен и использован сплит-степ Фурье метод для моделирования распространения одномерных автофокусирующихся пучков в линейной и нелинейной оптической среде. Численное моделирование позволяет наглядно исследовать изменение свойств автофокусировки рассматриваемых пучков. Показана возможность формирования оптических ловушек на основе автофокусирующихся пучков.

Ключевые слова

Автофокусирующиеся пучки, линейная и нелинейная оптическая среда, сплит-степ Фурье метод, оптическая ловушка

1. Введение

Интерес к пучкам со свойствами автофокусировки [1, 2] связан с их особыми свойствами распространяться в свободном пространстве по изогнутой параболической траектории, что нашло применение во многих приложениях [3], включая оптическое манипулирование, микроскопию и лазерную обработку.

Отметим, что свойство автофокусировки в линейной среде аналогично действию линзы, и, как правило, обеспечивается за счет градиента фазы в поперечном распределении пучка в начальной плоскости. Очевидно, если к автофокусирующемуся пучку добавить фокусирующие оптические элементы, то его траектория будет существенно меняться. В этом случае можно получить 3D пространственное распределение интенсивности, называемое оптической ловушкой [4].

Известны оптические среды, например, градиентное оптическое волокно, которое можно рассматривать как систему линз. В такой среде даже пучок, не обладающий свойствами автофокусировки, будет формировать множество оптических ловушек [5]. Также в оптике хорошо известно явление самофокусировки в нелинейных средах, когда под воздействием интенсивного электромагнитного излучения меняется показатель преломления [6].

В данной работе использован сплит-степ Фурье (ССФ) метод для моделирования распространения одномерных автофокусирующихся пучков в линейной и нелинейной оптической среде. Численное моделирование позволяет наглядно исследовать изменение свойств автофокусировки рассматриваемых пучков.

2. Результаты моделирования

В численном анализе ССФ метод – это псевдо-спектральный численный метод, используемый для решения нелинейных уравнений в частных производных, таких как нелинейное уравнение Шредингера [7]. Расчет проводился в с использованием программного обеспечения MATLAB, где и был реализован ССФ метод.

Рассматривались одномерные входные сигналы, в том числе со свойствами автофокусировки. Были получены картины изменения сигнала при распространении в различных средах, графики изменения FWHM, а также различие сигнала на выходе и на входе.

На рисунке 1 показаны результаты распространении в линейной и нелинейной среде пучка следующего вида:

$$u(x) = \exp(-x^2/\sigma^2) \sin(\alpha x^q) \quad (1)$$

где $\alpha = 3/2$, $q = 3/2$, $\sigma = 5$ мм

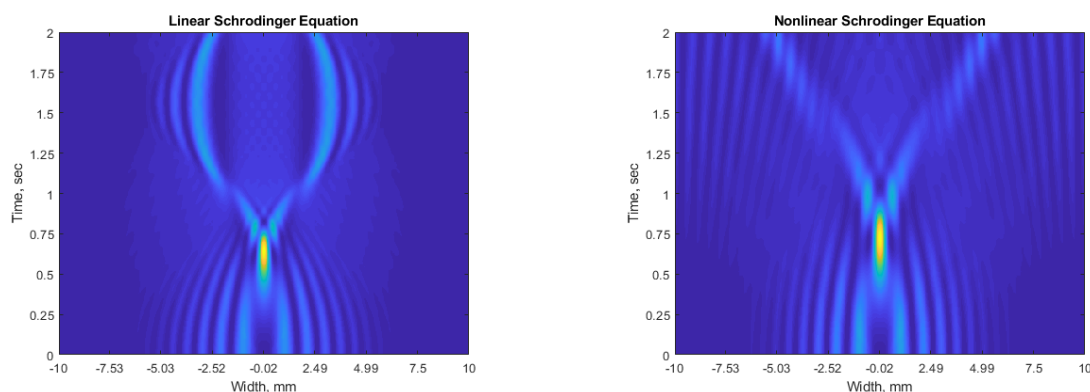


Рисунок 1: Траектория пучка (1) при распространении в линейной и нелинейной среде

Полученные результаты позволили визуально оценить характер траектории распространения пучка, в том числе способность к стабильности или к периодическому изменению в зависимости от входного распределения и параметров среды. В частности, показана возможность формирования оптических ловушек на основе автофокусирующихся пучков.

3. Заключение

На основе сплит-степ Фурье метода выполнено моделирование распространения одномерных автофокусирующихся пучков в линейной и нелинейной оптической среде. Численное моделирование позволило наглядно исследовать изменение траектории распространения рассматриваемых пучков. Показана возможность формирования оптических ловушек на основе автофокусирующихся пучков, что дополнительно расширяет область применения таких пучков.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00505 в части численного моделирования и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-3/Ч3363/26) в теоретической части.

5. Литература

- [1] Efremidis, N.K. Abruptly autofocusing waves / N.K. Efremidis, D.N. Christodoulides // Optics Letters. – 2010. – Vol. 35(23). – P. 4045-4047. DOI: 10.1364/OL.35.004045.
- [2] Ring, J. Auto-focusing and self-healing of Pearcey beams / J. Ring, J. Lindberg, A. Mourka, M. Mazilu, K. Dholakia, M. Dennis // Optics Express. – 2012. – Vol. 20(17). – P. 18955-18966. DOI: 10.1364/OE.20.018955.
- [3] Vallee, O. Airy functions and applications in physics / O. Vallee, M. Soares. – London: Imperial College Press, 2004. – 194 p.
- [4] Chremmos, I. Fourier-space generation of abruptly autofocusing beams and optical bottle beams / I. Chremmos, P. Zhang, J. Prakash, N.K. Efremidis, D.N. Christodoulides, Z. Chen // Optics Letters. – 2011. – Vol. 36. – P. 3675-3677.

- [5] Khonina, S.N. Propagation of laser vortex beams in a parabolic optical fiber / S.N. Khonina, A.S. Striletz, A.A. Kovalev, V.V. Kotlyar // Proceedings SPIE. – 2010. – Vol. 7523. – P. 75230B-1-12.
- [6] Kelley, P.L. Self-focusing of optical beams / P.L. Kelley // Physical Review Letters. – 1965. – Vol. 15. – P. 1005-1008.
- [7] Weideman, J.A.C. Split-step methods for the solution of the nonlinear Schrodinger equation / J.A.C. Weideman, B.M. Herbst // SIAM Journal on Numerical Analysis. – 1986. – Vol. 23. – P. 485-507.