

Моделирование распространения эллиптических пучков Лагерра-Гаусса

М.Л. Колебанова¹

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

Аннотация

В данной работе численно исследуется распространение эллиптические классических пучков Лагерра-Гаусса (ЛГ) и трёхиндексных эллиптических пучков ЛГ. Моделирование распространения пучков в свободном пространстве на различные расстояния выполнено с помощью преобразования Френеля, а прохождение через линзу с помощью преобразования Фурье. Результаты показали, что наличие эллиптичности приводит к расщеплению исходной вихревой сингулярности высокого порядка на оптические вихри первого порядка.

Ключевые слова

Эллиптический пучок Лагерра-Гаусса, преобразование Фурье, преобразование Френеля, оптическая вихревая сингулярность

1. Введение

Моды Лагерра-Гаусса (ЛГ) играют ключевое значение во многих аспектах оптики, включая оптические коммуникации [1, 2]. Моды ЛГ представляют собой парааксиальные световые поля с радиально-симметричной формой интенсивности, которые сохраняют свою структуру в свободном пространстве, изменяясь лишь масштабно. Мультиплексирование нескольких мод ЛГ в одном пучке позволяет существенно увеличить объём передаваемой информации и в полной мере раскрывает потенциал использования мод ЛГ в сфере квантовых информационных технологий [2].

В данной работе рассматривается распространение эллиптического пучка ЛГ, который уже нельзя считать модой [3, 4]. Кроме того, рассмотрены трёхиндексные эллиптические пучки ЛГ и их распространение в свободном пространстве. Моделирование выполнено с помощью преобразования Френеля и преобразования Фурье.

2. Результаты исследования

Входное поле представляет собой эллиптический пучок Лагерра-Гаусса при $z = 0$ в декартовых координатах и описывается выражением:

$$\Psi_{mn}(x, y; \alpha) = \left(\frac{2x^2 + 2\alpha^2 y^2}{w_0^2} \right)^{\frac{m}{2}} \exp \left(-\frac{x^2 + \alpha^2 y^2}{w_0^2} \right) L_n^{|m|} \left(\frac{2x^2 + 2\alpha^2 y^2}{w_0^2} \right) \times \exp \left[im \operatorname{actg} \left(\frac{\alpha y}{x} \right) \right], \quad (1)$$

где w_0 – радиус перетяжки гауссова пучка; n, m – целые числа; α – коэффициент эллиптичности; $L_n^{|m|}$ – обобщённый многочлен Лагерра.

Моделирование распространения пучков в свободном пространстве на различные расстояния осуществлялось с помощью преобразования Френеля, а прохождение через линзу с помощью преобразования Фурье. Численное моделирование позволяет выполнить наглядное исследование изменения структуры пучка при распространении или прохождении через линзу.

Результаты исследований показали, что при распространении эллиптический пучок ЛГ структурно видоизменяется: по картине амплитуды хорошо видно расщепление вихревой

фазовой сингулярности m -го порядка на m оптических вихрей первого порядка вдоль линии под углом 45° .

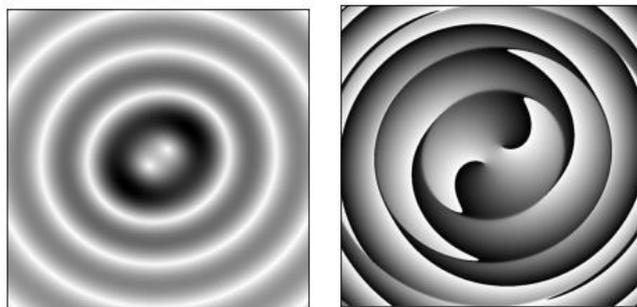


Рисунок 1: Результат выполнения преобразования Френеля для эллиптического пучка ЛГ (n, m) : $(5, 2)$, коэффициент эллиптичности $\alpha = 0.91$, $z = 4000$ мм, $w_0 = 0.391$ мм, $\lambda = 0.63$ мкм. Амплитуда и фаза

Трёхиндексные эллиптические пучки ЛГ также демонстрируют похожее поведение.

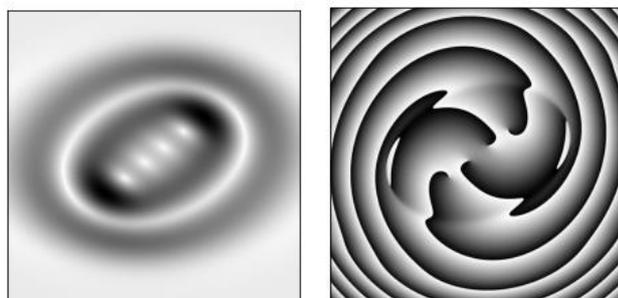


Рисунок 2: Результат выполнения преобразования Френеля для трёхиндексного эллиптического пучка ЛГ (n, m, p) : $(2, 0, 4)$, коэффициент эллиптичности $\alpha = 0.66$, $z = 2000$ мм, $w_0 = 0.391$ мм, $\lambda = 0.63$ мкм. Амплитуда и фаза

3. Заключение

Моделирование распространения эллиптических пучков ЛГ и трёхиндексные эллиптических пучков ЛГ показало, что наличие эллиптичности приводит к расщеплению исходной вихревой сингулярности высокого порядка на оптические вихри первого порядка.

4. Литература

- [1] Fu, D. Realization of a scalable Laguerre–Gaussian mode sorter based on a robust radial mode sorter / D. Fu, Y. Zhou, R. Qi, S. Oliver, Y. Wang, S.M.H. Rafsanjani, J. Zhao, M. Mirhosseini, Z. Shi, P. Zhang, R.W. Boyd // Optics Express. – 2018. – Vol. 26(25). – P. 33057-33065.
- [2] Zhou, Y. Sorting Photons by Radial Quantum Number / Y. Zhou, M. Mirhosseini, D. Fu, J. Zhao, S.M.H.Rafsanjani, A.E. Willner, R.W. Boyd // Physical Review Letters. – 2017. – Vol. 119(26-29). – P. 263602.
- [3] Cai, Y. Light beams with elliptical flat-topped profiles / Y. Cai, Q. Lin // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. – 2004. – Vol. 6. – P. 390-395.
- [4] Kotlyar, V. Elliptic Laguerre–Gaussian beams / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, A.A. Almazov, V.A. Soifer, K. Jefimovs, J. Turunen // Journal of the Optical Society of America A. – 2006. – Vol. 23(1). – P. 43-56.