ВЛИЯНИЕ ВЗАИМНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ФАЗЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ ПРИ ОСТРОЙ ФОКУСИРОВКЕ

М.С. Бельдинова[1]

[1]Самарский университет, г. Самара
e-mail: beldinova99@mail.ru

Аннотация

В работе исследована устойчивость оптического вихря с круговой поляризацией к искажениям, вносимым секторной диафрагмой. Численно показано, что при разных направлениях вращения поляризации и фазы отклонение интенсивности в фокусе от неискажённого случая меньше. Это означает, что такая конфигурация обеспечивает бóльшую структурную устойчивость вихря.

Ключевые слова: острая фокусировка, оптический вихрь, круговая поляризация, структурная устойчивость, секторная диафрагма.

Введение

Оптические вихри с круговой поляризацией привлекают внимание благодаря спин-орбитальному взаимодействию, которое в условиях острой фокусировки приводит к трансформации фазовой и поляризационной структуры пучка [1]. На входе линзы такой пучок описывается вектором Джонса:

$$\mathrm{E} = \frac{\mathrm{e}^{\mathrm{i}\mathrm{m}\varphi}}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\ \mathrm{i}\sigma\end{pmatrix}, \qquad (1)$$

где m – топологический заряд (вращение фазы), $\sigma = +1$ или $\sigma = -1$ – правая или левая круговая поляризация (вращение поляризации).

В работе [2] было показано, что расщепление оптического вихря в остром фокусе зависит от взаимного знака m и σ. В данной работе численно исследована устойчивость таких вихрей к искажениям, вносимым секторной диафрагмой, в зависимости от того, совпадают или противоположны направления вращения поляризации и фазы.

Моделирование

Моделирование фокусировки проводилось с помощью формализма Ричардса–Вольфа [3]. Электрическое поле в фокусе линзы рассчитывалось по интегралу:

$$\vec{E}(\rho,\psi,\mathrm{z}) = -\frac{\mathrm{if}}{\lambda}\int_0^{\alpha}\int_0^{2\pi-\varphi} \mathrm{B}(\theta,\varphi)\mathrm{T}(\theta)\vec{\mathrm{P}}(\theta,\varphi)\exp\left[ik(\rho sin\theta\cos(\varphi-\psi)+zcos\theta\right]\sin\theta\,\mathrm{d}\theta\,\mathrm{d}\varphi, \qquad (2)$$

На рисунке 1 показано распределение интенсивности в фокусе для вихря с топологическим зарядом $\mathrm{m} = -3$ и правой круговой поляризацией ($\sigma = +1$): (а) – неискажённый пучок, (б) – пучок с секторной диафрагмой шириной $\delta = \pi/8$. Видно, что искажение приводит к распаду вихревой структуры.

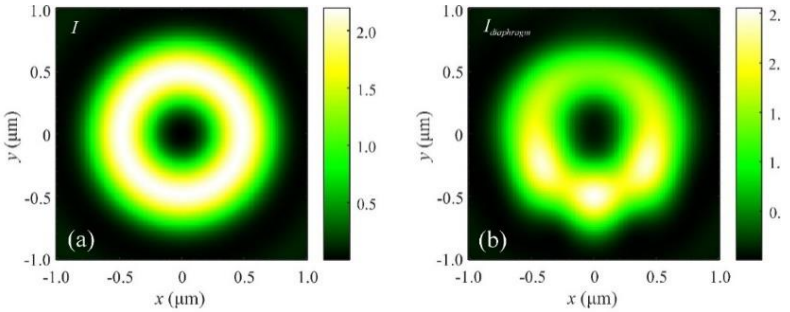


Рисунок 1 – Распределение интенсивности сфокусированного неискажённого (а) и искажённого секторной диафрагмой (б) оптического вихря с топологическим зарядом $\mathrm{m} = -3$

Заключение

В работе численно исследована устойчивость оптического вихря с круговой поляризацией к искажениям в виде секторной диафрагмы. Показано, что если направления вращения поляризации и фазы различны, то отклонение интенсивности искажённого пучка от неискажённого меньше. Таким образом, такая конфигурация обеспечивает бóльшую структурную устойчивость вихря при острой фокусировке.

Список использованных источников

1. Roadmap on structured waves / K.Y. Bliokh, E. Karimi, M.J. Padgett [et al.] // J. Opt. – 2023. – V. 25. – P. 103001.

2. Stafeev, S.S. Phase singularity points in tight focus of linearly polarized optical vortices near the region of reverse energy flow / S.S. Stafeev, V.V. Kotlyar // Opt. Commun. – 2025. – V. 591. – P. 132111.

3. Richards, B. Electromagnetic diffraction in optical systems. II. Structure of the image field in an aplanatic system / B. Richards, E. Wolf // Proc. R. Soc. A. – 1959. – V. 253. – P. 358–379.

THE INFLUENCE OF THE MUTUAL DIRECTION OF POLARIZATION AND PHASE ROTATION ON THE STABILITY OF AN OPTICAL VORTEX UNDER TIGHT FOCUSING

M.S. Beldinova[1]

[1]*Samara University, Samara*
e-mail: beldinova99@mail.ru

Abstract

The stability of a circularly polarized optical vortex against distortions introduced by a sector aperture is studied. Numerical results show that when the directions of polarization and phase rotation are opposite, the intensity deviation in the focus is smaller, indicating higher structural stability.

Keywords: tight focusing, optical vortex, circular polarization, structural stability, sector aperture.