

Новый тип пучков Лагерра-Гаусса с увеличенной центральной теневой областью

В. В. Котляр^{1,2}, Е. Г. Абрамочкин⁵, А. А. Ковалев^{1,2}, Е. С. Козлова^{1,2}, А. А. Савельева^{1,2}

¹ Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН; Молодогвардейская, 151, Самара, 443001, Россия

² Самарский национальный исследовательский университет; Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

³ Физический институт им. Лебедева; Россия, 443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, д. 221

В данной работе исследуется новый пучок Лагерра-Гаусса, который не сохраняет свою структуру при распространении в свободном пространстве, но является Фурье-инвариантным и имеет увеличенную темную область как в начальной плоскости, так и в дальней зоне. Кроме того, пучок является автофокусирующимся.

Ключевые слова: Оптический вихрь, Топологический заряд, Пучок Лагерра-Гаусса, Фурье-инвариантный пучок, Автофокусировка.

Цитирование: Котляр, В. В. Новый тип пучков Лагерра-Гаусса с увеличенной центральной теневой областью / В. В. Котляр, Е. Г. Абрамочкин, А. А. Ковалев, Е. С. Козлова, А. А. Савельева // НОЛОЕХРО 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 119–121.

Введение

Вихревые пучки Лагерра-Гаусса (ЛГ) на протяжении многих лет вызывают устойчивый интерес в связи с их широкими практическими применениями [1, 2]. В данной работе исследуется новый пучок ЛГ, топологический заряд которого не равен степени радиальной координаты. Это нарушает модальное распространение такого пучка в свободном пространстве. Однако, обсуждаемый пучок демонстрирует интересные свойства: автофокусировку и возможность управления диаметром центрального темного пятна интенсивности без изменения топологического заряда пучка.

Результаты исследования

В данной работе рассматривался пучок ЛГ, комплексная амплитуда которого в начальной плоскости ($z = 0$) описана формулой (1):

$$E_{n,m}(r, \varphi) = \exp\left(-\frac{r^2}{w^2} + i(m-n)\varphi\right) \left(\frac{r}{w}\right)^{m+n} L_n^m\left(\frac{r^2}{w^2}\right), \quad (1)$$

где (r, φ) — полярные координаты, w — радиус перетяжки Гауссова пучка, L_n^m — связанный полином Лагерра.

Аналитически показано, что пучок (1) является Фурье-инвариантным и автофокусируется на расстоянии Рэлея. Теоретические выкладки подтверждены результатами численного моделирования. Использовались следующие параметры: длина волны $\lambda = 532$ нм, радиус перетяжки Гауссова пучка $w_0 = 0,5$ мм, азимутальный и радиальный

индексы связанного полинома Лагерра соответственно $m = 4$ и $n = 3$. Результаты представлены на рис. 1.

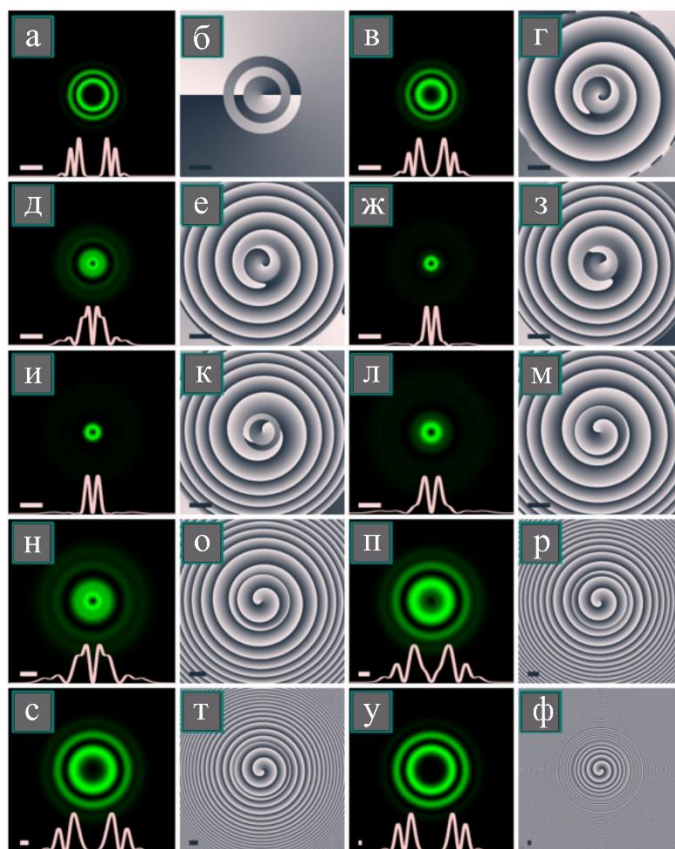


Рис. 1. Интенсивность (столбцы 1 и 3) и фаза (столбцы 2 и 4) пучка ЛГ (1) на следующих расстояниях от перетяжки z/z_0 : 0 (а,б), 1/4 (в,г), 1/2 (д,е), 3/4 (ж,з), 1 (и,к), 1,5 (л,м), 2 (н,о), 3 (п,р), 4 (с,т), 10 (у,ф). Отметки шкалы в левом нижнем углу (светлые в столбцах 1 и 3 и темные в столбцах 2 и 4) эквивалентны 1 мм.

Из рис. 1 видно, что пучки (1) имеют увеличенную темную область в начальной плоскости (рис.1а) и на расстоянии Рэлея фокальное пятно формируется в виде узкого светлого кольца (рис.1и) почти без боковых лепестков. Из рис.1 также видно, что интенсивность в дальнем поле (рис.1с) совпадает с начальной интенсивностью (рис.1а). Это подтверждает свойство Фурье-инвариантности пучков (1).

Заключение

В данной работе представлен пучок ЛГ, который не сохраняет своей поперечной структуры при распространении в свободном пространстве, но является Фурье-инвариантным и имеет увеличенную темную область как в начальной плоскости, так и в дальней зоне. Таким образом диаметр центрального темного пятна интенсивности можно настраивать без изменения топологического заряда. Кроме того, пучок является автофокусирующимся, т.е. распределение интенсивности на Рэлеевском расстоянии от перетяжки имеет форму светового кольца с максимальной интенсивностью на кольце.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда грант № 22-22-00265.

Список источников

[1] **Doster, T.** Watnik, A.T. Laguerre–Gauss and Bessel–Gauss beams propagation through turbulence: analysis of channel efficiency / T. Doster, A.T. Watnik // *Appl. Opt.* — 2016. — Vol. 55. — P. 10239-10246. — DOI: 10.1364/AO.55.010239.

[2] **Ghaderi Goran Abad, M.** Laguerre-Gaussian modes generated vector beam via nonlinear magneto-optical rotation / M. Ghaderi Goran Abad, M. Mahmoudi, // *Sci. Rep.* — 2021. — Vol. 11. — P. 5972. — DOI: 10.1038/s41598-021-85249-8.

A new type of Laguerre-Gaussian beams with an enlarged central shadow region

V. V. Kotlyar^{1,2}, E. G. Abramochkin³, A. A. Kovalev^{1,2}, E. S. Kozlova^{1,2}, A. A. Savelyeva^{1,2}

¹ Institute of Image Processing Systems RAS - branch of the Federal Research Center "Crystallography and Photonics" RAS; Molodogvardeiskaya, 151, Samara, 443001, Russia

² Samara National Research University; Russia, 443086, Samara, Moscow highway, 34

³ Physical Institute named after V.I. Lebedev; Russia, 443011, Samara, st. Novo-Sadovaya, 221

In this paper, we study a new Laguerre-Gauss beam, which does not retain its structure when propagating in free space, but is Fourier-invariant and has an enlarged dark region both in the initial plane and in the far zone. In addition, the beam is autofocusing.

Keywords: Optical vortex, Topological charge, Laguerre-Gauss beam, Fourier-invariant beam, Autofocusing.