

Поляризационные особенности Erf-Гауссова пучка, обусловленные внешними возмущениями

В.А. Гусева
Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского
Симферополь, Россия
viktoriya.nikagu@gmail.com

Ю.А. Егоров
Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского
Симферополь, Россия
yuriyegorov@cfuv.ru

А.Ф. Рыбась
Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского
Симферополь, Россия
rubass@cfuv.ru

А.В. Воляр
Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского
Симферополь, Россия
volyar@cfuv.ru

С.Н. Лапаева
Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского
Симферополь, Россия
myhomm@gmail.com

Аннотация — Данная статья посвящена новому направлению современной сингулярной оптики – пучкам с дробным топологическим зарядом. Генерация пучков Erf-Гаусса (EG) в настоящее время является новой и малоизученной темой. Экспериментально показано, что пучки с дробным топологическим зарядом прошедшие анизотропную среду формируют поляризационную особенность, расположенную на оси оптического луча, и при внешних возмущениях распадающуюся на два «лимона», что полностью подтверждается теоретическими расчетами. Построена карта распределения поляризации пучков EG, проходящих через анизотропную среду.

Ключевые слова — сингулярная оптика, топологический заряд, анизотропный кристалл

I. ВВЕДЕНИЕ

На данный момент существует множество научных исследований, объясняющих распространение различных типов оптических пучков в одноосном кристалле, таких как пучки Лагерра-Гаусса и Бесселя-Гаусса [1-3]. Обычно для этих типов пучков (если ось распространения и оптическая ось кристалла совпадают и произвольный пучок имеет круговую поляризацию) можно получить так называемый спиральный тип вырожденной пучка [4], который соответствует оптическому вихрю с топологическим зарядом $l = \pm 2$ в ортогонально поляризованной компоненте пучка (рис. 1).

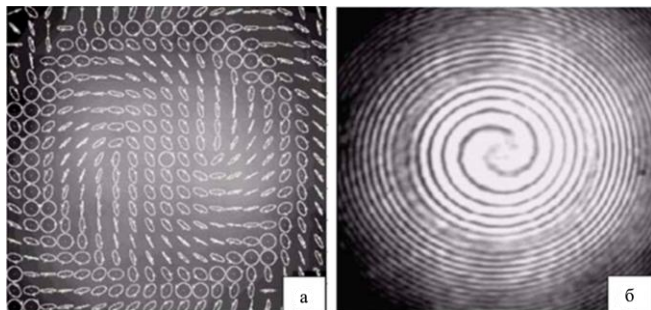


Рис. 1. Картина распределения поляризации спирального пучка (а), интерференционная картина оптического вихря с топологическим зарядом (б) на оси пучка, полученная с помощью анизотропного кристалла [3]

Такая генерация возможна благодаря сохранению полного углового момента и осевой симметрии анизотропного кристалла. Изменение спинового момента, связанное с поляризацией пучка, приводит к изменению орбитального момента, связанному с

образованием топологического заряда в ортогональной круговой компоненте. Оптический вихрь с топологическим индексом $l = \pm 2$ легко получить [3] внеся внешние возмущения или наклонив ось пучка относительно оси кристалла. Если углы наклона оптической оси кристалла малы ($< 0,1^\circ$), то центральная поляризационная омбилика распадается на два «лимона», а окружающее омбилику дислокационное кольцо распадается на две пары «монстар» — «звезда» [4]. Дальнейшее увеличение угла наклона оси пучка относительно оси кристалла приводит к тому, что топологические заряды круговых компонент становятся равными, а дополнительный орбитальный момент приводит к смещению центра масс пучка.

II. РАСПАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ОМБИЛИКИ EG-ПУЧКА

Задача, которую мы поставили в данной работе, — изучить и выявить условия, при которых возможен распад центральной поляризационной омбилики для EG-пучка (рис. 2), прошедшего через анизотропную среду при изменении угла наклона оси пучка относительно оси кристалла. В данной работе в качестве анизотропной среды использовался кристалл ниобата лития.

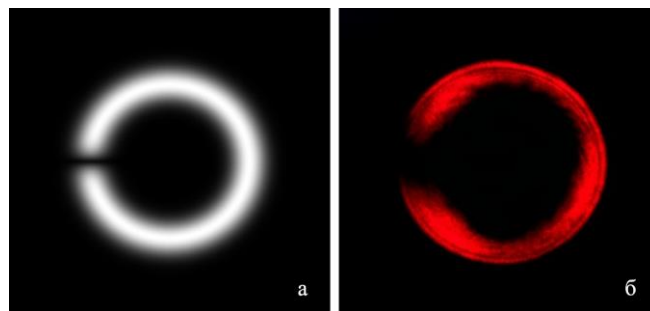


Рис. 2. Распределение интенсивности пучков EG, (а) – теория, (б) – эксперимент

На рис. 3 показан пример эволюции циркулярно-поляризованной компоненты этого пучка. Как видно на этом рисунке, топологический заряд левой и правой круговых компонент различается на две единицы и, соответственно, не происходит образования двойного оптического вихря на оси пучка [3]. Это соответствует случаю, когда расположение оси пучка не соответствует центру масс пучка. Распределение поляризации пучка соответствует случаю, в котором отчетливо видно вырождение центральной (осевой) омбилики с топологическим индексом в два «лимона», а кольцевой

омбилики — на две «звезды», два «лимона» и один «монстр».

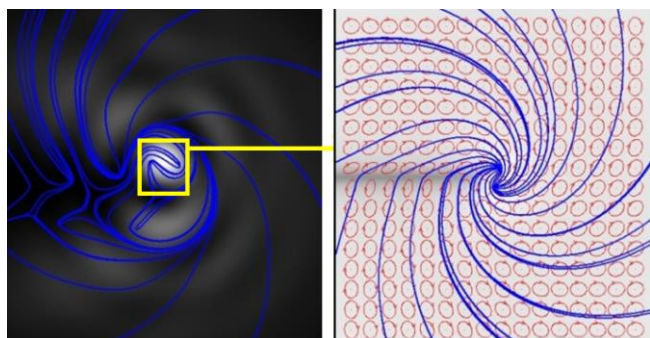


Рис. 3. Распад поляризационной особенности с топологическим индексом +1 на два «лимона» с топологическим индексом +1/2

Для экспериментального исследования распространения циркулярно поляризованного ЕG-луча была собрана экспериментальная установка, показанная на рис. 4. Излучение He-Ne-лазера с длиной волны 0,63мкм проходит делительную призму, затем луч проходит через поляризатор и четвертьволновую пластину, образуя круговую поляризацию. Пучок с топологическим зарядом $l = -0,5$ расширяется системой линз. Затем используется линза или система линз для сфокусировки данного пучка на входную грань кристалла LiNbO_3 длиной два сантиметра, таким образом, чтобы ось пучка совпадает с оптической осью кристалла.

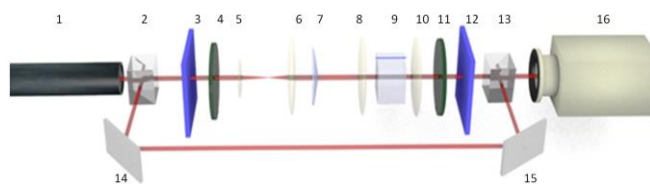


Рис. 4. Экспериментальная установка: 1-He-Ne-лазер; 2,13 – расщепляющая призма; 3,12 – поляризатор; 4,11 – четвертьволновая пластинка, 5,6 – расширитель пучка; 7 – аксикон; 8,10 – линза; 9 – кристалл; 16 – камера; 14,15 – зеркала

После кристалла мы устанавливаем фокусирующую систему линз, которая коллимирует данный пучок и проецирует его на камеру.

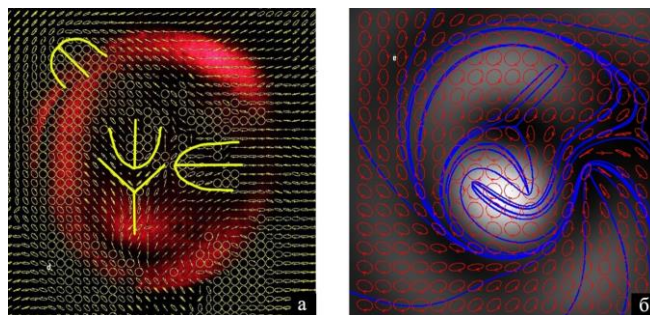


Рис. 5. Распределение поляризации пучка EG, проходящего через одноосный кристалл (а) – экспериментальное (б) – теоретическое

Между данной системой линз и камерой установлены четвертьволновая пластинка и поляризатор, являющиеся неотъемлемой частью дифференциального поляриметра.

Картина распределения поляризации приведена на рис. 5.

Экспериментальное распределение интенсивности компонент E циркулярно-поляризованного пучка показано на рис. 6а.

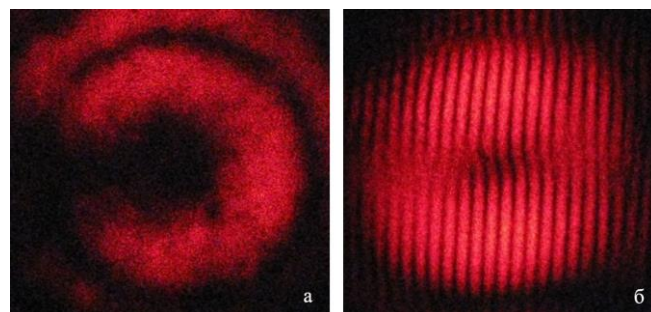


Рис. 6. Экспериментальное распределение интенсивности (а) и фазы (б) компонент пучка с круговой поляризацией

Из интерференционной картины (рис. 6б) мы видим, что интерференционные картины сдвинуты на половину полосы, что соответствует топологическому заряду $l = -0,5$ циркулярно поляризованной компоненты пучка.

III. ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы впервые с помощью аксикона были сгенерированы EG-пучки, изучены характеристики оптических вихрей с дробным топологическим зарядом в анизотропной среде и собрана экспериментальная установка для их исследования;

Мы экспериментально подтвердили, что пучок EG вносит изменения в картину поляризации и спиральная поляризационная омбилика распадается на два «лимона».

Описанный в статье метод может быть применен другими исследователями для анализа свойств спиновых и орбитальных моментов в свободном пространстве, для анализа формы и свойств пучков, несущих топологический заряд, для изучения анизотропных сред, для изучения свойств топологических зарядов как в анизотропных средах, так и в слаботурбулентных атмосферных средах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kiselev, A.P. New structures in paraxial Gaussian beams / A.P. Kiselev // Optics and Spectroscopy. – 2004. – Vol. 96. – P. 479-481.
- [2] Gutierrez-Vega, J.G. Helmholtz-Gauss waves / J.G. Gutierrez-Vega, M.A. Baudres // J. Opt. Soc. Am. – 2005. – Vol. 22. – P. 289-298.
- [3] Volyar, A. Vector singularities of Gaussian beams in uniaxial crystals: Optical vortex generation / A. Volyar, T. Fadeeva, Y. Egorov // Technical Physics Letters. – 2002. – Vol. 28. – P. 958-961.
- [4] Nye, J.F. Natural Focusing and Fine Structure of Light: Caustics and Wave Dislocations / J.F. Nye – Bristol: Institute of Physics Publishing., 1999. – 328 p.
- [5] Fadeyeva, T. Vector erf-Gaussian beams: fractional optical vortices and asymmetric TE and TM modes / T. Fadeyeva, C. Alexeyev, A. Rubass, A. Volyar // Opt. Lett. – 2012. – Vol. 37. – P. 1397-1399.