

# Неустойчивость ОУМ оптических вихрей высших порядков

Ю.А. Егоров<sup>1</sup>, М.В. Брецько<sup>1</sup>, Я.Е. Акимова<sup>1</sup>, А.В. Воляр<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт, пр. Академика Вернадского, 4, Симферополь, Россия, 295007

## Аннотация

Исследованы спектры оптических вихрей и орбитального углового момента комбинированных сингулярных пучков в виде суперпозиции мод Лагерра–Гаусса или Бесселя–Гаусса с «резонансными» амплитудами. В эксперименте сингулярные пучки с дробным орбитальным угловым моментом формировались с помощью бинарной амплитудной дифракционной решётки, согласованной с фазовой функцией сингулярного пучка. Измеренная степень корреляции между исходным пучком и пучком, восстановленным по спектру вихрей, была не ниже 90 %.

## Ключевые слова

Топологического заряд, оптический вихрь, орбитальный момент

## 1. Введение

Проблема устойчивости комбинированных параксиальных пучков, включающих в себя оптические вихри высших порядков, привлекает в последнее время повышенное внимание исследователей и инженеров из различных областей физики и техники в связи с отрывшимися перспективами их применения в линиях уплотненной передачи оптической информации [1-3]. Эта проблема была впервые поднята В.А. Сойфером и М.А. Голубом в работе [4].

Известно, что вихри высших порядков являются принципиально неустойчивыми структурами, которые распадаются при очень малых возмущениях. Впервые такая модель была представлена М. Берри [5]. Дальнейшие экспериментальные исследования подтвердили теоретическую оценку для дробных оптических вихрей низших порядков. Однако точный расчет [6], показал, что ОУМ вихрей с высшими величинами дробного топологического зарядов резко снижается почти до нуля при малых отклонениях топологического заряда от целочисленного значения.

## 2. Неустойчивость ОУМ вихрей высших порядков

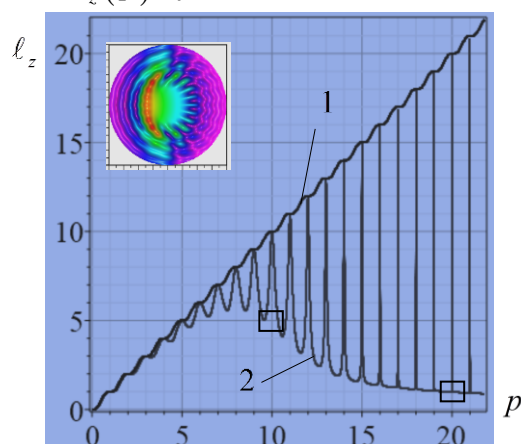
Определена зависимость орбитального момента  $\ell_z$  от топологического заряда оптического вихря парциального пучка с учетом простой асимптотики для сильно расходящихся пучков

$$\ell_z = \frac{L_z}{I_m} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{m}{(p-m)^2} / \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{1}{(p-m)^2}, \quad (1)$$

где  $L_z$  – продольная компонента ОУМ,  $I_m(x)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода,  $p$  – значения дробного топологического заряда вихря,  $m$  – значения целочисленного топологического заряда вихря.

Вид зависимости  $\ell_z$  от топологического заряда оптического вихря парциального пучка  $m$  иллюстрирует плавная кривая 1 на Рис.1. В области целочисленных значений топологического заряда  $p \approx m$  ОУМ достигает максимума  $\ell_z = m$ , минимальному значению соответствуют полуцелые значения  $p$ , которые слабо отличаются от максимальных значений.

Численный расчет согласно выражению (1) дает кривую 2 Рис.1 с резкими всплесками в области целочисленных значений  $p \approx m$ , в то время как в промежутках между ними величина ОУМ резко снижается. Глубина провала увеличивается по мере увеличения заряда  $p$ , а ширина контура всплеска ОУМ  $\ell_z(p)$  сужается.



**Рисунок 1:** Зависимость ОУМ  $\ell_z$  от дробного топологического заряда  $p$ : кривая 1 – оценочный расчет, кривая 2 – точный расчет согласно выражению (1). На выноске изображено теоретическое распределение интенсивности сечения возмущенного пучка в плоскости при  $p = 15.5$ . Квадратами выделены участки, для которых измерялись спектры ОУМ

### 3. Заключение

Исследованы спектры оптических вихрей и орбитального углового момента комбинированных сингулярных пучков в виде суперпозиции мод Лагерра-Гаусса или Бесселя-Гаусса с «резонансными» амплитудами, зависящими от вещественного параметра. Если данный параметр является целым числом, то орбитальный угловой момент сингулярного пучка равен этому числу. Если вещественный параметр является дробным, то орбитальный угловой момент может быть либо существенно больше, либо много меньше ближайшего к значению параметра целого числа. При нецелом значении параметра пучка в его амплитуду дают вклад большое число пучков из суперпозиции с целыми топологическими зарядами. При целочисленном параметре пучка вклад в амплитуду даёт только одна мода с топологическим зарядом, равным значению параметра пучка.

### 4. Литература

- [1] Gbur, G.J. Singular optics / G.J. Gbur. – New York: CRC Press, 2016. – 545 p.
- [2] Kotlyar, V.V. Vortex laser beams / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, A.P. Porfirev. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 404 p.
- [3] Allen, L. The Orbital Angular Momentum of Light: An Introduction. Twisted Photons: Applications of Light with Orbital Angular Momentum / L. Allen, M. Padgett. – Weinheim: Wiley-Vch Verlag GmbH & Co, 2011. – 243 p.
- [4] Soifer, V.A. Laser beam mode selection by computer generated holograms / V.A. Soifer, M.A. Golub. – Boca Raton: CRC Press, 1994. – 215 p.
- [5] Berry, M. Optical vortices evolving from helicoidal integer and fractional phase steps / M. Berry // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. – 2004. – Vol. 6(2). – P. 259-269. DOI: 10.1088/1464-4258/6/2/018.
- [6] Volyar, A.V. Super pulses of orbital angular momentum in fractional-order spiroid vortex beams / A.V. Volyar, Yu.A. Egorov // Optics Letters. – 2018. – Vol. 43(1). – P. 74-77. DOI: 10.1364/OL.43.000074.