

# Распространение оптических вихрей в системе скрученного анизотропного и мультигеликоидальных оптических волокон

Е.В. Баршак<sup>1</sup>, К.Н. Алексеев<sup>1</sup>, Д.В. Викулин<sup>1</sup>, Б.П. Лапин<sup>1</sup>, М.А. Яворский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, проспект Академика Вернадского 4, Симферополь, Россия, 295007

## Аннотация

В работе исследовано распространение циркулярно поляризованных оптических вихрей с топологическим зарядом  $\ell=2$  в системе последовательно соединенных оптических волокон: мультигеликоидального-анизотропного-мультигеликоидального. Продемонстрировано преобразование угловых моментов входного вихря в такой системе.

## Ключевые слова

Оптический вихрь, мультигеликоидальное оптическое волокно, анизотропное оптическое волокно, орбитальный угловой момент

## 1. Введение

В настоящее время активно развиваются исследования в области современных классических и квантовых инфокоммуникационных технологий, основанные на использовании орбитальных степеней свободы оптического излучения, в частности, орбитального углового момента (ОУМ) оптических вихрей (ОВ). Такие ОУМ-технологии имеют ряд ключевых преимуществ в передаче и защите данных над традиционными способами [1, 2]. Кроме того, классические состояния фотонов с ОУМ используются в области моделирования квантовых алгоритмов. Так, предыдущие исследования открыли возможности реализации базовых логических операций над состояниями ОВ с разными значениями ОУМ в скрученных анизотропных и мультигеликоидальных оптических волокнах [3]. Установленные возможности управления ОУМ и циркулярной поляризацией ОВ в данных волокнах, дают основания предполагать особые свойства систем, составленных из последовательно соединенных оптических волокон такого типа.

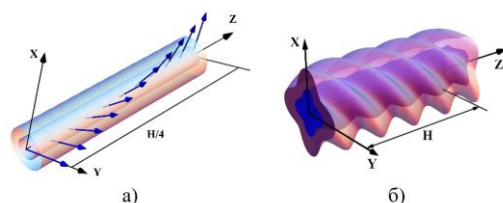
В данной работе исследуется процесс распространения практически важных циркулярно-поляризованных ОВ с топологическим зарядом  $\ell=2$  в системе последовательно соединенных оптических волокон: мультигеликоидальное-анизотропное-мультигеликоидальное (М-А-М). Установлены возможные трансформации ОВ и соответствующие преобразования ОУМ.

## 2. Трансформация оптических вихрей в оптических волокнах М-А-М

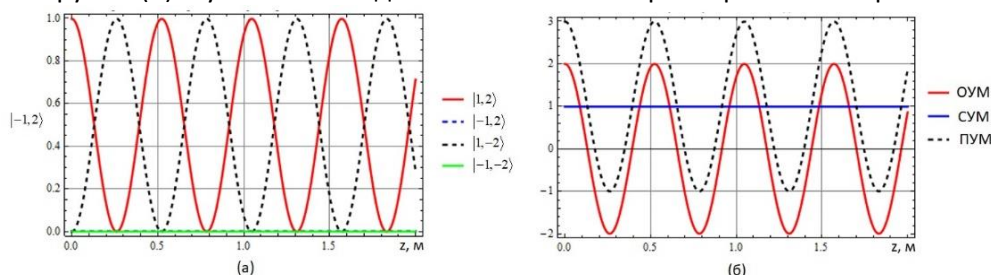
В рассматриваемой системе последовательно соединенных оптических волокон М-А-М скрученное анизотропное (рис. 1а) и оба мультигеликоидальных волокна (рис. 1б) настроены на резонансные режимы [3]. Пусть первое мультигеликоидальное волокно имеет длину  $z_m = 0.25$  м, а скрученное анизотропное волокно – длину  $z_a = 0.6$  м. Анализ показывает, что в такой системе входной левоциркулярно поляризованный ОВ с топологическим зарядом  $\ell=2$   $| -1, 2 \rangle$  полностью преобразуется в правоциркулярно поляризованный ОВ с противоположным знаком топологического заряда  $| 1, -2 \rangle$  на длине второго мультигеликоидального волокна  $z = 0.25$  м, а на длине  $z = 0.6$  м – в ортогонально поляризованный ОВ  $| 1, 2 \rangle$  (см. рис. 2а). Из рисунка 2а также видно, что при  $z = 0.13$  м, входной ОВ преобразуется в поле с нулевым

ОУМ. Соответствующая зависимость ОУМ, а также спинового (СУМ) и полного (ПУМ) угловых моментов от длины мультигеликоидального волокна  $z$  представлена на рисунке 2б.

Следует отметить, что правоциркулярно поляризованный ОВ в последовательно соединенных волокнах М-А-М с указанными параметрами при  $z = 0.6$  м меняет знак топологического заряда, а на длине  $z = 0.25$  м полностью восстанавливает свою структуру.



**Рисунок 1:** Модели оптических волокон в системе М-А-М. (а) Скрученное анизотропное волокно; синие стрелки указывают направление линейной анизотропии материала,  $H$  – шаг скрутки. (б) Мультигеликоидальное волокно в параметром симметрии  $\tau=4$



**Рисунок 2:** Распространение ОВ  $|l=2\rangle$  в системе волокон М-А-М. (а) Распределение энергии поля на выходе из системы М-А-М по парциальным ОВ в зависимости от длины  $z$  второго мультигеликоидального волокна. (б) ОУМ, СУМ и ПУМ выходного поля. Параметры волокон в системе М-А-М: волноводный параметр  $V=6.58$ , параметр анизотропии материала  $\delta\epsilon_{\text{ан}}=8 \cdot 10^{-7}$ , мультигеликоидальной формы  $e=0.02$ . Длина первого мультигеликоидального и анизотропного волокна  $z_M = 0.25$  м и  $z_a = 0.6$  м, соответственно

### 3. Заключение

В работе продемонстрированы преобразования входных право- и левоциркулярно поляризованных ОВ с топологическим зарядом  $\ell=2$  в системе последовательно соединенных оптических волокон М-А-М. Установлены параметры М-А-М, при которых изменяется знак топологического заряда и/или циркулярной поляризации входного ОВ. Получены ОУМ, СУМ и ПУМ выходного поля в такой системе.

### 4. Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 20-12-00291).

### 5. Литература

- [1] Bozinovic, N. Terabit-scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers / N. Bozinovic, Y. Yue, Y. Ren, M. Tur, P. Kristensen, H. Huang, A.E. Willner, S. Ramachandran // Science. – 2013. – Vol. 340. – P. 1545-1548.
- [2] Franke-Arnold, S. Uncertainty principle for angular position and angular momentum / S. Franke-Arnold, S. Barnett, E. Yao, J. Leach, J. Courtial, M. Padgett // New Journal of Physics. – 2004. – Vol. 6. – P. 103.
- [3] Alexeyev, C.N. Toffoli gate in twisted anisotropic and multihelical optical fibers / C.N. Alexeyev, E.V. Barshak, D.V. Vikulin, B.P. Lapin, M.A. Yavorsky // Days on Diffraction. – 2020. – P. 7-12.