

# Распространение оптических вихрей в волоконных кольцевых резонаторах

К.Н. Алексеев<sup>1</sup>, Е.В. Баршак<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 Вернадского 4, Симферополь, Россия, 295000

## Аннотация

В данной работе рассмотрено распространение оптических вихрей (ОВ) в кольцевых резонаторах (КР) на базе многомодовых волокон. Продемонстрировано, что управление параметрами КР такими как длина кольца позволяет эффективно контролировать орбитальный угловой момент выходящего из резонатора поля и его топологический заряд (ТЗ). Изменение величины ТЗ происходит при изменении длины кольца в пределах долей микрона. Также показано, что КР могут быть использованы при создании квантовых логических вентилях.

## Ключевые слова

оптический вихрь, волоконный кольцевой резонатор, угловой момент, логический квантовый вентиль

## 1. Введение

С момента создания первого экспериментального образца волоконного кольцевого резонатора (КР) [1] прошло достаточно много времени. Тем не менее, и в настоящее время КР все ещё привлекают внимание исследователей из-за возможности их использования в сенсорных системах, оптических фильтрах. Одним из самых современных применений КР является их использование в интегральной фотонике, из-за чего множество исследователей прилагает значительные усилия при изучении микрорезонаторов на кристаллах [2].

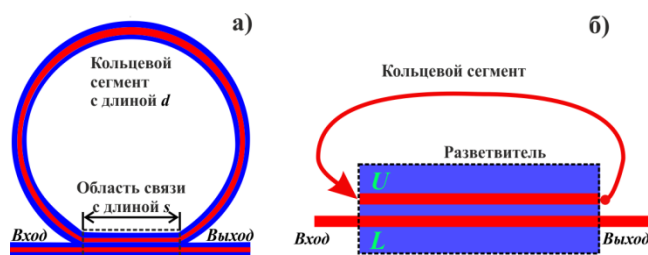
До недавнего времени при исследовании КР не поднимались вопросы, связанные с применением структурированного света в фотонных цепях и генерацией световых пучков с собственным орбитальным угловым моментом (ОУМ). Ввиду существенного прогресса в оптической связи, основанной на использовании оптических вихрей (ОВ), наряду с волоконными способами передачи данных желательным обладать и волоконными устройствами для управления топологическим зарядом (ТЗ) ОВ. В данных тезисах мы представляем результаты исследования прохождения ОВ через волоконные резонаторы на многомодовых волокнах. В частности, будут приведены результаты исследования прохождения ОВ через КР. Кроме того, будет продемонстрирована возможность эффективного параметрического управления ОУМ выходящего поля и создания квантовых логических вентилях на основе КР.

## 2. Управление орбитальным угловым моментом и квантовые вентили

Кольцевой резонатор (Рисунок 1а) представляет собой замкнутый сам на себя волоконный разветвитель с длиной  $s$  с помощью волокна с длиной  $d$  (Рисунок 1б). На вход резонатора может подаваться поле ОВ:

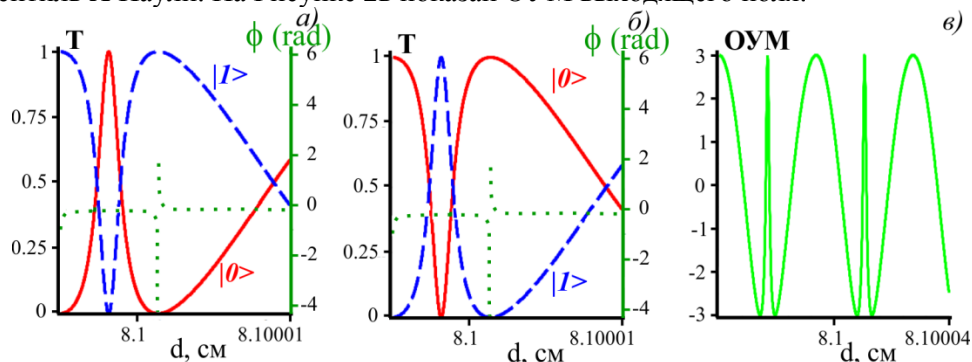
$$|\pm 1, l\rangle = \text{col}(1, \pm i) F_l(r) e^{il\varphi}, \quad (1)$$

где  $\pm$  обозначает знак круговой поляризации, радиальные функции  $F_l$  - функции Бесселя, координаты  $(r, \varphi)$  - полярные координаты, ТЗ  $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , выражение (1) записано в базисе линейных поляризаций.



**Рисунок 1:** а) Кольцевой резонатор, в области связи волокна обмениваются энергией. б) Представление кольцевого резонатора в виде замкнутого на себя волоконного разветвителя

Пусть на вход КР будет подан ОВ  $|1, l\rangle$ , который мы будем считать логическим  $|0\rangle$ . Как видно из Рисунка 2а, данный ОВ конвертируется в ОВ  $|1, -l\rangle$ , который мы будем считать логической  $|1\rangle$ . Ситуация становится обратной, если на вход резонатора подаётся ОВ  $|1, -l\rangle$  (Рисунок 2б). При этом видно, что при конверсии знака ТЗ ОВ разница фаз между выходящими полями равна нулю, поэтому можно считать, КР может действовать как квантовый вентиль Х Паули. На Рисунке 2в показан ОУМ выходящего поля.



**Рисунок 2:** Мощность  $T$  выходящих полей при изменении длины  $d$ : красная сплошная линия- ОВ  $|1, l\rangle$ , синяя пунктирная- ОВ  $|1, -l\rangle$ . Входящее поле: а) логический  $|0\rangle \equiv |1, l\rangle$ ; б) логическая единица  $|1\rangle \equiv |1, -l\rangle$ . Тип выходящего поля указан рядом с кривой. На правой ось отложена разница фаз  $\phi$  выходящих полей (зелёная точечная кривая). СОВ учитывается. в) ОУМ выходящего поля.  $l = 3$ . Длина участка связи  $s=2.53$  см

### 3. Заключение

В данной работе показано, что кольцевые резонаторы пригодны для управления орбитальным угловым моментом поля. Кроме того, продемонстрировано, что кольцевые резонаторы могут быть использованы при создании квантовых логических вентилях.

### 4. Благодарности

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

### 5. Литература

- [1] Caspar, C. Fibre-optic micro-ring-resonator with 2 mm diameter / C. Caspar, E.-J. Bachus // Electronics Letters. – 1989. – Vol. 25. – P. 1506-1508.
- [2] Butt, M.A. A highly sensitive design of subwavelength grating double-slot waveguide microring resonator / M.A. Butt, S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy // Laser Physics Letters. – 2020. – Vol. 17. – P. 076201.