

Акустически управляемые универсальные волоконные гейты для оптических вихрей

Д.В. Викулин¹, Е.В. Баршак¹, Б.П. Лапин¹, К.Н. Алексеев¹, М.А. Яворский¹

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, проспект Вернадского 4, Симферополь, Россия, 295007

Аннотация

Продemonстрирована возможность использования циркулярных оптических волокон с бегущей фундаментальной изгибной акустической волной для реализации универсальных волоконных логических элементов «управляемое НЕ» и гейта Фредкина. В гейте «управляемое НЕ» управляющим кубитом является радиальное модовое число, а управляемым - топологический заряд пучка. В гейте Фредкина управляющим кубитом является радиальное модовое число, а управляемыми - топологический заряд и направление циркулярной поляризации оптического вихря.

Ключевые слова

моделирование квантовых вычислений, волоконные гейты, оптические вихри, акусто-оптическое взаимодействие

1. Введение

Оптические вихри (ОВ) [1] общепризнаны как перспективные носители информации, закодированной в значениях их орбитального углового момента (ОУМ). Технология ОУМ-мультиплексирования позволяет кодировать значительно больше информации в сравнении со стандартными техниками, что позволяет существенно повысить пропускную способность линий связи и достичь принципиально нового уровня защиты данных. Поскольку ортогональные состояния ОВ образуют многомерное пространство, данный вопрос оказывается тесно связанным с квантовыми вычислениями. Действительно, возможность применения классических оптических полей для моделирования квантовых вычислений была продемонстрирована в ряде работ, в том числе и в особых оптических волокнах [2]. Такой подход обладает значительными преимуществами поскольку реализуется полностью волоконное управление оптическими пучками с низкими потерями и высокой стабильностью преобразования. Несмотря на прогресс в моделировании одно- и двух-кубитных гейтов, фундаментальная проблема реализации трех-кубитных гейтов для состояний с ОУМ остается нерешенной. Целью данной работы является демонстрация возможности использования циркулярного волокна с акусто-оптическим взаимодействием для реализации двух-кубитного гейта «управляемое НЕ» и трех-кубитного гейта Фредкина.

2. Гейт «управляемое НЕ»

Диэлектрическая проницаемость циркулярного волокна с возбужденной фундаментальной изгибной акустической волной имеет вид [3]:

$$\hat{\varepsilon}(r, \varphi, z, t) = \varepsilon_0(r) \cdot \hat{1} + \delta\varepsilon_g \cdot \hat{1} + \delta\varepsilon_p, \quad (1)$$

где $\varepsilon_0(r)$ - проницаемость невозмущенного волокна, $\delta\varepsilon_g$ и $\delta\varepsilon_p$ индуцируемые акустической волной поправки к проницаемости. Пусть система настроена на вихревой резонанс, тогда возбужденная на входном торце волокна фундаментальная мода с единичным радиальным числом на длине конверсии полностью трансформируется в ОВ единичного топологического заряда: $|1,0\rangle \rightarrow |1,1\rangle$, где на первом месте стоит радиальное число, на втором – топологический

заряд. Возбужденный на входном торце ОВ с единичным радиальным числом преобразуется как: $|1,1\rangle \rightarrow |1,0\rangle$. Поля с нулевым радиальным числом не претерпевают изменений: $|0,0\rangle \rightarrow |0,0\rangle$, $|0,1\rangle \rightarrow |0,1\rangle$. Такое преобразование мод позволяет реализовать универсальный волоконный гейт «управляемое НЕ», в котором управляющим кубитом является радиальное число возбуждаемого поля, а управляемым – топологический заряд пучка. Схема гейта представлена на Рисунке 1, (а).

3. Гейт Фредкина

Пусть система настроена на ТЕ- или ТМ-резонанс, тогда возбуждаемый на входном торце волокна ОВ с нулевым радиальным числом $|0,1,-1\rangle$ на длине конверсии трансформируется в ОВ $|0,-1,1\rangle$, где порядок индексов следующий: радиальное число, направление циркулярной поляризации, топологический заряд. Для ортогонально-поляризованного ОВ имеем: $|0,-1,1\rangle \rightarrow |0,1,-1\rangle$. Вихри с единичным радиальным числом на данной длине волокна не претерпевают изменений: $|1,1,-1\rangle \rightarrow |1,1,-1\rangle$, $|1,-1,1\rangle \rightarrow |1,-1,1\rangle$. Такая трансформация мод позволяет реализовать волоконный универсальный гейт Фредкина, в котором управляющим кубитом является радиальное число, а управляемыми – направление циркулярной поляризации и топологический заряд ОВ. Схема гейта представлена на Рисунке 1, (б).

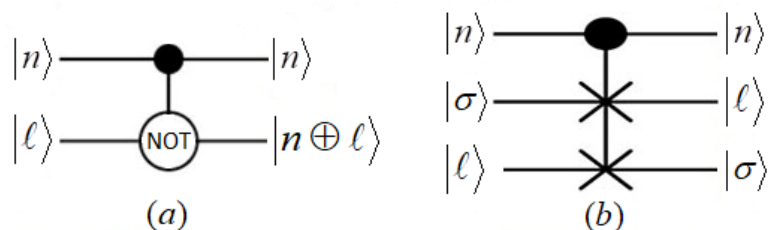


Рисунок 1: Принципиальная схема элементов: (а) «управляемое НЕ», (б) гейт Фредкина

4. Заключение

В настоящей работе продемонстрирована возможность использования циркулярных оптических волокон с возбужденной фундаментальной изгибной акустической волной для реализации волоконных логических элементов «управляемое НЕ» и гейта Фредкина. Предложен полностью волоконный управляемый логический элемент «управляемое НЕ», в котором управляющим кубитом является значение радиального числа возбуждаемой фундаментальной моды, а управляемым – топологический заряд поля. Предложен полностью волоконный управляемый логический элемент – гейт Фредкина, в котором управляющим кубитом является радиальное число возбуждаемого ОВ единичного топологического заряда, а управляемыми – направление циркулярной поляризации и топологический заряд выходного пучка.

5. Литература

- [1] Soskin, M.S. Singular optics / M.S. Soskin, M.V. Vasnetsov // Progress in optics. – 2001. – Vol. 42(4). – P. 219-276.
- [2] Yavorsky, M.A. Spin-dependent OAM flipping in multihelical optical fibres / M.A. Yavorsky, E.V. Barshak, D.V. Vikulin, C.N. Alexeyev // Journal of Optics. – 2018. – Vol. 20(11). – P. 115601.
- [3] Yavorsky, M.A. Revised model of acousto-optic interaction in optical fibers endowed with a flexural wave / M.A. Yavorsky, D.V. Vikulin, E.V. Barshak, B.P. Lapin, C.N. Alexeyev // Optics letters. – 2019. – Vol. 44(3). – P. 598-601.