

УДК 004.312.222

ВЕРНОСТЬ И ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ДВУХКУБИТНОЙ ОПЕРАЦИИ В ФОТОННОМ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОМ CNOT ГЕЙТЕ

Семисалов Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н. (радиофизика), д.ф.-м.н. (оптика), ведущий научный сотрудник Петров В. (Университет ИТМО)

Введение. В квантовых вычислениях и, в частности, в модели квантовых схем вычислений, квантовый логический гейт — это базовая квантовая схема, работающая с небольшим количеством кубитов. Выполнение математической операции в гейте происходит за счёт взаимодействия отдельных фотонов. В этом смысле роль гейта схожа с ролью транзистора в электронике, который обеспечивает управление потоком одних носителей заряда потоком других носителей. Но, в отличие от привычных компьютеров, квантовые логические вентили обратимы. Это дает возможность выполнять классические вычисления, но только используя обратимые вентили, уменьшая количество энергии, которая затрачивается на внутренние процессы, что влечет за собой уменьшение затрачиваемой энергии на работу устройства.

На текущий момент многие научные группы реализовывают или уже реализовали CNOT гейт. Можно выделить основные технологии, которые используются при решении данной задачи: объемная оптика [1, 2, 3], сверхнизкие температуры [4], квантовых точки [5], интегральная оптика [6]. Все перечисленные методы, кроме выполнения логического элемента на интегральной оптике, не могут достаточно хорошо и долго сохранять параметры системы и ее стабильность в целом. Этот факт влияет на работу CNOT гейта, а именно на верность и вероятность его срабатывания. Данные характеристики являются важнейшими факторами функционирования CNOT гейта.

С помощью реализации CNOT гейта на интегральной оптике можно решить проблему стабильности коэффициентов деления, что повлияет на верность и вероятность выполнения двухкубитной операции в данном логическом элементе.

Основная часть. Интерференция между управляющим и управляемым фотонами в рассматриваемом гейте осуществляется за счёт набора расположенных определённым образом друг относительно друга светоделителей, два из которых имеют энергетические коэффициенты деления равные $1/2$, а остальные три – равные $1/3$. Точность, с которой светоделитель производит деление потока фотонов, в значительной мере влияет на важнейшие характеристики гейта: верность выполнения операции и вероятность успешного срабатывания.

Даже минимальное отклонение от требуемой величины любого из коэффициентов деления приводит к потере работоспособности гейта. Нами были выявлены допустимые рамки неточности коэффициентов деления по амплитуде и фазе и их влияние на работоспособность устройства. Так же в схеме был определен светоделитель, отклонение коэффициента деления которого вносит наибольший вклад в нестабильность работы системы. Выявлен линейный характер вероятности срабатывания устройства от отклонения его коэффициентов деления от идеальных значений.

Выводы. Выявлена роль отдельных светоделителей на верность и вероятность работы гейта. Данные исследования помогут перейти от теоретических расчетов к опытным образцам C-NOT гейтов на интегральной оптике.

Список использованных источников:

1. O'Brien J. L., Pryde G. J., White A. G., Ralph T. C., Branning D., Demonstration of all-optical quantum controlled-NOT gate, *Letters to Nature*, 426, 264-267 (2003) DOI:10.1038/nature02054
2. Ding Z. Y., Yang H., Yuan H., Wang D., Yang J., and Ye I., Experimental investigations of linear-entropy-based uncertainty relations in all-optical systems, *Phys. Rev. A.*, 101 (2020) 022116, DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.101.022116>
3. Gao X., Zhang Y., D'Errico A., Heshami K., Karimi E., High-speed imaging of spatiotemporal correlation in Hong-Ou-Mandel interference, *Optics Express*, 30(11) 19456-19464 (2022) DOI: 10.1364/OE.456433
4. Plantenberg J. H. et al. Demonstration of controlled-NOT quantum gates on a pair of superconducting quantum bits // *Nature*. – 2007. – Т. 447. – №. 7146. – С. 836-839.
5. Ren B. C., Deng F. G. Hyper-parallel photonic quantum computation with coupled quantum dots // *Scientific reports*. – 2014. – Т. 4. – №. 1. – С. 4623.
6. Петров В. М. и др. Широкополосные интегрально-оптические модуляторы: достижения и перспективы развития // *Успехи физических наук*. – 2021. – Т. 191. – №. 7. – С. 760-780.