

Теоретическое исследование влияния возмущения параметров линейного оптического вентиля CNOT на эффективность его работы

А. В. Козубов* С. А. Чивилихин†

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49

В данной работе описана работоспособность некоторых квантовых оптических схем, которая зависит от их конструкции, как например, зависимость эффективности работы линейного оптического вентиля CNOT от коэффициентов отражения в светоделителях.

PACS: 42.50.Ex УДК: 530.145

Ключевые слова: квантовая телепортация, вентиль CNOT, квантовая криптография, квантовая информатика, матрица плотности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет активное развитие такого направления квантовой информатики как квантовая телепортация [1]. Благодаря этому появилось достаточно большое количество экспериментально реализованных схем, начиная от тех, в которых используются фотоны [2] и атомы [3], заканчивая различными гибридными системами и ансамблями частиц [4]. Во всех классических схемах квантовой телепортации одним из важнейших элементов является CNOT. При линейной реализации CNOT [5] основной проблемой является то, что вентиль срабатывает нужным образом лишь в одном случае из девяти. Однако, на его работу так же влияют и неточности при изготовлении, которые могут оказать существенное влияние на работоспособность элемента.

МЕТОДЫ

В данной работе было проведено исследование зависимости работы линейного вероятностного вентиля CNOT от изменения таких параметров как коэффициенты отражения и пропускания в светоделителях. В рассматриваемой схеме данного вентиля присутствуют пять светоделителей — два из них с коэффициентом пропускания одна вторая, а три с коэффициентом пропускания одна треть.

Несмотря на это, мы хотим выяснить как работает исследуемый CNOT с произвольными значениями коэффициентов отражения и пропускания в светоделителях. Используя соотношения Гейзенберга для светоделителей

$$\begin{aligned} a_{out} &= \sqrt{\eta}a_{in} + \sqrt{1-\eta}b_{in}, \\ b_{out} &= \sqrt{1-\eta}a_{in} - \sqrt{\eta}b_{in}, \end{aligned} \quad (1)$$

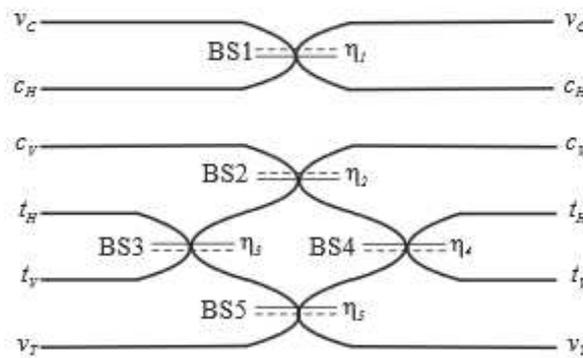


Рис. 1: Схема линейного оптического вентиля CNOT [5].

где η и $(1-\eta)$ — коэффициенты отражения и пропускания в светоделителях, с помощью которых, возможно выразить управляющую и управляемую выходные моды через соответствующие им входные значения. Это необходимо для выполнения расчета функции выходных состояний данной системы. Для определения выходного состояния системы нам необходимо использовать соотношение (1) для выражения выходных состояний на каждом выходе, через входные. Тогда эти операторы будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} c_{H_0} &= \sqrt{\eta_1}c_H + \sqrt{1-\eta_1}v_c, \\ c_{V_0} &= -\sqrt{\eta_2}c_V + \sqrt{\eta_3(1-\eta_2)}t_H + \\ &\quad + \sqrt{(1-\eta_3)(1-\eta_2)}t_V, \\ t_{H_0} &= \sqrt{\eta_4(1-\eta_2)}c_V + \sqrt{(1-\eta_4)(1-\eta_5)}v_T + \\ &\quad + \sqrt{\eta_3(1-\eta_2)\eta_4 + (1-\eta_3)(1-\eta_5)(1-\eta_4)}t_H, \\ t_{V_0} &= \sqrt{(1-\eta_4)(1-\eta_2)}c_V - \sqrt{\eta_4(1-\eta_5)}v_T + \\ &\quad + \sqrt{\eta_3(1-\eta_5)\eta_4 + (1-\eta_3)(1-\eta_2)(1-\eta_4)}t_H. \end{aligned} \quad (2)$$

Тем самым, мы получаем функцию выходных состояний системы для данной схемы, путем подстановки

*E-mail: kozubov.anton@gmail.com

†E-mail: sergey.chivilikhin@gmail.com

выражений (2) в следующее выражение [5]:

$$|\varphi_{out}\rangle = \left(\alpha c_{H_0}^\dagger t_{H_0}^\dagger + \beta c_{H_0}^\dagger t_{V_0}^\dagger + \gamma c_{V_0}^\dagger t_{H_0}^\dagger + \delta c_{V_0}^\dagger t_{V_0}^\dagger \right) \times |0000\rangle |00\rangle. \quad (3)$$

После подстановки появляются дополнительные слагаемые, которые сокращаются при оптимальном значении коэффициентов отражения и пропускания в светоделителях. Эти слагаемые имеют важное влияние на работоспособность схемы, так как при их наличии схема с определенной вероятностью начинает работать как оператор идентичности, а не как квантовый вентиль CNOT.

Помимо этого в данной работе были рассчитаны и построены матрицы плотности выходных состояний системы для определенных значений коэффициентов отражения и пропускания в светоделителях с помощью следующей формулы:

$$\rho = |\varphi_{out}\rangle \langle \varphi_{out}| \quad (4)$$

На данный момент существует достаточно большое число различных реализаций данного вентиля но, несмотря на это, подобные техника и методы могут

быть применены для получения функции выходных состояний для этих схем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В приведенной работе было получено аналитическое решение для нахождения функции выходных состояний системы реализованного линейного вероятностного вентиля CNOT. Кроме того, был произведен расчет функции выходных состояний системы с определенными отклонениями от оптимальных значений коэффициентов отражения и пропускания в светоделителях. Помимо этого, были получены и построены матрицы плотности выходных состояний системы при различных значениях коэффициентов отражения и пропускания в светоделителях. Таким образом, было выяснено, что при $\eta_1 = \eta_2 = \eta_5 = 0.33 \pm 0.03$ и $\eta_3 = \eta_4 = 0.5 \pm 0.05$ вероятность ошибки не превышает одного процента, тогда как начиная с $\eta_1 = \eta_2 = \eta_5 = 0.33 \pm 0.04$ и $\eta_3 = \eta_4 = 0.5 \pm 0.08$ вероятность обнаружения фотонов на определенных выходах может изменяться на порядки.

- [1] Bennett C., Brassard G. Phys. Rev. Lett. **70**, 1895 (1993).
 [2] Bouwmeester D., Pan J.-W., Mattle K., Eibl M., Weinfurter H., Zeilinger A. Nature **390**, 575 (1997).
 [3] Barrett M.D., Chiaverini J., Schaetz T., Britton J., Itano W.M., Jost J.D., Knill E., Langer C., Leibfried D.,

- Ozeri R., Wineland D.J. Nature **429**, 737 (2004).
 [4] Pyrkov A. N., Byrnes T. Phys. Rev. A. **90**, 062336 (2014).
 [5] Ralph T.C., Langford N.K., Bell T.B., White A.G. Phys. Rev. A. **65**, 062324 (2002).

Theoretical investigation of the correlation between perturbations of linear optical CNOT gate parameters and its performance.

A. V. Kozubov^a, S. A. Chivilikhin^b

Department of photonics and optical information technology,
 Faculty of photonics and optical information technology, ITMO University
 Saint Petersburg 197101, Russia
 E-mail: ^akozubov.anton@gmail.com, ^bsergey.chivilikhin@gmail.com

In this paper described the operability of some quantum optical circuits which depends on their constructions, such as reflectivity of beam splitters in the linear optical controlled-NOT gate in the coincidence basis.

PACS: 42.50.Ex

Keywords: quantum teleportation, CNOT gate, quantum cryptography, quantum information, density matrix.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Козубов Антон Владимирович — студент; тел.: (981) 143-29-09, e-mail: kozubov.anton@gmail.com.
2. Чивилихин Сергей Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, доцент; тел.: (981) 827-95-05, e-mail: sergey.chivilikhin@gmail.com.