

Экспериментальная демонстрация универсально симметричного квантового телеклонирования

С. Гэтнер (s.gaertner@mpq.mpg.de) и др. (Германия, Швеция)

Реферат подготовил М.Х.Шульман (shulman@dol.ru)

[arXiv:0908.2632v1](https://arxiv.org/abs/0908.2632v1) [quant-ph]

Experimental demonstration of universal symmetric quantum telecloning

Sascha Gaertner^{1,2}, Julia Lau^{1,2}, Nikolai Kiesel^{1,2}, Mohamed Bourennane³ & Harald Weinfurter^{1,2}

¹ Max-Planck-Institut für Quantenoptik, D-85748 Garching, Germany

² Sektion Physik, Ludwig-Maximilians-Universität, D-80799 München, Germany

³ Physics Department, Stockholm University, S-106 91 Stockholm, Sweden

Как было показано, квантовая информация может быть передана с помощью квантовой телепортации¹ из одного пункта в другой. Более общо, рассмотрим распространение квантовой информации. Имеется два способа осуществить распространение квантовой информации: во-первых, выполнить квантовое клонирование^{2,3} и передать эти клонированные состояния с помощью квантовой телепортации, или, во-вторых, выполнить квантовое телеклонирование. Последнее^{4,5} представляет собой комбинацию квантовой телепортации и квантового клонирования, которое основано на использовании ресурса многочастичного запутывания. В статье представлена экспериментальная реализация универсально симметричного квантового телеклонирования с помощью четырех-фотонного поляризационного запутывания. Четырех-фотонное запутанное состояние генерируется с помощью импульсного преобразования с понижением частоты^{6,7}, а квантовая информация представлена состоянием поляризации единичного фотона, являющегося результатом сильно ослабленного на светодиоде импульсного лазерного излучения. Демонстрируется квантовое телеклонирование для трех комплементарных входных состояний и определяется матрица плотности телеклонированных состояний для одного из этих входных состояний с помощью томографии квантового состояния⁸.

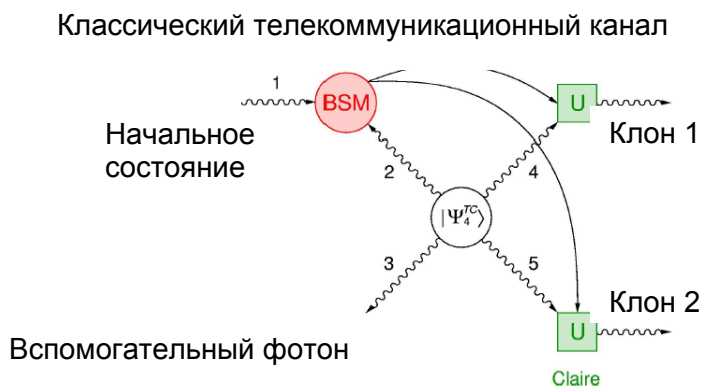


Рисунок 1: Схема квантового телеклонирования

Алиса хочет передать некоторое неизвестное квантовое состояние – состояние фотона 1 – двум удаленным партнерам Бобу и Клэр. Чтобы осуществить это, они совместно разделяют каждый фотон из четырех-фотонного запутанного состояния; один фотон является вспомогательным (ancilla). Алиса выполняет измерение состояния Белла (Bell state measurement – BSM) над фотонами 1 и 2 и посылает результату Бобу и Клэр с помощью классического коммуникационного канала. Соответственно, Боб и Клэр используют некоторое унитарное преобразование (U) над фотонами 4 и 5и принимают клоны начального состояния.

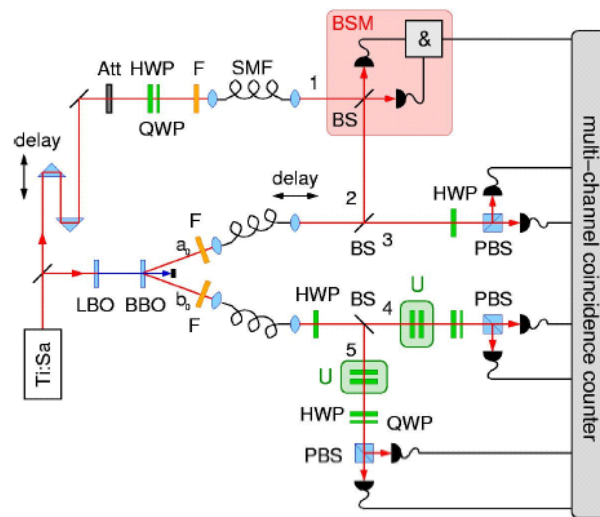


Рисунок 2: Схема экспериментальной установки

Выходной лазер с синхронизированными модами на титане-сапфире (Ti:Sa) удваивается по частоте внутри кристалла литий-тиборат (LBO) и фокусируется на кристалл бета-барий-бората (BBO) для импульсного параметрического преобразования с понижением частоты. Четыре фотона испускаются по двум направлениям a_0 и b_0 и через два светоделителя (BS) распределяются по пространственным модам 2, 3, 4 и 5. Состояние $|\Psi_4^{TC}\rangle$ приготавливается с помощью полуволновой пластинки (HWP) в моде b_0 . Доля излучения красного импульсного лазера сильно ослабляется (Att) с целью приближения к режиму однофотонного источника. Состояние поляризации входного фотона регулируется с помощью полуволновой и четверть волновой пластины (QWP). Все фотоны спектрально фильтруются (F) и объединяются в одномодовых волокнах (SMF). Для измерения состояния Белла(the Bell state measurement – BSM) фотоны в в моде 1 и 2 перекрываются в светоделителе. Разность длины пути компенсируется с помощью двух регулируемых линий задержки (delay). В модах 4 и 5 используются две полуволновые пластинки для применения унитарного преобразования (U), а два выходных состояния анализируются с помощью полу- и четверть-волновой пластинки на фронте поляризационных светоделителей (PBS). Эти фотоны детектируются с помощью восьми туннельных фотодиодов, и все пяти-фотонные совпадения регистрируются с помощью многоканального счетчика совпадений (multi-channel coincidence counter).

Таблица 1

Достоверность регистрации двух выходных состояний
для каждого из трех входных состояний.

Входное состояние	Выходное состояние 1	Выходное состояние 2
$ H\rangle$	0.733 ± 0.047	0.696 ± 0.049
$ P\rangle$	0.697 ± 0.048	0.680 ± 0.049
$ R\rangle$	0.703 ± 0.040	0.681 ± 0.041

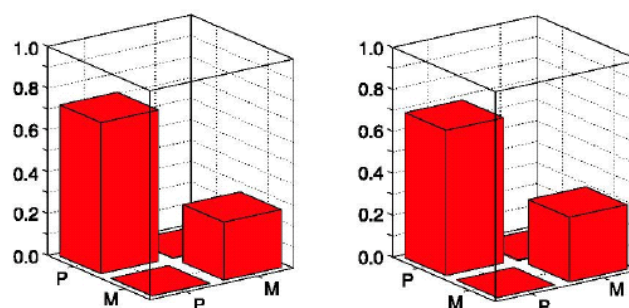


Рисунок 3

Реконструированные матрицы плотности двух состояний ρ_4 и ρ_5 для диагонально поляризованного входного состояния $|P\rangle$. Показаны реальные части элементов матриц плотности обоих телеконируемых состояний в базисе $\{|P\rangle, |M\rangle\}$. Мнимой части можно пренебречь.

1. Bennett, C.H. *et al.* Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky- Rosen channels. *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1895 (1993).
2. Bužek, V. & Hillery, M. Quantum copying: Beyond the no-cloning theorem. *Phys. Rev. A* **54**, 1844 (1996).
3. Scarani, V., Iblisdir, S. & Gisin, N. Quantum cloning. *Rev. Mod. Phys.* **77**, 1225 (2005).
4. Murao, M., Jonathan, D., Plenio, M.B. & Vedral, V. Quantum telecloning and multiparticle entanglement. *Phys. Rev. A* **59**, 156 (1999).
5. Murao, M., Plenio, M.B. & Vedral, V. Quantum information distribution via entanglement. *Phys. Rev. A* **61**, 032311 (2000).
6. Eibl, M. *et al.* Experimental observation of four-photon entanglement from parametric down-conversion. *Phys. Rev. Lett.* **90**, 200403 (2003).
7. Gaertner, S. *et al.* High-fidelity source of four-photon entanglement. *Appl. Phys. B* **77**, 803 (2003).
8. James, D.F.V., Kwiat, P.G., Munro, W.J. & White, A.G. Measurement of qubits. *Phys. Rev. A* **64**, 052312 (2001).
9. Bouwmeester, D. *et al.* Experimental quantum teleportation. *Nature* **390**, 575 (1997).

10. Nielsen, M.A., Knill, E. & Laflamme, R. Complete quantum teleportation using nuclear magnetic resonance. *Nature* **396**, 52 (1998).
11. Riebe, M. *et al.* Deterministic quantum teleportation with atoms. *Nature* **429**, 734 (2004).
12. Wootters, W.K. & Zurek, W.H. A single quantum can not be cloned. *Nature* **299**, 802 (1982).
13. Pati, A.K. & Braunstein S.L. Impossibility of deleting an unknown quantum state. *Nature* **404**, 164 (2000).
14. Lamas-Linares, A., Simon, C., Howell, J.C. & Bouwmeester, D. Experimental quantum cloning of single photons. *Science* **296**, 712 (2002).
15. Fasel, S. *et al.* Quantum cloning with an optical fiber amplifier. *Phys. Rev. Lett.* **89**, 107901 (2002).
16. Zhao Z. *et al.* Experimental realization of optimal asymmetric cloning and telecloning via partial teleportation. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 030502 (2005).
17. Koike, S. *et al.* Demonstration of quantum telecloning of optical coherent states. *Phys. Rev. Lett.* **96**, 060504 (2006).
18. Mattle, K., Weinfurter, H., Kwiat, P.G., Zeilinger A. Dense Coding in Experimental Quantum Communication. *Phys. Rev. Lett.* **76**, 4656 (1996).
19. Gaertner, S., Kurtsiefer, C. & Weinfurter, H. Fast and compact multichannel photon coincidence counter for quantum information processing. *Rev. Sci. Instr.* **76**, 123108 (2005).
20. Massar, S. & Popescu, S. Optimal extraction of information from finite quantum ensembles. *Phys. Rev. Lett.* **74**, 1259 (1995).
21. Gaertner, S. *et al.* Multi-photon entanglement from parametric down conversion, to be published.
22. Bechmann-Pasquinucci, H. & Gisin, N. Incoherent and coherent eavesdropping in the six-state protocol of quantum cryptography. *Phys. Rev. A* **59**, 4238 (1999).
23. Yu, Y., Feng, J. & Zhan, M. Multi-output programmable quantum processor. *Phys. Rev. A* **66**, 052310 (2002).