

**А. Цайлингер и др.**

**Квантовая телепортация с использованием активной положительной обратной связи между двумя Канарскими островами**

Реферат подготовил М.Х. Шульман ([shulman@dol.ru](mailto:shulman@dol.ru))

---

arXiv:1205.3909v1 [quant-ph] 17 May 2012

Quantum teleportation using active feed-forward between two Canary Islands

Xiao-song Ma,<sup>1,2</sup> Thomas Herbst,<sup>3</sup> Thomas Scheidl,<sup>1</sup> Daqing Wang,<sup>1</sup> Sebastian Kropatschek,<sup>1</sup> William Naylor,<sup>1</sup> Alexandra Mech,<sup>2,1</sup> Bernhard Wittmann,<sup>2,1</sup> Johannes Kofler,<sup>4,1</sup> Elena Anisimova,<sup>5,6</sup> Vadim Makarov,<sup>5,6</sup> Thomas Jennewein,<sup>5</sup> Rupert Ursin,<sup>1</sup> and Anton Zeilinger<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Austrian Academy of Sciences, Boltzmannngasse 3, A-1090 Vienna, Austria*

<sup>2</sup>*Vienna Center for Quantum Science and Technology, Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmannngasse 5, A-1090 Vienna, Austria*

<sup>3</sup>*Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmannngasse 5, A-1090 Vienna, Austria*

<sup>4</sup>*Max Planck Institute of Quantum Optics, Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching/Munich, Germany*

<sup>5</sup>*Institute for Quantum Computing and Department of Physics and Astronomy, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, ON, N2L 3G1, Canada*

<sup>6</sup>*Department of Electronics and Telecommunications, Norwegian University of Science and Technology, NO-7491 Trondheim, Norway*

(Dated: May 18, 2012)

---

Квантовая телепортация [1] является существенной предпосылкой многих протоколов процессов обработки квантовой информации [2-4]. Используя квантовую телепортацию, можно обойти теорему о запрете клонирования [5] и точно передать неизвестные квантовые состояния системе, чье местоположение даже неизвестно, на любые расстояния. Со времени первых экспериментальных демонстраций квантовой телепортации независимых кубитов [6] и сжатых состояний [7], исследователи заметно увеличили расстояние коммуникаций при телепортации, обычно без активной положительной обратной связи, классического результата измерения Белл-состояния, который является существенным ингредиентом в будущих приложениях, таких, как коммуникации между квантовыми компьютерами.

В данной работе сообщается о первом эксперименте по квантовой телепортации на большие расстояния с использованием активной положительной обратной связи в реальном времени. Эксперимент использовал два оптических канала связи, квантовый и классический, передача осуществлялась на 143 км свободного пространства между двумя Канарскими островами – Ла Пальма и Тенерифе. С этой целью была использована новая технология, такая, как источник частотно-некоррелированных поляризационно-запутанных фотонных пар, сверх-малозумные детекторы одиночных фотонов и синхронизация, использующая запутывание. Средняя достоверность телепортации состояния находилась далеко за пределами классического предела в 2/3. Далее, качество процедуры квантовой телепортации (без положительной обратной связи) было подтверждено полной квантовой томографией квантового процесса. Данный эксперимент подтверждает зрелость и реальную применимость используемых технологий и является основой для будущего перехода к квантовой телепортации с участием космических спутников.

## Ссылки:

- [1] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres and W. K. Wootters, "Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels," *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1895-1899 (1993).
- [2] M. Nielsen and I. Chuang "Quantum computation and quantum information," (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000).
- [3] D. Gottesmann, I. L. Chuang, "Quantum Teleportation is a Universal Computational Primitive," *Nature* **402**, 390-393 (1999).
- [4] E. Knill, R. Laflamme and G. J. Milburn, "A scheme for efficient quantum computation with linear optics," *Nature* **409**, 46-52 (2001).
- [5] W. K. Wootters and W. H. Zurek "A single quantum cannot be cloned," *Nature* **299**, 802-803 (1982).
- [6] D. Bouwmeester, J. W. Pan, K. Mattle, H. Weinfurter and A. Zeilinger, "Experimental quantum teleportation," *Nature* **390**, 575-579 (1997).
- [7] A. Furusawa, *et al.* "Unconditional Quantum Teleportation," *Science* **282**, 706-709 (1998).
- [8] R. J. Hughes, *et al.* "Practical free-space quantum key distribution over 10 km in daylight and at night," *New J. Phys.* **4**, 43.1-43.14 (2002).
- [9] C. Kurtsiefer, *et al.* "Quantum cryptography: a step towards global key distribution," *Nature* **419**, 450 (2002).
- [10] M. Aspelmeyer, *et al.* "Long-distance free-space distribution of quantum entanglement," *Science* **301**, 621-623 (2003).
- [11] R. Ursin, *et al.* "Free-space distribution of entanglement and single photons over 144 km," *Nature Phys.* **3**, 481-486 (2007).
- [12] P. Villoresi, *et al.* "Experimental verification of the feasibility of a quantum channel between space and Earth," *New J. Phys.* **10**, 033038 (2008).
- [13] A. Fedrizzi, *et al.* "High-fidelity transmission of entanglement over a high-loss free-space channel," *Nature Phys.* **5**, 389-392 (2009).
- [14] T. Scheidl, *et al.* "Feasibility of 300 km quantum key distribution with entangled states," *New J. Phys.* **11**, 085002 (2009).
- [15] X. M. Jin, *et al.* "Experimental free-space quantum teleportation," *Nature Photon.* **3**, 481-486 (2007).
- [16] T. Scheidl, *et al.* "Violation of local realism with freedom of choice," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **107**, 19709-19713 (2010).
- [17] D. Boschi, S. Branca, F. De Martini, L. Hardy, and S. Popescu, "Experimental Realization of Teleporting an Unknown Pure Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels," *Phys. Rev. Lett.* **80**, 1121-1125 (1998).
- [18] I. Marcikic, H. De Riedmatten, W. Tittel, H. Zbinden, and N. Gisin, "Long distance teleportation of qubits at telecommunication wavelengths," *Nature* **421**, 509-513 (2003).
- [19] R. Ursin, *et al.* "Quantum teleportation across the Danube," *Nature* **430**, 849-849 (2004).
- [20] H. J. Briegel, W. Dür, J. I. Cirac and P. Zoller, "Quantum Repeaters: The Role of Imperfect Local Operations in Quantum Communication," *Phys. Rev. Lett.* **81**, 5932-5935 (1998).
- [21] L. M. Duan, M. D. Lukin, J. I. Cirac and P. Zoller, "Long-distance quantum communication with atomic ensembles and linear optics," *Nature* **414**, 413-418 (2001).
- [22] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" *Phys. Rev.* **47**, 777-780 (1935).
- [23] P. G. Kwiat, *et al.*, "New High-Intensity Source of Polarization-Entangled Photon Pairs," *Phys. Rev. Lett.* **75**, 4337-4341 (1995).
  
- [24] Y.-H. Kim, S. P. Kulik, M. V. Chekhova, W. P. Grice and Y. Shih "Experimental entanglement concentration and universal Bell-state synthesizer," *Phys. Rev. A* **67**, 010301(R) (2003).
- [25] H. S. Poh, J. Lim, I. Marcikic, A. Lamas-Linares and C. Kurtsiefer "Eliminating spectral distinguishability in ultrafast spontaneous parametric down-conversion," *Phys. Rev. A* **80**, 043815 (2009).
- [26] X. C. Yao, *et al.*, "Observation of eight-photon entanglement," *Nature Photon.* **6**, 225-228 (2012).
- [27] J. Calsamiglia and N. Lütkenhaus, "Maximum efficiency of a linear-optical Bell-state analyzer," *Appl. Phys. B* **72**, 67-71 (2001).
- [28] Y. S. Kim, Y. C. Jeong, S. Sauge, V. Makarov and Y. H. Kim, "Ultra low noise single photon detector based on Si avalanche photodiode," *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 093110 (2011).
- [29] A. G. White, D. F. V. James, P. H. Eberhard and P. G. Kwiat, "Nonmaximally entangled states: Production, characterization, and utilization," *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3103-3107, (1999).
- [30] M. Żukowski, A. Zeilinger, M. A. Horne, A. K. Ekert, "Event-ready-detectors" Bell experiment via entanglement swapping. *Phys. Rev. Lett.* **71**, 4287-4290 (1993)
- [31] M. Aspelmeyer, T. Jennewein, M. Pfennigbauer, W. Leeb and A. Zeilinger, "Long-distance quantum communication with entangled photons using satellites," *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.* **9**, 1541-1551 (2003).