

## Прямое измерение фотонного состояния с миллионом фотонов

Жимин Ши и др. (США, Канада, Австрия)

Реферат подготовил М.Х. Шульман ([shulman@dol.ru](mailto:shulman@dol.ru), [www.timeorigin21.narod.ru](http://www.timeorigin21.narod.ru))

---

arXiv:1503.04713v1 [physics.optics] 16 Mar 2015

### Direct measurement of a one-million-dimensional photonic state

Zhimin Shi<sup>1</sup> ([zhiminshi@usf.edu](mailto:zhiminshi@usf.edu)), Mohammad Mirhosseini<sup>2</sup>, Jessica Margiewicz<sup>1</sup>, Mehul Malik<sup>2,†</sup>, Freida Rivera<sup>1</sup>, and Robert W. Boyd<sup>2,‡</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, University of South Florida, Tampa, Florida, 33620, USA.

<sup>2</sup>The Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, New York 14627 USA

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

<sup>‡</sup> Department of Physics, University of Ottawa, Ottawa, ON K1N 6N5 Canada

---

Извлечение большого объема информации, переносимой фотоном, является непростой задачей для квантовой метрологии и квантовой фотоники. Поперечное пространственное состояние фотона является подходящей для исследования высокоразмерной квантовой системой, поскольку оно имеет хорошо понятную классическую аналогию в виде сложного поперечного профиля поля оптического пучка. Определенным препятствием всех современных технологий квантовой метрологии является необходимость в затратном по времени процессе, которая делает весьма нежелательной использование квантовых систем с высокой размерностью. В данной работе демонстрируется технология прямого измерения пространственного состояния с миллионом фотонов в одной установке. С помощью схемы для осуществления слабого измерения импульса и – параллельно – сильного измерения координаты становятся прямо измеримыми комплексные величины вектора фотонного состояния в целом. Размерность измеряемого состояния приблизительно на четыре порядка величины больше, чем в ранее проводившихся измерениях. Данная работа, по мнению авторов, открывает практический путь для описания высокоразмерных квантовых состояний в реальном времени. Приводимая демонстрация служит примером высокоскоростного, с чрезвычайно высоким разрешением измерения сложного поля в различных классических приложениях.

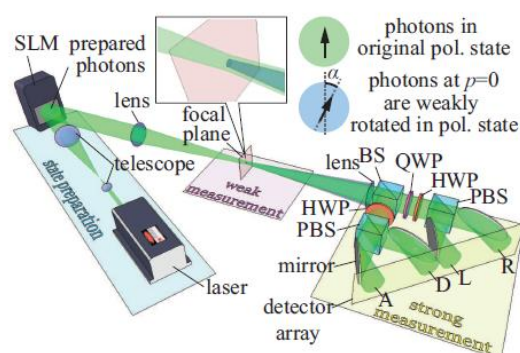


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

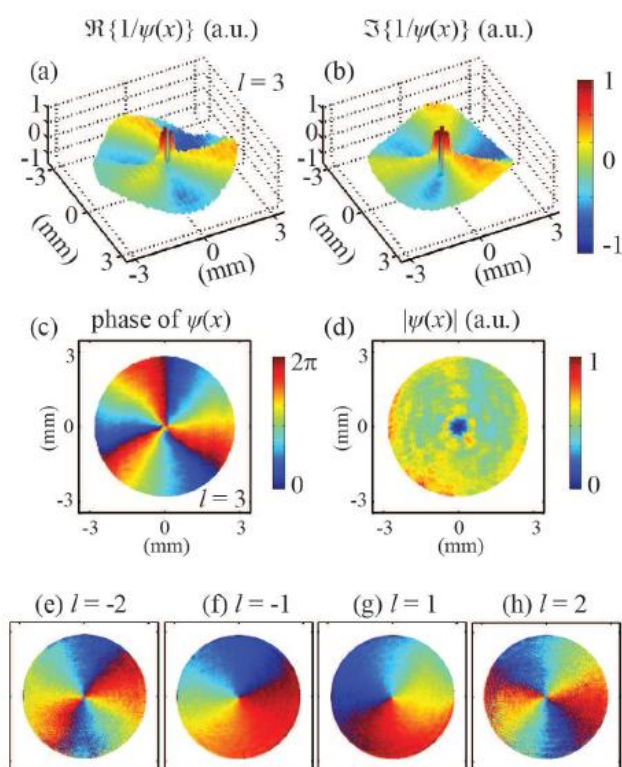


Рисунок 2. Измеренные (a) действительные и (b) мнимые части двумерных слабых значений, соответствующие (c) фазовые и (d) амплитудные профили фотонов, переносящих орбитальный угловой момент (ОАМ) с квантовым числом  $l=3$ . Измеренные слабые значения имеют очень большие амплитуды ближе к центру моды и поэтому “обрезаны” для лучшей визуализации. (e) – (h): извлеченный фазовый профиль фотонов, переносящих ОАМ с квантовым числом  $l$  от -2 до 2.

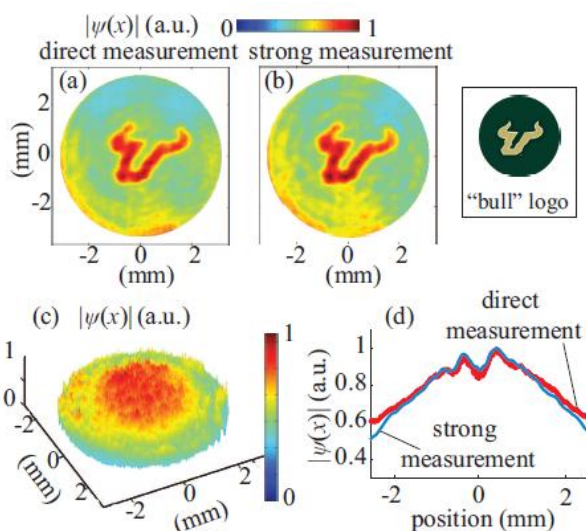


Рисунок 3. Верхняя строка: Измеренная величина амплитуды вероятности  $|\psi(x)|$  для фотонов профиля логотипа Университета Южной Флориды “Бык” (a) при использованном в работе прямом измерении методе без сканирования; (b) при общепринятом сильном измерении. Нижняя строка: (c) Измеренная величина амплитуды вероятности  $|\psi(x)|$  фотонов с усеченным гауссовым профилем амплитуды при использованном в работе прямом измерении методе без сканирования; (d) сечение прямо измеренного результата (жирная красная линия) в сравнении с результатом при общепринятом сильном измерении (интенсивности) (тонкая сильная линия). Реальный профиль  $|\psi(x)|$  является результатом дифракции и распространения фотонов через неидеальную использованную в работе систему формирования изображений (imaging).

## Ссылки:

- [1] L. Mandel and E. Wolf, "Optical coherence and quantum optics," (Plenum Press, New York, 1995) 1st ed.
- [2] S. Kilin, in *Progress in Optics*, Vol. 42, edited by E. Wolf (Elsevier Science, Amsterdam, 2001) pp. 1–90.
- [3] V. V. Dodonov, *J. Opt. B: Quantum and Semiclassical Opt.* **4**, 231 (2002).
- [4] B. J. Smith, B. Killett, M. G. Raymer, I. A. Walmsley, and K. Banaszek, *Opt. Lett.* **30**, 3365 (2005).
- [5] J. S. Lundeen, B. Sutherland, A. Patel, C. Stewart, and C. Bamber, *Nature* **474**, 188 (2011).
- [6] M. Mirhosseini, O. S. Magaña Loaiza, S. M. Hashemi Rafsanjani, and R. W. Boyd, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 090402 (2014).
- [7] N. Treps, N. Grosse, W. P. Bowen, C. Fabre, H.-A. Bachor, and P. K. Lam, *Science* **301**, 940 (2003).
- [8] A. Mair, A. Vaziri, G. Weihs, and A. Zeilinger, *Nature* **412**, 313 (2001).
- [9] N. K. Langford, R. B. Dalton, M. D. Harvey, J. L. O'Brien, G. J. Pryde, A. Gilchrist, S. D. Bartlett, and A. G. White, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 053601 (2004).
- [10] M. Lassen, V. Delaubert, J. Janousek, K. Wagner, H.-A. Bachor, P. K. Lam, N. Treps, P. Buchhave, C. Fabre, and C. C. Harb, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 083602 (2007).
- [11] M. Mirhosseini, M. Malik, Z. Shi, and R. W. Boyd, *Nature Communications* **4**, 2781 (2013).
- [12] A. G. White, D. F. V. James, W. J. Munro, and P. G. Kwiat, *Phys. Rev. A* **65**, 012301 (2001).
- [13] J. Itatani, J. Levesque, D. Zeidler, H. Niikura, H. Pépin, J. C. Kieffer, P. B. Corkum, and D. M. Villeneuve, *Nature* **432**, 867 (2004).
- [14] K. J. Resch, P. Walther, and A. Zeilinger, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 070402 (2005).
- [15] J. Söderholm, G. Björk, A. B. Klimov, L. L. Sánchez-Soto, and G. Leuchs, *New Journal of Physics* **14**, 115014 (2012).
- [16] D. Sych, J. Reháček, Z. Hradil, G. Leuchs, and L. L. Sánchez-Soto, *Phys. Rev. A* **86**, 052123 (2012).
- [17] M. Beck, *Phys. Rev. Lett.* **84**, 5748 (2000).
- [18] M. Beck, C. Dorner, and I. A. Walmsley, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 253601 (2001).
- [19] A. M. Dawes, M. Beck, and K. Banaszek, *Phys. Rev. A* **67**, 032102 (2003).
- [20] J. S. Lundeen and C. Bamber, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 070402 (2012).
- [21] W. Shengjun, *Scientific Reports* **3**, 1193 (2013).
- [22] J. Z. Salvail, M. Agnew, A. S. Johnson, E. Bolduc, J. Leach, and R. W. Boyd, *Nature Photonics* **7**, 316 (2013).
- [23] M. Mirhosseini, M. P. J. Lavery, J. Leach, M. J. Padgett, and R. W. Boyd, *Nature Communications* **4**, 3115 (2014).
- [24] Y. Aharonov, D. Z. Albert, and L. Vaidman, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 1351 (1988).
- [25] I. M. Duck, P. M. Stevenson, and E. C. G. Sudarshan, *Phys. Rev. D* **40**, 2112 (1989).
- [26] N. W. M. Ritchie, J. G. Story, and R. G. Hulet, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 1107 (1991).
- [27] L. M. Johansen, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 120402 (2004).
- [28] O. Hosten and P. Kwiat, *Science* **319**, 787 (2004).
- [29] D. R. Solli, C. F. McCormick, R. Y. Chiao, S. Popescu, and J. M. Hickmann, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 043601 (2004).
- [30] P. B. Dixon, D. J. Starling, A. N. Jordan, and J. C. Howell, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 173601 (2009).
- [31] A. Feizpour, X. Xing, and A. M. Steinberg, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 133603 (2011).
- [32] S. Kocsis, B. Braverman, S. Ravets, M. J. Stevens, R. P. Mirin, L. K. Shalm, and A. M. Steinberg, *Science* **332**, 1170 (2011).
- [33] J. Dressel, M. Malik, F. M. Miatto, A. N. Jordan, and R. W. Boyd, *Rev. Mod. Phys.* **86**, 307 (2014).
- [34] J. A. Davis, D. M. Cottrell, J. Campos, M. J. Yzuel, and I. Moreno, *Appl. Opt.* **38**, 5004 (1999).
- [35] V. Arrizón, U. Ruiz, R. Carrada, and L. A. González, *J. Opt. Soc. Am. A* **24**, 3500 (2007).
- [36] R. N. Smartt and J. Strong, *J. Opt. Soc. Am.* **62**, 737 (1972).
- [37] A. M. Yao and M. J. Padgett, *Adv. Opt. Photon.* **3**, 161 (2011).
- [38] J. Leach, B. Jack, J. Romero, A. K. Jha, A. M. Yao, S. Franke-Arnold, D. G. Ireland, R. W. Boyd, S. M. Barnett, and M. J. Padgett, *Science* **329**, 662 (2010).
- [39] A. C. Dada, J. Leach, G. S. Buller, M. J. Padgett, and E. Andersson, *Nature Physics* **7**, 677 (2011).
- [40] M. Malik, M. N. O'Sullivan, B. Rodenburg, M. Mirhosseini, J. Leach, M. P. J. Lavery, M. J. Padgett, and R. W. Boyd, *Optics Express* **20**, 13195 (2012).
- [41] R. Fickler, M. Krenn, R. Lapkiewicz, S. Ramelow, and A. Zeilinger, *Scientific Reports* **3**, 1914 (2013).
- [42] M. Edgar, D. Tasca, F. Izdebski, R. Warburton, J. Leach, M. Agnew, G. Buller, R. Boyd, and M. Padgett, *Nature Commun.* **3**, 984 (2012).