

Совместима ли объективность дуализма волна-частица с детерминизмом и локальностью?

Р. Ионисиу и др. (Румыния, Канада, Австралия)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

NATURE COMMUNICATIONS | 5:4997 | DOI: 10.1038/ncomms5997 | www.nature.com/naturecommunications

ARTICLE

Received 11 Nov 2013 | Accepted 14 Aug 2014 | Published 26 Sep 2014

DOI: 10.1038/ncomms5997

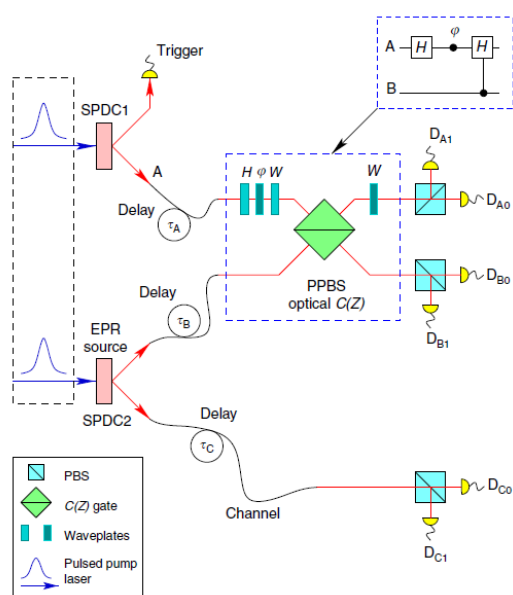
Is wave-particle objectivity compatible with determinism and locality?

Radu Ionicioiu^{1,2}, Thomas Jennewein^{3,4}, Robert B. Mann^{3,4,5} & Daniel R. Terno⁶

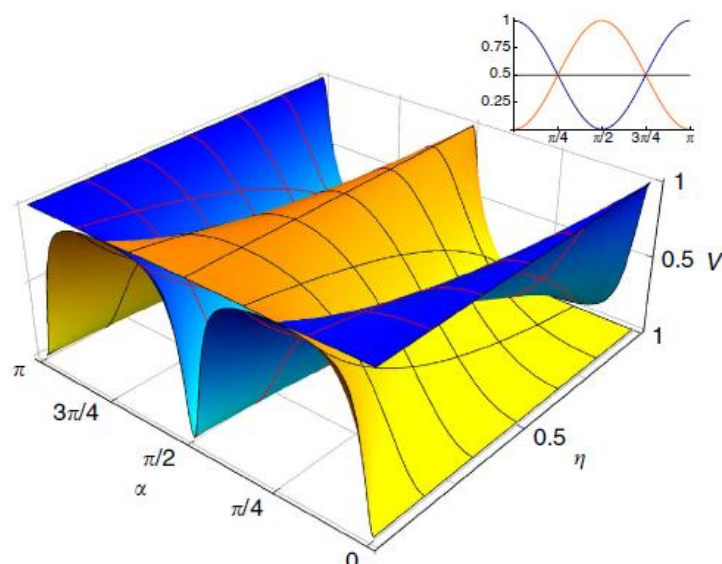
¹Department of Theoretical Physics, National Institute of Physics and Nuclear Engineering, 077125 Bucharest-Măgurele, Romania. ²Research Center for Spatial Information - CEOSpaceTech, University Politehnica of Bucharest, 313 Splaiul Independentei, 061071 Bucharest, Romania. ³Institute for Quantum Computing, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1. ⁴Department of Physics and Astronomy, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1. ⁵Perimeter Institute for Theoretical Physics, Waterloo, Ontario, Canada N2L 2Y6. ⁶Department of Physics and Astronomy, Macquarie University, Sydney, New South Wales 2109, Australia. Correspondence and requests for materials should be addressed to D.T. (email: daniel.terno@mq.edu.au).

Дуализм волна-частица, суперпозиция и запутывание относятся к наиболее загадочным характеристикам квантовой механики. Их противоречие нашим классическим ожиданиям мотивировали появление теорий со скрытыми параметрами (hidden variables – HV). С появлением квантовых технологий мы можем экспериментально проверить предсказания квантовой теории сравнительно с HV-теориями и наложить строгие ограничения на положенные в их основу ключевые допущения. В данной публикации исследуется версия квантового эксперимента (с запутыванием) с отложенным выбором, и показано, что обобщение HV на управляющие устройства только углубляет противоречия. Сравняются HV-теории, удовлетворяющие условиям объективности (свойство фотонов быть либо частицей, либо волной, но не тем и другим одновременно), детерминизма и локальной независимости скрытых параметров в квантовой механике (КМ). Любые два из этих условий совместны в КМ. Конфликт возникает, когда наложены все три условия и сохраняются при любой ненулевой степени запутанности. Предложен эксперимент для проверки указанных выводов.

Схема предлагаемого эксперимента:



Два пространственно разделенных устройства импульсной накачки (синий цвет) генерируют (за счет спонтанного преобразования с понижением частоты) две пары запутанных фотонов (красный цвет). Первый фотон является запускающим (trigger), а остальные три фотона обозначены через A, B, C. В рамке: квантово-управляемый интерферометр Маха-Цандера MZI. Оптические устройства задержки в трех фотонных плечах (τ_A , τ_B , τ_C) могут регулироваться, чтобы обеспечить нужный временной порядок событий детектирования.



Видность. Видности $V_{A|c=0}$ (желтый цвет) и $V_{A|c=1}$ (синий цвет) вычислены, как указано в тексте статьи, раздел “Methods”. В HV-теориях видность не позволяет отличить случаи $c=0, 1$. Врезка справа вверху иллюстрирует это для случая $p(p) = \eta = \frac{1}{2}$, где прямая линия представляет предсказание HV-теорий для видимости.

Ссылки

1. Wheeler, J. A. & Zurek, W. H. (eds) Quantum Theory and Measurement (Princeton Univ. Press, 1984).
2. Peres, A. Quantum Theory: Concepts and Methods (Kluwer, 1995).
3. Brandenburger, A. & Yanofsky, N. A. Classification of hidden-variable properties. J. Phys. A 41, 425302 (2008).
4. Englert, B.-G. On quantum theory. Eur. J. Phys. D 67, 238 (2013).
5. Nielsen, M. A. & Chuang, I. L. Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge Univ. Press, 2000).
6. Bruß, D. & Leuchs, G. Lectures on Quantum Information (Wiley-VCH, 2007).
7. Scully, O. M., Englert, B.-G. & Walther, H. Quantum optical tests of complementarity. Nature 351, 111–116 (1991).
8. Schmidt, L. Ph. H. et al. Momentum transfer to a free floating double slit: realization of a thought experiment from the Einstein-Bohr debates. Phys. Rev. Lett. 111, 103201 (2013).
9. Marshall, W., Simon, C., Penrose, R. & Bouwmeester, D. Towards quantum superpositions of a mirror. Phys. Rev. Lett. 91, 130401 (2003).
10. Arndt, M. & Hornberger, K. Testing the limits of quantum mechanical superpositions. Nat. Phys. 10, 271–275 (2014).
11. Ionicioiu, R. & Terno, D. R. Proposal for a quantum delayed-choice experiment. Phys. Rev. Lett. 107, 230406 (2011).
12. Cerfieri, L. et al. Quantum control in foundational experiments. Found. Phys. 44, 576–587 (2014).
13. Tang, J.-S., Li, Y.-L., Li, C.-F. & Guo, G.-C. Revisiting Bohr’s principle of complementarity using a quantum device. Phys. Rev. A 88, 014103 (2013).
14. Qureshi, T. Modified Two-Slit Experiments and Complementarity. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1205.2207> (2012).

15. Bohr, N. in *Albert Einstein—Philosopher-Scientist* (ed. Schlipp, P. A.) 200–241 (The Library of Living Philosophers, 1949).
16. Wheeler, J. A. in *Quantum Theory and Measurement* (eds Wheeler, J. A. & Zurek, W. H.) 182–213 (Princeton Univ. Press, 1984).
17. Leggett, A. J. in *Compendium of Quantum Physics* (eds Greenberger, D., Hentschel, K. & Weinert, F.) 161–166 (Springer, 2009).
18. Jacques, V. et al. Experimental realization of Wheeler’s delayed-choice Gedanken experiment. *Science* 315, 966–968 (2007).
19. Kaiser, F. et al. Entanglement-enabled delayed choice experiment. *Science* 338, 637–640 (2012).
20. Roy, S., Shukla, A. & Mahesh, T. S. NMR implementation of a quantum delayed-choice experiment. *Phys. Rev. A* 85, 022109 (2012).
21. Auccaise, R. et al. Experimental analysis of the quantum complementarity principle. *Phys. Rev. A* 85, 032121 (2012).
22. Tang, J.-S. et al. Realization of quantum Wheeler’s delayed-choice experiment. *Nat. Photonics* 6, 600–604 (2012).
23. Peruzzo, A. et al. A quantum delayed choice experiment. *Science* 338, 634–637 (2012).
24. Langford, N. K. et al. Demonstration of a simple entangling optical gate and its use in Bell-state analysis. *Phys. Rev. Lett.* 95, 210504 (2005).
25. Kiesel, N. et al. Linear optics controlled-phase gate made simple. *Phys. Rev. Lett.* 95, 210505 (2005).
26. Kaltenbaek, R. et al. Experimental Interference of Independent Photons. *Phys. Rev. Lett.* 96, 240502 (2006).
27. Kaltenbaek, R., Prevedel, R., Aspelmeyer, M. & Zeilinger, A. High-fidelity entanglement swapping with fully independent sources. *Phys. Rev. A* 79, 040302(R) (2009).
28. Ionicioiu, R., Mann, R. B. & Terno, D. R. Determinism, independence and objectivity are inconsistent. Preprint at <http://arxiv.org/abs/1406.3963> (2014).
29. Branciard, C., Gisin, N. & Pironio, S. Characterizing the nonlocal correlations created via entanglement swapping. *Phys. Rev. Lett.* 104, 170401 (2010).