

Измерения, подтверждающие реальность волновой функции

М. Рингбауэр и др. (Австралия, Франция)

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

ArXiv:1412.6213v1 [quant-ph] 19 Dec 2014

Measurements on the reality of the wavefunction

M. Ringbauer^{1,2}, B. Duffus^{1,2}, C. Branciard^{1,3}, E. G. Cavalcanti⁴, A. G. White^{1,2} & A. Fedrizzi^{1,2}

¹ Centre for Engineered Quantum Systems, ² Centre for Quantum Computer and Communication Technology, School of Mathematics and Physics, University of Queensland, Brisbane, QLD 4072, Australia.

³ Institut Néel, CNRS and Université Grenoble Alpes, 38042 Grenoble Cedex 9, France.

⁴ School of Physics, University of Sydney, NSW 2016, Australia

Квантовая механика дает успешное описание природы, обоснование наук от биологии и химии до физики. В ее сердце находится квантовая волновая функция (ВФ), центральное средство описания квантовых систем. Однако до сих пор неясно, чем же является ВФ: то ли она просто представляет наше ограниченное знание о системе, то ли является элементом реальности?

“Вы действительно верите, что луна существует только тогда, когда вы на нее смотрите?” Знаменитый вопрос Альберта Эйнштейна подытожил столетние дебаты о проблеме измерения и природе волновой функции [1]. Не все ученые – в частности, “квантовые байесовцы” [2-4] – думают, что имеется объективная реальность, фиксирующая наши наблюдения физического мира, т.е. что луна существует независимо от наблюдения. Если, однако, кто-то хочет поддержать реалистическую позицию на квантовом уровне, возникает естественный вопрос: волновая функция непосредственно соответствует конкретной реальности, либо она представляет только наше частичное знание относительно реального состояния квантовой системы?

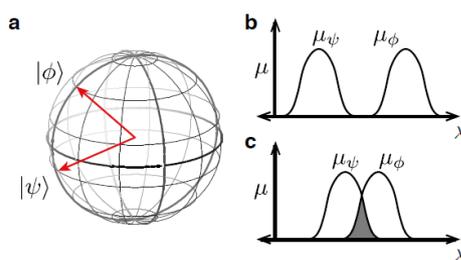


Рисунок 1. Онтологические модели для квантовой теории.

a – Чистые квантовые состояния $|\psi\rangle$ и $|\phi\rangle$ соответствуют единичным векторам в d -мерном гильбертовом пространстве. В онтологических моделях каждое квантовое состояние $|\psi\rangle$ ассоциируется с распределением вероятности μ_ψ на множестве онтологических состояний λ .

b – В ψ -онтологической модели распределения не перекрываются для любой пары неидентичных квантовых состояний, так что такое состояние может рассматриваться само по себе как онтологический элемент объективной реальности.

c – В ψ -эпистемологических моделях распределения вероятности могут перекрываться, и квантовое состояние определяется заданным онтологическим состоянием λ не единственным образом.

Если волновая функция сама по себе является элементом конкретной реальности, то она должна определяться только λ . Эпистемологические состояния (т.е. распределения вероятностей) μ_ψ и μ_ϕ , отвечающие любым двум чистым состояниям $|\psi\rangle$ и $|\phi\rangle$ (рис. 1а), должны быть непересекающимися (рис. 1б). Онтологическая модель, удовлетворяющая этому условию, называется ψ -онтологической. Во всех других случаях волновая функция должна интерпретироваться как представление ограниченного знания о реальном состоянии данной системы – так называемая ψ -эпистемологическая модель. В таких моделях эпистемологические состояния двух различных квантовых состояний должны перекрываться, так что одно онтологическое состояние может соответствовать различным чистым состояниям, рис. 1с.

В данной публикации экспериментально тестируется такой подход с использованием единичных фотонов. Используется теоретическое неравенство для некоторой величины $S \geq 1$ (см. [21]), которое должно выполняться для максимально ψ -эпистемологических моделей. В описываемом эксперименте это неравенство нарушается, и показано, что получены наименьшее возможное значение для S (0.9184 ± 0.002 , 0.690 ± 0.001). Используются квантовые состояния размерностей $d=3$ (кутрит) и $d=4$ (кукварт), приготовленные на единичных фотонах. Фотоны создаются парами в ходе спонтанного параметрического преобразования с понижением частоты, при этом один из фотонов используется в эксперименте в качестве запускающего для информирования о наличии сигнального фотона

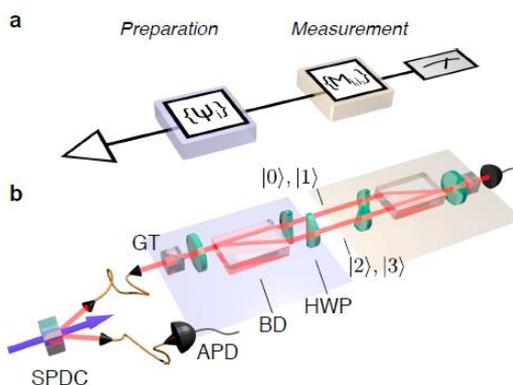


Рисунок 2. Схема измерений для проверки реальности волновой функции.

Установлено, что интерпретация знания не может полностью объяснить различие неортогональных квантовых состояний в трех и четырех измерениях. Предполагая, что некоторая реальность существует, эти результаты укрепляют точку зрения, согласно которой такая сущность, как волновая функция, должна быть реальностью. Единственной альтернативой является переход к нестандартным концепциям типа влияния будущего на прошлое или полного отказа от понятия объективной реальности.

Ссылки

- [1] Mermin, N. D. Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory. *Physics Today* 38, 38-47 (1985).
- [2] Mermin, N. D. *Nature* 507, 421{423 (2014).
- [3] Caves, C. M., Fuchs, C. A. & Schack, R. Quantum probabilities as Bayesian probabilities. *Phys. Rev. A* 65, 022305 (2002).

- [4] Fuchs, C. A. QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism. arXiv:1003.5209 (2010).
- [5] Spekkens, R. Evidence for the epistemic view of quantum states: A toy theory. Phys. Rev. A 75, 032110 (2007).
- [6] Leifer, M. S. Is the quantum state real? An extended review of ψ -ontology theorems. Quanta 3, 67-155 (2014).
- [7] Harrigan, N. & Spekkens, R. W. Einstein, Incompleteness, and the Epistemic View of Quantum States. Found. Phys. 40, 125-157 (2010).
- [8] Einstein, A., Podolsky, B. & Rosen, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? Phys. Rev. 47, 777-780 (1935).
- [9] Bell, J. S. On the Einstein Podolsky Rosen paradox. Physics 1, 195-200 (1964).
- [10] Brunner, N., Cavalcanti, D., Pironio, S., Scarani, V. & Wehner, S. Bell nonlocality. Rev. Mod. Phys. 86, 419-478 (2014).
- [11] Pusey, M. F., Barrett, J. & Rudolph, T. On the reality of the quantum state. Nature Physics 8, 476-479 (2012).
- [12] Colbeck, R. & Renner, R. Is a system's wave function in one-to-one correspondence with its elements of reality? Phys. Rev. Lett. 108, 150402 (2012).
- [13] Hardy, L. Are quantum states real? Int. J. Mod. Phys. B 27, 1345012 (2013).
- [14] Patra, M. K., Pironio, S. & Massar, S. No-go theorems for ψ -epistemic models based on a continuity assumption. Phys. Rev. Lett. 111, 090402 (2013).
- [15] Aaronson, S., Bouland, A., Chua, L. & Lowther, G. ψ -epistemic theories: The role of symmetry. Phys. Rev. A 88, 032111 (2013).
- [16] Colbeck, R. & Renner, R. A system's wave function is uniquely determined by its underlying physical state. arXiv:1312.7353 (2013).
- [17] Emerson, J., Serbin, D., Sutherland, C. & Veitch, V. The whole is greater than the sum of the parts: on the possibility of purely statistical interpretations of quantum theory. arXiv:1312.1345 (2013).
- [18] Lewis, P. G., Jennings, D., Barrett, J. & Rudolph, T. Distinct Quantum States Can Be Compatible with a Single State of Reality. Phys. Rev. Lett. 109, 150404 (2012).
- [19] Barrett, J., Cavalcanti, E. G., Lal, R. & Maroney, O. J. E. No ψ -Epistemic Model Can Fully Explain the Indistinguishability of Quantum States. Phys. Rev. Lett. 112, 250403 (2014).
- [20] Leifer, M. S. ψ -epistemic models are exponentially bad at explaining the distinguishability of quantum states. Phys. Rev. Lett. 112, 160404 (2014).
- [21] Branciard, C. How ψ -Epistemic Models Fail at Explaining the Indistinguishability of Quantum States. Phys. Rev. Lett. 113, 020409 (2014).
- [22] Nigg, D. et al. Can different quantum state vectors correspond to the same physical state? An experimental test. arXiv:1211.0942 (2012).
- [23] Boschi, D., Branca, S., De Martini, F., Hardy, L. & Popescu, S. Experimental Realization of Teleporting an Unknown Pure Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels. Phys. Rev. Lett. 80, 1121-1125 (1998).
- [24] Patra, M. K. et al. Experimental refutation of a class of ψ -epistemic models. Phys. Rev. A 88, 032112 (2013).
- [25] Larsson, J.-A. Loopholes in Bell inequality tests of local realism. J. Phys. A 47, 424003 (2014).
- [26] Fujiwara, M., Takeoka, M., Mizuno, J. & Sasaki, M. Exceeding the Classical Capacity Limit in a Quantum Optical Channel. Phys. Rev. Lett. 90, 167906 (2003).
- [27] Bohm, D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" variables. I. Phys. Rev. 85, 166-179 (1952).
- [28] Everett III, H. "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics. Rev. Mod. Phys. 29, 454 (1957).

- [29] James, D. F. V., Kwiat, P. G., Munro, W. J. & White, A. G. Measurement of qubits. *Phys. Rev. A* 64, 52312 (2001).
- [30] Fedrizzi, A., Herbst, T., Poppe, A., Jennewein, T. & Zeilinger, A. A wavelength-tunable fiber-coupled source of narrowband entangled photons. *Opt. Exp.* 15, 15377 (2007).