

## Тестирование “призрачного действия на расстоянии”

Саляр и др. (Швейцария)

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

(В конце публикации приведены комментарий группы Цайлингера к данной статье и ответ авторов статьи на этот комментарий – МХШ)

----

arXiv:0808.3316v1 [quant-ph] 25 Aug 2008

### Testing spooky action at a distance

**D. Salart, A. Baas, C. Branciard, N. Gisin, and H. Zbinden**

*Nature* **454**, 861-864 (14 August 2008) | doi:10.1038/nature07121; Received 2 April 2008; Accepted 30 May 2008

*Testing the speed of 'spooky action at a distance'*

Group of Applied Physics, University of Geneva, 20, Rue de l'Ecole de Medecine,  
CH-1211 Geneva 4, Switzerland

January 30, 2009

----

В науке подмечают корреляции и подбирают модели, которые бы их описывали. Во всех науках, кроме квантовой физики, все корреляции описываются одним из двух механизмов. Либо первое событие влияет на второе, посылая информацию с помощью бозонов, молекул или иных физических носителей информации, описываемых соответствующим разделом науки, либо коррелирующие события имеют некоторые общие причины в их общем прошлом. Однако квантовая физика предсказывает совершенно новый источник корреляции, именуемый запутыванием (entanglement). Этот новый источник проявляет себя, например, через корреляции, нарушающие неравенства Белла (их, следовательно, нельзя описать через общие причины) между событиями, разделенными пространственно-подобным интервалом (такие корреляции, следовательно, невозможно описать и с помощью классического обмена информацией). Эйнштейн метко назвал это “призрачным действием на расстоянии (spooky action at a distance)”.

Реальное “призрачное действие на расстоянии” требовало бы сверхсветового влияния, определенного в некоторой гипотетической универсальной привилегированной системе отсчета. Здесь мы оцениваем экспериментальные границы скорости всех таких гипотетических воздействий. Мы осуществили эксперимент Белла в течение более чем 24 часов между двумя населенными пунктами, удаленными один от другого на 18 км примерно по оси восток-запад, источник фотонов был расположен примерно посередине. Мы непрерывно наблюдали 2-фотонную интерференцию, заведомо превышавшую порог для неравенства Белла. Благодаря вращению Земли конфигурация нашего эксперимента

позволила нам определить для любой возможной привилегированной системы отсчета нижнюю границу скорости этого призрачного влияния. Например, если бы такая привилегированная система отсчета существовала, и в ней скорость Земли составляла бы менее чем  $10^{-3}$  от скорости света, то тогда это призрачное влияние распространялось бы со скоростью, превышающую скорость света по крайней мере на 4 порядка амплитуды.

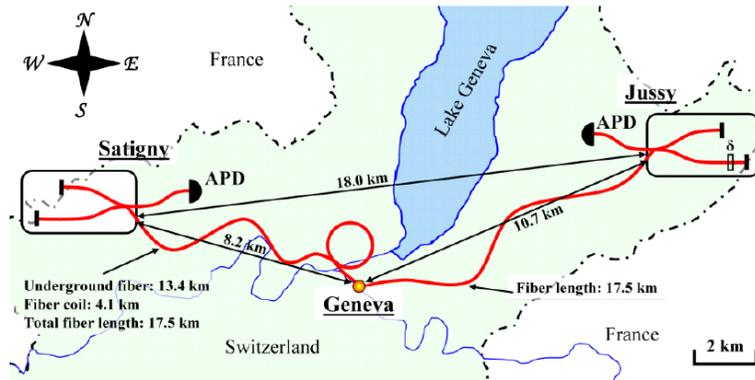


Рисунок 2. Экспериментальная установка.

Источник посылает пары фотонов из Женевы на две приемные станции через оптоволоконную сеть Swisscom. Станции расположены в двух населенных пунктах – Сатиньи (Satigny) и Жюсси (Jussy) в окрестностях Женевы, на расстоянии 8.2 и 10.7 км, соответственно. Прямое расстояние между ними равно 18.0 км. На каждой приемной станции фотоны проходят через идентичные несбалансированные интерферометры Майкельсона и детектируются детектором одиночных фотонов на диоде InGaAs APD. Длина волокна, идущего в Жюсси, составляет 17.5 км. Волокно, идущее в Сатиньи, имеет длину только 13.4 км, так что мы добавили волоконную катушку 4.1 км (изображенную в виде петли) для выравнивания длин обоих волоконных путей.

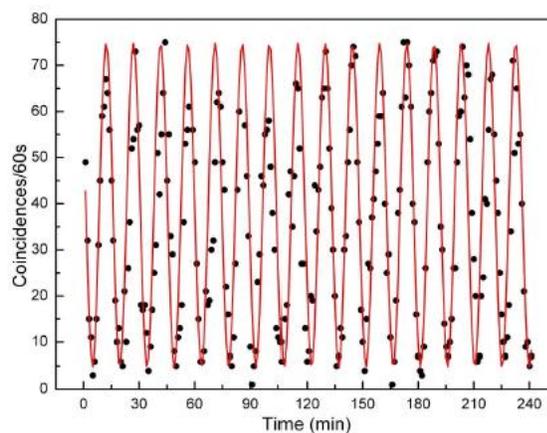


Рисунок 3. Картина интерференции с периодом  $T=900$  с, полученная в течение 4-часового измерения, аппроксимированная синусоидой и дающая видность  $V = (87.6 \pm 1.1)\%$ . Если вычесть случайные совпадения, видность составит  $V_{net} = (94.1 \pm 1.0)\%$ .

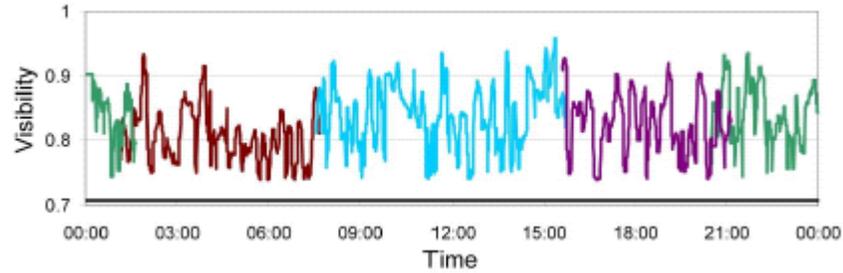


Рисунок 4. Видность для некоторых фрагментированных участков, полученных в различные часы суток. Вместе все участки охватывают каждый момент суток по крайней мере дважды. Значения видности остаются выше порогового уровня (черная линия,  $V = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ), установленного для неравенства CHSH-Белла для любого момента времени.

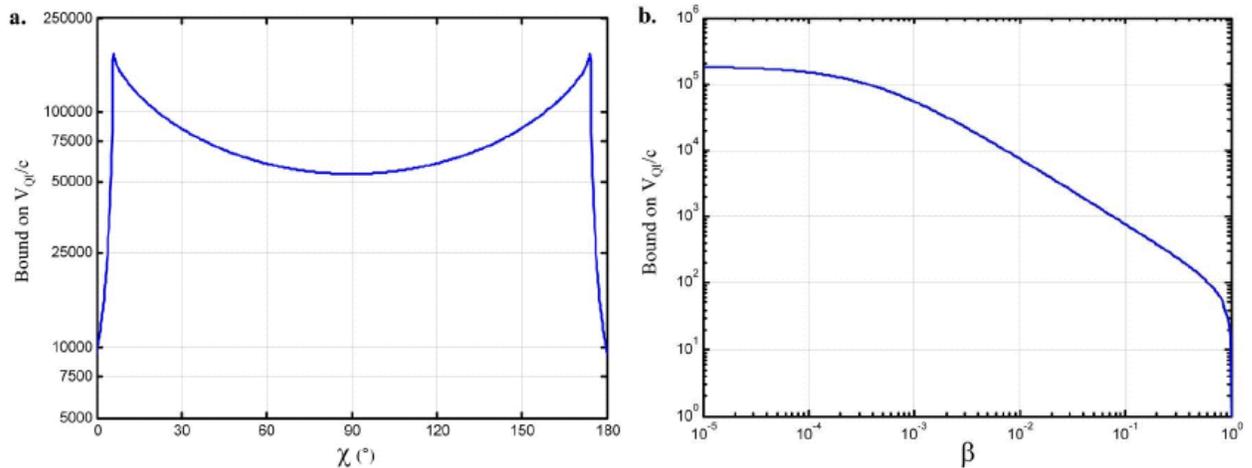


Рисунок 5. Нижние оценки границы для скорости квантовой информации.

- Зависимость от пространственного направления, определенного углом  $\chi$ , в предположении, что отношение  $\beta$  скорости движения Земли к скорости света равно  $10^{-3}$ .
- Зависимость от  $\beta$  (отношения скорости движения Земли к скорости света) в предположении, что  $\chi = 90^\circ$ .

## Ссылки

- Aspect A. Bell's inequality test: more ideal than ever. *Nature*, 398, 189-190 (1999).
- Aspect A. et al. Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities. *Phys. Rev. Lett.* 49, 91-94 (1982).
- Tittel W., Brendel J., Zbinden H., and Gisin N. Violation of Bell Inequalities by Photons More Than 10 km Apart. *Phys. Rev. Lett.* 81, 3563-3566 (1998).
- Weih's G., Jennewein T., Simon C., Weinfurter H., and Zeilinger A. Violation of Bell's Inequality under Strict Einstein Locality Conditions. *Phys. Rev. Lett.* 81, 5039-5043 (1998).

5. Rowe M. A. et al. Experimental violation of a Bell's inequality with efficient detection. *Nature* 409, 791-794 (2001).
6. Matsukevich D. N. et al. Bell inequality violation with two remote atomic qubits. arXiv:0801.2184.
7. Eberhard Ph.H. Quantum theory and pictures of reality. ed. W. Schommers, 169-216 (Springer 1989).
8. Eberhard Ph.H. private communication.
9. Scarani V. et al. The speed of quantum information and the preferred frame: analysis of experimental data. *Phys. Lett. A* 276, 1-7 (2000).
10. Bohm D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. I *Phys. Rev.* 85, 166 (1952).
11. Bohm D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. II *Phys. Rev.* 85, 180 (1952).
12. Bohm D. and Hiley B.J. *The Undivided Universe* Routledge, 293 (1993).
13. Gisin N. et al. Optical tests of quantum nonlocality: from EPR-Bell tests towards experiments with moving observers. *Annal. Phys.* 9, 831-841 (2000).
14. Zbinden H. et al. Experimental test of nonlocal quantum correlation in relativistic configurations. *Phys. Rev. A* 63, 022111/1-10 (2001).
15. Garisto R. What is the speed of quantum information? arXiv:quant-ph/0212078.
16. Franson J. D. Bell inequality for position and time. *Phys. Rev. Lett.* 62, 2205-2208 (1989).
17. Tanzilli S. et al. PPLN waveguide for quantum communication. *Eur. Phys. J. D* 18, 155-160 (2002).
18. Thew R. et al. Experimental investigation of the robustness of partially entangled qubits over 11 km. *Phys. Rev. A* 66, 062304/1-5 (2002).
19. Clauser J. F., Horne M. A., Shimony A., and Holt R. A. Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories. *Phys. Rev. Lett.* 23, 880-884 (1969).
20. Scholder F., Gautier J.-D., Wegmuller M., and Gisin N. Long-distance OTDR using photon counting and large detection gates at telecom wavelength. *Opt. Comm.* 213, 57-61 (2002).
21. Passy R. et al. Experimental and theoretical investigations of coherent OFDR with semiconductor laser sources. *J. Lightwave Tech.* 12, 1622-1630 (1994).
22. Brendel J., Gisin N., and Zbinden H. Optical Fiber Measurement Conference, OFMC'99, pp 12-17, Eds Ch. Boisrobert and E. Tanguy (Universite de Nantes), Nantes, September 1999.

----

(см. ниже комментарий к статье и ответ авторов на него – МХШ)

## Комментарий к статье “Тестирование скорости призрачного действия на расстоянии”

----

arXiv: 0810.4452 [quant-ph]

### Comment on: Testing the speed of ‘spooky action at a distance’

Johannes Kofler, Rupert Ursin, Časlav Brukner, Anton Zeilinger

*Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmanngasse 5, A-1090 Vienna, Austria*

*Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Austrian Academy of Sciences,  
Boltzmanngasse 3, A-1090 Vienna, Austria*

В недавно выполненном эксперименте<sup>1</sup> содержатся важные выводы относительно скорости гипотетического обмена информацией и систем отсчета в Белл-экспериментах. Авторы сообщают, что они “осуществили Белл-эксперимент с запутанными фотонами”, и делают вывод из своих экспериментальных результатов, что “для объяснения, основанного на призрачном действии на расстоянии, мы должны допустить скорость этого действия больше, чем граница, полученная в ходе эксперимента”, превышающая скорость света на порядки амплитуды. Анализируя экспериментальную процедуру, мы показываем, что для объяснения эксперимента достаточно досветовой скорости или вообще отсутствия обмена информацией.

Чтобы объяснить возникающее здесь нарушение неравенств Белла тем, что авторы называют “коррелированные события имеют некоторые общие причины в их совместной истории”, необходимо допустить гипотетический обмен информацией между установками наблюдателей. Такой обмен информацией должен осуществляться со сверхсветовой скоростью, если результат измерения на установке одного наблюдателя отделен пространственно-подобным интервалом от любых событий на установке второго наблюдателя.

В эксперименте отдельные пары запутанных фотонов посылались на расстояние 17.5 км по оптическим волокнам на две приемные станции, расположенные в населенных пунктах Жюсси (Jussy) и Сатиньи (Satigny), причем обе станции были оборудованы интерферометрами типа Фрэнсона и детекторами. Результаты получались из наблюдений за удаленными одно от другого событиями. Фаза (т.е. настройка) интерферометра в Жюсси непрерывно сканировалась, в то время как *настройка* интерферометра в Сатиньи сохранялась *неизменной*.

Но если настройка с одной стороны остается неизменной, результаты обеих наблюдательных станций, связанные с призрачным действием на расстоянии, могут быть описаны в терминах “общей причины” без какого-то обмена информацией вообще. Это означает, например, что не существует формулировки двухчастичного неравенства типа неравенства Белла, применимого для настройки с каждой стороны. Следовательно, вопреки тому, что заявлено в статье, тест неравенства Белла не был осуществлен.

Далее, даже если бы эксперимент был повторен при сохранении второй неизменной настройки в Сатиньи, все еще остается возможным объяснение с помощью “общей причины”. Это связано с тем, что для исключения досветового обмена информацией решающим является то, что *результатирующее событие* с

каждой стороны отделено пространственно-подобным интервалом от *места выбора настройки* с другой стороны – а этого не было сделано в работе [1]. Таким образом, каждое экспериментальное значение – даже если оно было учтено в двух измерительных настройках в Сатиньи и даже основываясь на допущении идеальной выборки – могло бы быть объяснено моделью с “общей причиной”. Иными словами, эксперимент проверяет наличие сверхсветовой скорости гипотетического влияния между результирующими событиями при этом предположении в отсутствие (даже не досветового) гипотетического влияния между выбором настроек и результирующими событиями.

Отметим также, что в эксперименте типа Фрэнсона, описанного в [1], рассматриваемое неравенство Клаузера-Хорна-Шимони-Холта-Белла неприменимо даже при идеальных детекторах вследствие влияния неизбежной постселекции<sup>2</sup>. Следует стремиться к (i) использованию цепочки неравенств Белла<sup>2</sup>, (ii) быстрому переключению, зависящему от геометрии интерферометра и (iii) обеспечению лучшей видности чем та, о которой сообщается в [1]. Ни один из этих трех факторов не был обеспечен в данном эксперименте.

Мы хотели бы подчеркнуть, что данный комментарий не является защитой локального реализма. Мы также не касаемся того, что описанный в работе [1] эксперимент Белла должен быть свободным от завуалированных “лазеек”. Мы обращаем внимание на возможность объяснения на основе “общей причины” результатов эксперимента, претендующего определить “точные экспериментальные границы скорости всякого такого гипотетического влияния”.

## Ссылки :

<sup>1</sup> Salart, D., Baas, A., Branciard, C., Gisin, N. & Zbinden, H. Testing the speed of „spooky action at a distance”. *Nature* **454**, 861-864 (2008).

<sup>2</sup> Aerts, S., Kwiat, P., Larsson, J.-Å. & Żukowski, M. Two-photon Franson-type experiments and local realism. *Phys. Rev. Lett.* **83**, 2872 (1999).

----

## Ответ на комментарий

arXiv:0810.4607v1 [quant-ph] 27 Oct 2008

Reply to the \Comment on: Testing the speed of `spooky action at a distance' "  
D. Salart, A. Baas, C. Branciard, N. Gisin, and H. Zbinden

Квантовые корреляции не могут быть описаны на основании общих локальных причин. Такое предсказание квантовой теории, которое может показаться неожиданным, было широко подтверждено в многочисленных экспериментах. В нашем письме в “Nature” [1] мы рассматривали это положение как твердо установленное и руководствовались другой возможностью: альтернативным предположением, что квантовые корреляции обусловлены сверхсветовым влиянием первого события на второе. При решении этой задачи мы считали, что достаточно наблюдать 2-фотонную интерференцию с видностью, достаточной для потенциального нарушения неравенства Белла, в использованной конфигурации

(2 x 17.5 км). Одновременное устранение других “лазеек”, подобно лазейке локальности, как предлагают авторы комментария, было бы, несомненно, интересным дополнением, равно как и устранение других возможных лазеек в любых Белл-экспериментах. Действительно, для строгого исключения любого объяснения на основе общей причины наблюдаемой квантовой корреляции следовало бы, в идеале, одновременно устранить лазейки локальности и детектирования (и допустить существование независимой случайности, а также принять, что квантовые измерения заканчиваются в момент, когда детекторы срабатывают, или, по крайней мере, когда мезоскопические массы в достаточной степени перемещаются, как было в нашем эксперименте, см. нашу недавнюю работу [2]). Это фундаментальная задача, и всякий прогресс на пути ее решения только приветствуется. Однако до сих пор все эксперименты устраняли не более одной из этих лазеек; наш не является исключением.

Что касается использования интерферометра Френсона для тестирования квантовой нелокальности, то мы настаиваем, что это не принципиальный момент. В принципе достаточно заменить вход светоделителей каждого интерферометра на быстрым переключателем. При этом не-интерференционные боковые пики, наблюдаемые на 2-фотонной интерферограмме, должны исчезнуть. Однако на практике такие ключи приводят к потере приблизительно 3 дБ. Следовательно, при сегодняшней технике гораздо более целесообразно заменить идеальный переключатель пассивным устройством сопряжения, нечто подобное мы и сделали в нашем эксперименте [3].

## **Ссылки**

1. D. Salart et al., Nature 454, 861-864 (2008).
2. D. Salart et al., Phys. Rev. Lett. 100, 220404 (2008).
3. N. Gisin and H. Zbinden, Phys. Lett. A 264, 103 (1999).