

Общая теорема о свободе воли

Антуан Суарес (Швейцария)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru)

arXiv:1006.2485v1 [quant-ph] 12 Jun 2010

The General Free Will Theorem

Antoine Suarez (suarez@leman.ch , www.quantumphil.org)

Center for Quantum Philosophy, P.O. Box 304, CH-8044 Zurich, Switzerland

(Dated: June 12, 2010)

Аннотация

Утверждается, что усиленная Теорема о Свободе Воли (Free Will Theorem - FWT) не доказывает запрета на *нелокальный детерминизм*. Однако это можно сделать с помощью эксперимента типа “before-before” (Suarez-Scarani), который используется здесь для доказательства следующей *Общей Теоремы о Свободе Воли*: Если люди обладают в определенной мере свободой воли, то имеются и другие свободные существа вне пространства-времени, производящие нелокальные эффекты в нашем мире, причем эти эффекты случайны, но и подчиняются законам природы.

Доказательство теоремы о свободе воли (Free Will Theorem - FWT), авторами которой являются Джон Конвэй (John Conway) и Саймон Кохен (Simon Kochen), использует теорему Кохена и Спекера (Specker) [1]. Однако удобно переформулировать ее в контексте теоремы Белла [2] с целью сопоставить ее с недавно выполненными экспериментами. В этом контексте FWT утверждает, что предположения о детерминизме и локальности несовместимы с предсказаниями квантовой механики применительно к экспериментам по запутыванию, в которых экспериментаторы вольны выбирать некоторые важные параметры эксперимента с каждой стороны экспериментальной установки. Это в большой степени соответствует утверждению теоремы Белла, и до сих пор считалось, что FWT не несет нам ничего существенно нового [3,4] кроме того, что она объясняет глубокий философский смысл открытия Белла: если свободой воли обладают люди, то и квантовые явления характеризуются определенной свободой выбора. ...

FWT доказывает факт ложности лишь *локального детерминизма*, т.е. предположения о том, что результаты эксперимента определяются информацией, доступной частицей из их *световых конусов прошлого* (упорядоченная во времени локальная причинность). В 2009 году авторы усиленной FWT объявили также о несоблюдении принципа *нелокального детерминизма*, который позволял бы результатам зависеть также от информации, приходящей из всего *полупространства прошлого* (упорядоченная во времени нелокальная причинность) [1].

В настоящей заметке показывается, что “усиленная FWT” не окончательно запрещает *нелокальный детерминизм*. Однако этот запрет устанавливается с

помощью эксперимента типа “before-before” (Suarez-Scarani) [5-7], что затем используется для обобщения FWT.

В стандартной схеме эксперимента Подольского-Розена-Белла источник испускает пары запутанных между собой фотонов. Один из фотонов каждой пары отправляется в лабораторию Алисы и измеряется подходящим устройством (обычно интерферометром или поляризованным светоделителем), второй фотон посылается Бобу и измеряется аналогичным устройством. Алиса устанавливает значение характерного параметра равным a (тогда как Боб на своей стороне выбирает значение b) и получает результат измерения, равный x (соответственно, Боб получает результат, равный y).

В классическом случае значение x является функцией параметра a , тогда переменная u , представляющая информацию, доступную из *светового конуса прошлого* в момент измерения Алисы, равна

$$x = F(a, u)$$

Аналогично, для Боба получаем

$$y = G(b, v)$$

Для такой схемы эксперимента Джон Белл доказал, что его результаты удовлетворяют некоторому критерию локальности, именуемому неравенством Белла [2]. Реальные эксперименты по проверке неравенства Белла демонстрируют нарушение соответствующих неравенств. Таким образом, мы получаем:

*Свобода воли экспериментатора + эксперимент Белла +
+ упорядоченная во времени локальная причинность → противоречие*

где аксиома о свободе воли экспериментатора означает: выбор параметров (a , b) Алисой и Бобом не коррелированы со свойствами частиц при каждом опыте (“нет сговора”). В более технических терминах: выбор a Алисой и реакция y частиц Боба (т.е. результат измерения частиц Боба) не определяются информацией, содержащейся в общей части световых конусов прошлого частиц Алисы и Боба.

Конвэй и Кохен утверждают, что это равносильно утверждению о том, что частицы осуществляют свою реакцию (x и y) столь же свободно, что и экспериментаторы Алиса и Боб при выборе параметров настройки (a и b). Таким образом, можно вывести FWT:

Свобода воли экспериментатора → Свобода выбора у частиц

Это и есть теорема Белла, выраженная в философских терминах.

Рассмотрим теперь ситуацию, при которой все приборы покоятся в лабораторной системе отсчета, и в этой системе Алиса выполняет свои измерения немного раньше (before) Боба. Если допускается упорядоченная во времени нелокальная причинность, то результат Алисы, полученный в более ранний момент времени, может влиять на результат более позднего измерения Боба. Тогда возможно построить полностью детерминистическую причинную цепочку, рассматриваемую как упорядоченные во времени нелокальные и локальные воздействия, такие, что все результаты детерминированы за счет информации, доступной из (полупространства) *прошлого* в момент измерения. Если допускаются нелокальные зависимости, то следует переформулировать

аксиому о Свободе более точно: утверждение, согласно которому выбор Алисы (соответственно, Боба) свободен, означает, что “что он не определяется тем (т.е. не является функцией от того), что происходило в более ранние моменты времени в любой инерциальной системе отсчета” [1].

Далее автор статьи рассматривает доказательство усиленной теоремы о свободе воли и утверждает, что оно не окончательно исключает возможность нелокального влияния. Однако этот пробел устраняется благодаря выполненным экспериментам типа Суареса-Скарани (типа “before-before”¹) [7], результаты которых действительно опровергли существование такой возможности. В них такое допущение приводит к противоречию с квантовой механикой, которая предсказывает независимые от времени квантовые корреляции [9].

Из этого следует, что

*Свобода воли экспериментатора + эксперимент Суареса-Скарани +
+ упорядоченная во времени нелокальная причинность → противоречие*

что дополняет теорему Белла.

Отсюда автор выводит Обобщенную Теорему о Свободе Воли: если “корреляции вопиют, требуя своего объяснения” (как любил говорить Джон Белл [2]), то “объяснение” находится за рамками пространства-времени, т.е. нелокальные корреляции не могут быть объяснены никаким пространственно-временным фактором, “пространство-время не включает в себя целиком физическую реальность (the space-time does not content the whole physical reality” (Николя Жизэн).

Следовательно, выражения типа “свободный выбор частиц” неадекватны, поскольку понятие “частица” подразумевает нечто материальное, локализованное в пространстве-времени. Более подходящим является представление о том, что свободные решения, возникающие в квантовых процессах, исходят от некоторых существ вне пространства-времени. Автор предлагает для них название ‘джонбеллы (johnbells)’, в честь первооткрывателя нелокальности. Хотя джонбеллы порождают измеримые эффекты, сами по себе они не наблюдаемы. Следуя Конвэю и Кохену, можно заключить: если свободой воли обладают экспериментаторы, то и джонбеллы обладают ровно той же свободой [1]. Кроме того, эта свобода выбора, порождая стохастичность результата с каждой стороны экспериментальной установки, в то же время сопровождается существенной нелокальной корреляцией между этими результатами, что в корне отлично от классической стохастичности: “something very different from classical stochasticism is at play here”[1].

Итак, формулируется Обобщенная Теорема о Свободе Воли:

Свобода воли человека → Свобода воли вне пространства-времени

Автор благодарит Николя Жизена (Nicolas Gisin) и Родериха Тумулку (Roderich Tumulka) за ценные комментарии.

Ссылки:

[1] Conway J.H. and Kochen S., The Free Will Theorem. Found. Phys. 36, 1441-1473 (2006); quant-ph/0604079. The Strong Free Will Theorem. Notices of the American Mathematical Society 56, 226232 (2009).

¹ Термин обозначает, что в каждой из двух взаимно движущихся систем отсчета (Алисы и Боба) измерение выполняется раньше, чем в другой. – Примеч. пер.

- [2] Bell J. S., *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge: University Press, 1987.
- [3] Tumulka, R., Comment on The Free Will Theorem. *Found. Phys.* 37, 186197 (2007). Goldstein Sh., Tausk D. V., Tumulka R., Zanghi N., What Does the Free Will Theorem Actually Prove? arXiv:0905.4641v1 (2009).
- [4] Gisin N., The Free Will Theorem, Stochastic Quantum Dynamics and True Becoming in Relativistic Quantum Physics. arXiv:1002.1392v1 (2010).
- [5] Suarez A. and Scarani V., Does entanglement depend on the timing of the impacts at the beam-splitters? *Phys. Lett. A*, 232, 9 (1997).
- [6] Suarez A., Quantum mechanics versus multisimultaneity in experiments with acousto-optic choice devices. *Phys. Lett. A*, 269, 293 (2000).
- [7] Stefanov A., Zbinden H., Gisin N., and Suarez A., Quantum Correlations with Spacelike Separated Beam Splitters in Motion: Experimental Test of Multisimultaneity. *Phys. Rev. Lett.* 88 120404 (2002) and *Phys. Rev. A* 67, 042115 (2003).
- [8] Colbeck, R. and Renner, R., Quantum theory cannot be extended. arXiv:1005.5173v1 (2010)
- [9] Suarez A., Nonlocal “realistic” Leggett models can be considered refuted by the before-before experiment. *Found. Phys.* 38, 583-589 (2008); On Bell, Suarez-Scarani, and Leggett experiments. *Found. Phys.* 39, 156159(2009)
- [10] Scarani V. and Gisin N., Superluminal influences, hidden variables, and signaling. *Phys. Lett. A*, 295, 167 (2002).
- [11] Suarez A., Quantum randomness can be controlled by free will -a consequence of the before-before experiment. arXiv:0804.0871v2 (2008)