

Комментарий к публикации “Как результаты однократных бросков монеты могут дать 100 выпадений “орла”

Я. Ааронов и Д. Рорлих (Израиль, США)

Перевод М.Х. Шульмана (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

arXiv:1410.0381v1 [quant-ph] 1 Oct 2014

Comment on “How the result of a single coin toss can turn out to be 100 heads”

Yakir Aharonov

*School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University, Tel Aviv 6997801, Israel,
and Schmid College of Science, Chapman University, Orange, CA 92866*

Daniel Rohrlich

*Department of Physics, Ben Gurion University of the Negev, Beersheba 8410501 Israel
(Dated: October 3, 2014)*

“Классическое слабое значение” Ferrie и Combes в недавней заметке [1] не является аналогом слабого значения в квантовом смысле. В лучшем случае его можно назвать пародией на слабое значение.

Чтобы понять ошибку, допущенную в [1], рассмотрим боровскую формулировку квантовой механики [2] применительно к частице в двухщелевом интерферометре. Эта частица в классическом смысле соответствует флуктуирующей “волне-пилоту”. Является ли эта формулировка классической аналогией для квантовой интерференции? Нет, потому что “волна-пилот” является квантовым понятием; в частности, она характеризуется волновым числом $k = p/\hbar$, где p - импульс частицы. Квантовая механика ограничивает “волну-пилот”. Точно так же квантовая механика ограничивает ошибки при слабых измерениях; они не являются аналогами шума в работе [1].

Слабые значения описывают квантовые системы как ограниченные начальными и финальными граничными условиями. Результирующий ансамбль, подвергшийся пре- и пост-селекции (PPS), не имеет классического аналога, потому что полные начальные и финальные граничные условия для классической системы оказываются либо избыточными, либо несовместимыми. Для квантовой системы несовместимость может быть обусловлена только ортогональностью пре- и пост-состояний. Пре- и пост-состояния, выбранные Ferrie и Combes, действительно являются ортогональными (вследствие шкма) и, таким образом, иррелевантны в качестве слабых значений.

Как мы можем проверить, что начальные и финальные граничные условия характеризуют PPS-ансамбль во всем промежуточном интервале времени? Измерение некоторой промежуточной наблюдаемой A в общем случае возмущает этот ансамбль; это возмущение является внутренне присущим феноменом и не имеет классического аналога. Следовательно, хотя Ferrie и Combes утверждают, что источник классического шума “может быть предусмотрен”, они не могут предусмотреть никакого классического аналога. С обескураживающей прямоотой они приписывают свой измерительный шум некоторому наблюдателю, у которого нет времени на перепроверку результатов, выявление погрешности или ошибки. Напротив, разброс при слабых измерениях – это цена, которую мы платим за

ограничение возмущения PPS-ансамбля. Мы моделируем измерительное устройство с помощью некоторой переменной Q_d , положения стрелки на шкале прибора, и гамильтониана взаимодействия $H_{int} = g(t)AP_d$, где $g(t)$ - функция взаимосвязи, а P_d – величина, сопряженная к Q_d . Для ограничения возмущения, возникающего вследствие измерения, мы должны ограничить диапазон P_d , т.е. задать погрешность ΔP_d . Но, поскольку $\Delta Q_d \geq \hbar/2\Delta P_d$, эта погрешность влечет погрешность и для Q_d , т.е. в измерении A .

Мы усматриваем три существенных аспекта слабых значений. Во-первых, измерения с PPS-ансамблем дают более полное описание промежуточной реальности, чем измерения для ансамбля с одной лишь пре-селекцией. Во-вторых, внутренне присущий измерению разброс возникает, вследствие принципа неопределенности, из-за связи измерительного устройства с измеряемым объектом, которая должна быть настолько слабой, чтобы не возмущать PPS-ансамбль. Ни один из этих двух аспектов не имеет классического аналога. Третий существенный элемент – это измерительное устройство. Хотя финальное состояние ансамбля является пост-селективным, но финальное состояние измерительного устройства таковым не является. Кроме того, измеренные значения PPS-ансамбля группируются вокруг слабого значения с характеристикой разброса измерений, полученных данным устройством, как если бы они подчинялись некоторому нормальному закону. Измерительное устройство демонстрирует собственные характеристики, как часы и линейки характеризуются в связи с законами релятивистской кинематики, и как экраны, щели и пружины характеризуются квантовыми границами измерений [3].

Третий аспект слабых значений также отсутствует в работе [1]. Если в этой работе упоминается измерительное устройство, то это Боб, который фиксирует значение переменной s , принимающей значения ± 1 . “Классическое слабое значение” (уравнение (35) в работе [1]), не регистрируется никаким измерительным устройством. В частности, рассмотрим пример, в котором “результат однократных бросков монеты” есть выпадение “100 орлов”: $\delta = 0.99$, так что вероятности для $s = \pm 1$ примерно равны, а вероятность того, что Боб перевернет монету или фальсифицирует результат, не превышает 0.01. Поскольку Алиса пост-селектирует результат $s = -1$, Алиса и Боб получают не более одного выпадения “орла” при каждом броске монеты. Здесь нет никакой аномалии – за исключением уравнения (35).

В заключение укажем, что “аномальные” значения Ferrie и Combes ничего не говорят о квантовой – или даже о классической – физике. Нет аналогии слабых значений, которые возникают, когда мы описываем квантовый мир с помощью начального состояния, эволюционирующего затем “вперед” во времени, и финального состояния, эволюционирующего “назад” во времени, и слабо связывают этот мир с реалистическими измерительными устройствами.

Y.A. благодарит Israel Science Foundation, ICORE Excellence Center “Circle of Light”, и German-Israeli Project Cooperation (DIP) за поддержку. D.R. благодарит John Templeton Foundation и Israel Science Foundation за поддержку.

Ссылки

- [1] C. Ferrie and J. Combes, *Phys. Rev. Lett.* 113, 120404 (2014).
- [2] D. Bohm, *Phys. Rev.* 85, 166 (1952); *ibid.*, 85, 180 (1952).
- [3] N. Bohr, in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. Paul A. Schilpp (New York: Tudor Pub. Co.), 1951, pp. 201-41. See also Y. Aharonov and D. Rohrlich, *Quantum Paradoxes: Quantum Theory for the Perplexed* (Weinheim: Wiley-VCH), 2005, Sect. 2.4.