

Коммуникационная сложность, сцепленные состояния и подлинная скрытая квантовая нелокальность.

Нелокальность определенных квантовых состояний может быть выявлена с помощью локальных фильтров перед выполнением стандартного теста Белла. Это явление, известное как скрытая нелокальность, до сих пор было продемонстрировано только для ограниченного класса измерений, а именно проективных измерений. Авторы [1] доказывают существование подлинной скрытой нелокальности. В частности, представляют класс двух кубитовых запутанных состояний, для которого строится локальная модель наиболее общих локальных измерений (POVMs), и показывают, что состояния нарушают неравенство Белла после локальной фильтрации. Следовательно, существуют запутанные состояния, нелокальность которых может быть обнаружена только с помощью последовательности измерений. И, наконец, подлинные скрытые нелокальности могут быть максимальными. Существуют запутанные состояния, для которых последовательность измерений может привести к максимальным нарушениям неравенства Белла, в то время как статистика непоследовательных измерений всегда локальна. Выполнение локальных измерений на отдельных запутанных частицах может привести к нелокальным корреляциям, о чем свидетельствует нарушение неравенства Белла [1,2]. Это явление, называемое квантовой нелокальностью, получило серьезные экспериментальные подтверждения. Кроме того, запутанности и нелокальности в настоящее время рассматриваются как фундаментальные аспекты квантовой теории, и играют видную роль в квантовой информации [1- 3]. Тем не менее, через 50 лет после открытия теоремы Белла, все еще не до конца понимают связь между запутанностью и нелокальностью, хотя достигнут значительный прогресс [3]. В частности, наиболее естественный вопрос, какие запутанные состояния могут привести к нелокальным корреляциям, а какие не могут, по-прежнему открыт. Хотя известно, что нелокальность является общей функцией чистых запутанных состояний [4, 5], ситуация для смешанных состояний оказывается гораздо сложнее. Во-первых, Вернер [6] показал, что существуют смешанные запутанные состояния (так называемые состояния Вернера), которые допускают локальные модели проективных измерений. Тем не менее, может быть, такие состояния нарушают неравенство Белла, когда учитываются более общие локальные измерения (POVMs). Руководствуясь этим вопросом, показали, что некоторые флуктуирующие, но, тем не менее, запутанные, состояния Вернера допускают локальные модели, даже если учитываются POVMs [7,8]. Еще один взгляд на этот вопрос был сформулирован в работах [9, 10], в

которых предлагаются тесты Белла, в которых наблюдатели выполняют не одно, а последовательность измерений. Примечательно, но Попеску [9] показал, что локальные состояния Вернера размерностью $D \geq 5$ могут нарушать неравенства Белла, когда к состояниям разумно локально применяют фильтры перед выполнением стандартного теста Белла. Следовательно, локальные фильтры выявляют скрытую нелокальность квантового состояния. Важно отметить, что использование локальных фильтров не открывает лазейку, поскольку выбор локальных измерений параметров во втором измерении может быть выполнен после применения фильтров [9, 11-13]. Хотя этот результат показывает, что последовательные измерения могут быть предпочтительными в тестах Белла, возникает вопрос, а необходимы ли они. Действительно, важно то, что скрытые нелокальности были до сих пор продемонстрированы только для ограниченного класса измерений, а именно проективных измерений. Конкретно состояния Вернера рассматривались Попеску чтобы признать допустимыми локальные модели проективных измерений, но в принципе нарушающими неравенство Белла в случае наиболее общих локальных измерений (POVMs). Следовательно, возникает вопрос о том, существуют ли подлинные скрытые нелокальности. То есть, там, где существуют запутанные состояния, нелокальность может быть наблюдаемой только тогда, когда используются последовательные измерения? Доказательство существования подлинной скрытой нелокальности начинается с представления простого класса двухкубитовых запутанных состояний, для которых строится модель локальных POVMs, т.е. произвольных непоследовательных измерений. Далее показывают, что эти состояния нарушают версию (CHSH) [14] неравенства Белла, когда выполняются разумно выбранные последовательности измерений. Следовательно, это показывает, что последовательные измерения превосходят непоследовательные, и, что нелокальность некоторых сцепленных состояний может быть раскрыта только через последовательные измерения. Кроме того, возможны построения, дающие простые примеры уже известных скрытых нелокальностей [1]. При этом главным инструментом получения результатов является метод, позволяющий, начиная с локального моделирования дихотомических проективных измерений данного состояния, построить локальные модели POVMs связанных, но, вообще говоря, различных состояний. Наконец, можно показать, что подлинные скрытые нелокальности могут быть максимальными. В частности, можно привести простой класс кутрит-кутрит запутанных состояний, которые допускают локальные модели POVMs, но максимально нарушают CHSH неравенство, когда используются последовательные

измерения [1,2,10]. Следовательно, такие состояния полезны для теоретико-информационных ресурсов и задач, основанных на нелокальности [2, 3], хотя они кажутся бесполезными на первый взгляд. Эти результаты подчеркивают новые аспекты тонких связей запутанности и нелокальности.

1. F. Hirsch, M. T. Quintino, J. Bowles, N. Brunner. Genuine hidden quantum nonlocality. <http://arxiv.org/pdf/1307.4404.pdf>
2. H. Buhrman, R. Cleve, S. Massar, R. de Wolf. Nonlocality and communication complexity. Rev.Mod. Phys. 82, 665 (2010).
3. N. Brunner, D. Cavalcanti, S. Pironio, V. Scarani, S. Wehner. Bell nonlocality. <http://arxiv.org/abs/1303.2849>
4. N. Gisin. Bell inequality for arbitrary many settings of the analyzers. <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/9905062.pdf>
5. S. Popescu, D. Rohrlich. Generic quantum nonlocality. Phys. Lett. A 166, 293 (1992).
6. R.F. Werner. Quantum states with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model. http://pra.aps.org/abstract/PRA/v40/i8/p4277_1
7. J. Barrett. Nonsequential positive-operator-valued measurements on entangled mixed states do not always violate a Bell inequality. http://scholar.google.ca/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=rZefS0AAAAAJ&citation_for_view=rZefS0AAAAAJ:qjMakFHDy7sC
8. M. L. Almeida¹, S. Pironio¹, J. Barrett, G. Tóth, A. Acín. Noise Robustness of the Nonlocality of Entangled Quantum States. <http://prl.aps.org/abstract/PRL/v99/i4/e040403>
9. S. Popescu. Bell's Inequalities and Density Matrices: Revealing “Hidden” Nonlocality. http://prl.aps.org/abstract/PRL/v74/i14/p2619_1
10. Кутрит. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%82>
11. M. Zukowski, R. Horodecki, M. Horodecki, P. Horodecki. Generalized quantum measurements and local realism. Phys. Rev. A 58, 1694 (1998)
12. S. Teufel, K. Brendl, D. Durr, S. Goldstein, N. Zanghi. “Locality and causality in hidden-variables models of quantum theory Phys. Rev. A 56, 1217 (1997).
13. <http://ru.scribd.com/doc/50639551/Bibliographic-Guide-to-Foundations-of-Quantum-Mechanics-A-Cabello>
14. J. F. Clauser, M. A. Horne, A. Shimony, R. Holt. Proposed experiment to test local hidden-variable theories. Phys.Rev. Lett. 23, 880-884 (1969).