

Автоматический поиск новых квантовых измерений

М. Кренн и др. (Австрия, Канада)

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

arXiv: 1509.02749v1 [quant-ph]

Automated Search for new Quantum Experiments

Mario Krenn^{1,2,*}, Mehul Malik^{1,2}, Robert Fickler^{1,2,3}, Radek Lapkiewicz^{1,2}, Anton Zeilinger^{1,2,*}

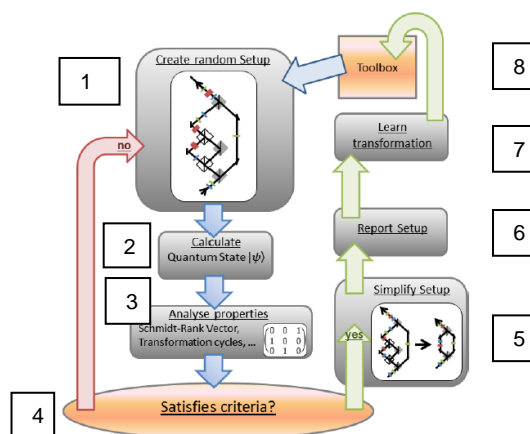
¹Vienna Center for Quantum Science and Technology (VCQ), Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmanngasse 5, A-1090 Vienna, Austria.

²Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Austrian Academy of Sciences, Boltzmanngasse 3, A-1090 Vienna, Austria.

³present address: Department of Physics and Max Planck Centre for Extreme and Quantum Photonics, University of Ottawa, Ottawa, K1N 6N5, Canada.

*correspondence to mario.krenn@univie.ac.at and anton.zeilinger@univie.ac.at

Квантовая механика предсказывает ряд с первого взгляда противоречащих интуиции феноменов (телепортация, квантовая интерференция, квантовый ластик, запутывание). Следовательно, возникает вопрос, является ли наша интуиция наилучшим способом находить новые эксперименты. В данной публикации рассказывается о разработке компьютерного алгоритма MELVIN, который способен находить новые экспериментальные подходы к созданию сложных квантовых состояний и манипуляциями ими. Действительно, обнаруженные эксперименты широко используют незнакомые и асимметричные технологии, которые стимулируют интуитивное понимание. Результаты простираются от первого внедрения высокоразмерного состояния Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) до широкого разнообразия экспериментов с запутанными квантового состояния – свойство, которое может существовать только когда оба числа участвующих частиц и размерность больше, чем 2. Кроме того, выявлены новые типы высокоразмерных преобразований, которые выполняют циклические операции. MELVIN автономно изучает решения в пользу простейших систем, которые значительно ускоряют темп поиска более сложных экспериментов. Способность автоматизировать разработку квантового измерения может быть применено ко многим квантовым систем и позволяет физически реализовать квантовые состояния, предварительно описанные на бумаге.



1 - Создание случайной установки 2 - Вычисление квантового состояния $|\psi\rangle$ 3 - Анализ свойств 4 - Критерии выполнены? 5 - Упрощение установки 6 - Описание установки 7 - Изучение преобразования 8 - Набор инструментов

References

- [1] Bennett, C. H., Brassard, G., Crépeau, C., Jozsa, R., Peres, A., & Wootters, W. K. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. *Physical review letters*, **70**(13), 1895 (1993).
- [2] Wang, X. L., Cai, X. D., Su, Z. E., Chen, M. C., Wu, D., Li, L., ... & Pan, J. W., Quantum teleportation of multiple degrees of freedom of a single photon. *Nature*, **518**(7540), 516-519 (2015).
- [3] Hong, C. K., Ou, Z. Y., & Mandel, L., Measurement of subpicosecond time intervals between two photons by interference. *Phys. Rev. Lett.* **59**(18), 2044 (1987).
- [4] Scully, M. O., & Drühl, K. Quantum eraser: A proposed photon correlation experiment concerning observation and "delayed choice" in quantum mechanics. *Physical Review A*, **25**(4), 2208 (1982).
- [5] Schrödinger, E. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. *Naturwissenschaften*, **23**(49), 823-828 (1935).
- [6] Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical review*, **47**(10), 777 (1935).
- [7] Bell, J. S. On the einstein-podolsky-rosen paradox. *Physics*, **1**(3), 195-200 (1964).
- [8] Greenberger, D. M., Horne, M. A., & Zeilinger, A., Going beyond Bell's theorem. In *Bell's theorem, quantum theory and conceptions of the universe* (pp. 69-72). Springer Netherlands (1989).
- [9] Lawrence, J., Rotational covariance and Greenberger-Horne-Zeilinger theorems for three or more particles of any dimension, *Phys. Rev. A* **89**, 012105 (2014).
- [10] Huber, M., & de Vicente, J. I. Structure of multidimensional entanglement in multipartite systems. *Physical review letters*, **110**(3), 030501 (2013).
- [11] A. K. Ekert, Quantum Cryptography Based on Bell's Theorem, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 661 (1991).
- [12] Vazirani, U., & Vidick, T. (2014). Fully device-independent quantum key distribution. *Phys. Rev. Lett.* **113**(14), 140501.
- [13] Shor, P. W., Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. In *Foundations of Computer Science, 1994 Proceedings., 35th Annual Symposium on* (pp. 124-134). IEEE (1994).
- [14] Reberntrost, P., Mohseni, M., & Lloyd, S., Quantum support vector machine for big data classification. *Physical review letters*, **113**(13), 130503 (2014).

- [15] Boto, A. N., Kok, P., Abrams, D. S., Braunstein, S. L., Williams, C. P., & Dowling, J. P., Quantum interferometric optical lithography: exploiting entanglement to beat the diffraction limit. *Phys. Rev. Lett.* **85**(13), 2733 (2000).
- [16] Tóth, G., & Apellaniz, I. Quantum metrology from a quantum information science perspective. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, **47**(42), 424006. (2014).
- [17] Schmidt, M., & Lipson, H., Distilling free-form natural laws from experimental data. *Science*, **324**(5923), 81-85 (2009).
- [18] King, R. D., Rowland, J., Oliver, S. G., Young, M., Aubrey, W., Byrne, E., ... & Clare, A. The automation of science. *Science*, **324**(5923), 85-89 (2009).
- [19] You, J., DARPA sets out to automate research. *Science*, **347**(6221), 465-465 (2015).
- [20] Wigley, P. B., et al. Fast machine-learning online optimization of ultra-cold-atom experiments. arXiv preprint arXiv:1507.04964 (2015).
- [21] Huber, M., Perarnau-Llobet, M., & de Vicente, J. I. Entropy vector formalism and the structure of multidimensional entanglement in multipartite systems. *Physical Review A*, **88**(4), 042328 (2013).
- [22] Cadney, J., Huber, M., Linden, N., & Winter, A., Inequalities for the ranks of multipartite quantum states. *Linear Algebra and its Applications*, **452**, 153-171 (2014).
- [23] Bouwmeester, D., Pan, J. W., Daniell, M., Weinfurter, H., & Zeilinger, A. (1999). Observation of three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement. *Physical Review Letters*, **82**(7), 1345.
- [24] Yao, X. C., Wang, T. X., Xu, P., Lu, H., Pan, G. S., Bao, X. H., ... & Pan, J. W., Observation of eight-photon entanglement. *Nature Photonics*, **6**(4), 225-228 (2012).
- [25] Allen, L., Beijersbergen, M. W., Spreeuw, R. J. C., & Woerdman, J. P. (1992). Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes. *Physical Review A*, **45**(11), 8185.
- [26] Mair, A., Vaziri, A., Weihs, G., & Zeilinger, A., Entanglement of the orbital angular momentum states of photons. *Nature*, **412**(6844), 313-316 (2001).
- [27] Dada, A. C., Leach, J., Buller, G. S., Padgett, M. J., & Andersson, E., Experimental high-dimensional two-photon entanglement and violations of generalized Bell inequalities. *Nature Physics*, **7**(9), 677-680 (2011).

- [28] Krenn, M., Huber, M., Fickler, R., Lapkiewicz, R., Ramelow, S., & Zeilinger, A., Generation and confirmation of a (100× 100)-dimensional entangled quantum system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**(17), 6243-6247 (2014).
- [29] Leach, J., Padgett, M. J., Barnett, S. M., Franke-Arnold, S., & Courtial, J., Measuring the orbital angular momentum of a single photon. *Physical review letters*, **88**(25), 257901 (2002).
- [30] Araújo, M., Costa, F., & Brukner, Č., Computational Advantage from Quantum-Controlled Ordering of Gates. *Physical review letters*, **113**(25), 250402 (2014).
- [31] Tavakoli, A., Herbauts, I., Zukowski, M., & Bourennane, M., Quantum Secret Sharing with a Single d-level System. arXiv preprint arXiv:1501.05582 (2015).
- [32] Malik, M., et al., Multi-photon entanglement in high dimensions, in preparation.
- [33] Schlederer, F., et al., Cyclic transformation of orbital angular momentum modes, in preparation.
- [34] Afek, I., Ambar, O., & Silberberg, Y., High-NOON states by mixing quantum and classical light. *Science*, **328**(5980), 879-881 (2010).
- [35] Eiben, A. E., & Smith, J., From evolutionary computation to the evolution of things. *Nature*, **521**(7553), 476-482 (2015).
- [36] Littman, M. L. Reinforcement learning improves behaviour from evaluative feedback. *Nature*, **521**(7553), 445-451 (2015).
- [37] Mnih, V., et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, **518**(7540), 529-533 (2015).
- [38] Wissner-Gross, A. D., & Freer, C. E., Causal entropic forces. *Physical review letters*, **110**(16), 168702 (2013).
- [39] R. K. Sawyer, *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- [40] Varshney, L. R., Pinel, F., Varshney, K. R., Bhattacharjya, D., Schoengendorfer, A., & Chee, Y. M., A big data approach to computational creativity. arXiv preprint arXiv:1311.1213 (2013).
- [41] see Supplementary Information.