**Вывод квантовой теории из общих физических требований**

**Л. Мазанес** (Испания), **М. Мюллер** (Германия)

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

---

arXiv:1004.1483v2 [quant-ph] 5 Oct 2010

**A derivation of quantum theory from physical requirements**

**Lluis Masanes**,
*ICFO-Institut de Ciencies Fotoniques, Mediterranean Technology Park, 08860 Castelldefels (Barcelona), Spain*

**Markus P. Muller**,
*Institute of Mathematics, Technical University of Berlin, 10623 Berlin, Germany, and Institute of Physics and Astronomy, University of Potsdam, 14476 Potsdam, Germany*

(Dated: October 5, 2010)

---

Квантовая теория обычно формулируется путем постулирования математической теории и представлений, касающихся состояний, измерений и преобразований, а затем в качестве теорем выводятся общие физические следствия. В данной работе используется обратный подход: формулируются пять простых физических требований, которых оказывается достаточно для однозначного вывода квантовой теории и ее математического формализма. Это очень похоже на то, как в специальной теории относительности два простых физических требования используются для вывода математической структуры пространства-времени Минковского и соответствующих преобразований.

Вышеупомянутые требования схематически формулируются следующим образом:

1. В системах, несущих один бит информации, каждое состояние характеризуется конечным набором вероятностей исхода.
2. Состояние сложной системы характеризуется статистикой измерений над отдельными компонентами.
3. Все системы, которые несут эквивалентное количество информации, имеют эквивалентные пространства состояний.
4. Любое чистое состояние системы может быть обратимо преобразовано в любое другое.
5. В системах, несущих один бит информации, все математически хорошо определенные измерения допускаются теорией.

Эти требования просты и имеют ясный физический смысл в терминах общих операциональных процедур. В работе показано, что теориями такого типа могут быть только классическая вероятностная теория и квантовая теория.

Если требование 4 усилено условием непрерывности обратимых преобразований, то остается только квантовая теория. Любые другие теории нарушают как минимум одно из перечисленных требований и, следовательно, выходят за рамки квантовой теории.

При использовании понятия “идеализированной теории” (в которой все математически хорошо определенные измерения разрешены [22]) требование 5 перестает быть необходимым. В этом случае итог данной работы переформулируется следующим образом: любая теория, имеющая идеализированную версию и удовлетворяющая требованиям 1, 2, 3 и 4, может быть погружена в квантовую теорию.

В работе квантовая теория выводится только для конечномерных гильбертовых пространств, но это не кажется серьезным ограничением: представляется, что все бесконечномерные модели, которые реально используются в физике, могут быть построены с помощью конечномерной теории за счет подходящей аппроксимации или конечной процедуры.

Стандартная формулировка квантовой теории включает два постулата, которые не следуют из наших требований: (i) правило изменения состояния после измерения и (ii) уравнение Шрёдингера. Если надо, они могут быть добавлены к нашей схеме вывода квантовой теории с помощью двух дополнительных требований: (i) если над системой одно и то же измерение производится дважды “подряд (in rapid succession)”, то оба раза получается один и тот же результат [4], и (ii) замкнутые системы эволюционируют обратимо и непрерывно во времени.

**Ссылки**


[1] J. S. Bell, Physics 1, 195 (1964).

[2] P. W. Shor, *Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer*; SIAM J. Comput. 26(5), 1484-1509 (1997), quantph/9508027v2.

[3] L. Hardy, *Foliable Operational Structures for General Probabilistic Theories*; arXiv:0912.4740v1.

[4] L. Hardy; *Quantum Theory From Five Reasonable Axioms*, quant-ph/0101012v4.

[5] H. Barnum, A. Wilce, *Information processing in convex operational theories*, DCM/QPL (Oxford University 2008), arXiv:0908.2352v1.

[6] J. Barrett, *Information processing in generalized probabilistic theories*, Phys. Rev. A 75, 032304 (2007), arXiv:quant-ph/0508211v3.

[7] G. W. Mackey; *The mathematical foundations of quantum mechanics*, (W. A. Benjamin Inc, New York, 1963).

[8] G. Birkhoff, J. von Neumann, *The Logic of Quantum Mechanics*, Annals of Mathematics, 37, 823 (1936).

[9] G. Chiribella, G. M. D’Ariano, P. Perinotti; *Probabilistic theories with purification*; Phys. Rev. A 81, 062348 (2010), arXiv:0908.1583v5.

[10] W. van Dam, *Implausible Consequences of Superstrong Nonlocality*, arXiv:quant-ph/0501159v1.

[11] M. Pawlowski, T. Paterek, D. Kaszlikowski, V. Scarani, A. Winter, M. Zukowski, *A new physical principle: Information Causality*, Nature 461, 1101 (2009), arXiv:0905.2292v3.

[12] S. Popescu, D. Rohrlich, *Causality and Nonlocality as Axioms for Quantum Mechanics*, Proceedings of the Symposium on Causality and Locality in Modern Physics and Astronomy (York University, Toronto, 1997), arXiv:quant-ph/9709026v2.

[13] M. Navascues, H. Wunderlich, *A glance beyond the quantum model*, Proc. Roy. Soc. Lond. A 466, 881-890 (2009), arXiv:0907.0372v1.

[14] D. Gross, M. M**u**ller, R. Colbeck, O. C. O. Dahlsten, *All reversible dynamics in maximally non-local theories are trivial*, Phys. Rev. Lett. 104, 080402 (2010), arXiv:0910.1840v2.

[15] S. Aaronson, *Is Quantum Mechanics An Island In Theoryspace?*, quant-ph/0401062v2.
[16] B. Dakic, C. Brukner, *Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?*, arXiv:0911.0695v1.
[17] C. A. Fuchs, *Quantum Mechanics as Quantum Information (and only a little more)*, Quantum Theory: Reconstruction of Foundations, A. Khrenikov (ed.), Vaxjo University Press (2002), arXiv:quant-ph/0205039v1.
[18] G. Brassard, *Is information the key?* Nature Physics 1, 2 (2005).
[19] E. M. Alfsen and F. W. Shultz, *Geometry of state spaces of operator algebras*, Birkhauser, Boston (2003).
[20] R. T. Rockafellar, *Convex Analysis*, Princeton University Press (1970).
[21] A. Baker, *Matrix Groups, An Introduction to Lie Group Theory*, Springer-Verlag London Limited (2006).
[22] A. J. Short, *private communication.*
[23] B. Simon, *Representations of Finite and Compact Groups*, Graduate Studies in Mathematics, vol. 10, American Mathematical Society (1996).
[24] S. Straszewicz, *Uber exponierte Punkte abgeschlossener Punktmengen*, Fund. Math. 24, 139-143 (1935).
[25] A. L. Onishchik and V. V. Gorbatsevich, *Lie groups and Lie algebras I*, Encyclopedia of Mathematical Sciences 20, Springer Verlag Berlin, Heidelberg (1993).
[26] A. L. Onishchik, *Transitive compact transformation groups*, Mat. Sb. (N.S.) 60(102):4 447–485 (1963); English translation: Amer. Math. Soc. Transl. (2) 55, 153–194 (1966).
[27] W. Fulton, J. Harris, *Representation Theory*, Graduate texts in mathematics, Springer (2004).
[28] V. Bargmann, *Note on Wigner's Theorem on Symmetry Operations*, J. Math. Phys. 5, 862–868 (1964).
[29] E. P. Wigner, *Normal Form of Antiunitary Operators*, J. Math. Phys. 1, 409–413 (1960).
[30] M. J. Bremner, C. M. Dawson, J. L. Dodd, A. Gilchrist, A. W. Harrow, D. Mortimer, M. A. Nielsen, T. J. Osborne, *Practical scheme for quantum computation with any two-qubit entangling gate*, Phys. Rev. Lett. 89:247902 (2002), arXiv:quant-ph/0207072v1.