

Квантовый распад не может быть полностью обратимым. Правило 5%.

Роберт Алички (Польша)

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

arXiv:0807.2609v1 [quant-ph] 16 Jul 2008

Quantum decay cannot be completely reversed. The 5% rule. Robert Alicki

Institute of Theoretical Physics and Astrophysics, University of Gdansk, Wita Stwosza 57,
PL 80-952 Gdansk, Poland

July 17, 2008

Одной из наиболее обсуждаемых проблем физики является происхождение макроскопической необратимости в сочетании с макроскопической обратимостью подавляющего большинства законов физики. Стандартное объяснение связывает неустранимые потери информации с корреляциями между микроскопическими составляющими макроскопической системы. С другой стороны, казалось бы, для малой квантовой системы нет фундаментальных факторов, препятствующих восстановлению ее начального состояния с произвольно высокой точностью. Рассмотрим, например, спонтанное излучение двухуровневого атома при нулевой температуре, что концептуально является необратимым процессом. Первый способ восстановления начального состояния для возбужденного атома в вакууме состоит в том, чтобы поместить атом в оптическую полость. Тогда вследствие обратных переходов Пуанкаре (Poincare recurrences) излученный фотон перепоглощается, и наблюдается последовательность восстановления начального состояния [2]. Очевидно, что эти восстановления не являются идеальными, потому что полость не является идеально изолированной системой и рассеивает энергию во внешний мир. Существование внешнего мира всегда может быть смоделировано путем рассмотрения процесса спонтанного излучения в неограниченном пространстве. При этих предпосылках можно снова попытаться восстановить начальное состояние, выполнив измерение, при котором детектируется испущенный фотон, а затем послав специальное однофотонное состояние, соответствующее обращенному во времени излученному волновому пакету. Был предложен остроумный эксперимент, реализующий эту идею [1]. Возникает вопрос, возможно ли в принципе и при идеальных условиях восстановить начальное состояние с произвольно высокой точностью.

Используя точно решаемую модель атома Вигнера-Вайскопфа, показано, что нестабильное квантовое состояние не может быть полностью восстановлено в ходе процедуры, включающей детектирование продуктов распада и последующее воссоздание предшествующего состояния, как было предложено в [1]. Универсальная нижняя граница ошибки восстановления равна примерно 5% от удельной ошибки периода (*error per cycle*) – безразмерного параметра, характеризующего процесс распада в марковском приближении. Этот результат

имеет следствия для эффективности квантовой ошибки процедур коррекции, основанных на измерениях и корректирующих операциях.

Эвристически эта граница отражает следующий факт: *нестабильное квантовое состояние не может быть приготовлено с вероятностью, равной 1, отклонение от 1 имеет всегда порядок величины $\hbar\Gamma/E$, где E – масштаб энергии, используемой для отделения нестабильного состояния от других состояний системы, Γ – интенсивность распада данного состояния.*

Это утверждение есть простое следствие соотношения Гейзенберга между энергией и временем. Если данное состояние отличается от других на энергию E , то нам требуется как минимум время T порядка \hbar/E для выполнения измерения, которое позволит выделить это состояние. Такое же соотношение $ET \approx \hbar$ справедливо для времени T , необходимого для "поворота" системы из известного стабильного состояния (основного состояния) в ортогональное нестабильное состояние, используя энергию расщепления уровня E [4]. В обоих случаях вследствие необратимости процесса потеря точности за время T будет порядка $\Gamma T \approx \hbar\Gamma/E$.

References

- [1] N. Lindlein, R. Maiwald, H. Konermann, M. Sondermann, U. Peschel and G. Leuchs, Laser Physics, 17 (7), 927, (2007)
- [2] M. Brune, F. Schmidt-Kaler, A. Maali, J. Dreyer, E. Hagley, J. M. Raimond, and S. Haroche, Phys.Rev.Lett. 76, 1800, (1996).
- [3] V. Jaksic , E. Kritchanski and C-A. Fillet, in Large Coulomb Systems, LNP 695, Springer, Berlin (2006), 145-215.
- [4] N. Margolus and L.B. Levitin, Physica D120, 188, (1998).
- [5] M.A. Nielsen and I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2000).
- [6] E. Knill, R. Laflamme and L. Viola, Phys.Rev.Lett.84 , 2528 , (2000).
- [7] E. Dennis, A. Kitaev, A. Landahl and J. Preskill, J.Math.Phys.43 , 4452, (2002).
- [8] R. Alicki, M. Fannes and M. Horodecki, J. Phys. A: Math. Theor.40, 6451, (2007)