

Вычисление времени жизни перепутанных состояний кубитов под действием внешнего поля в формализме интегрирования по траекториям

А.А. Бирюков¹, М.А. Шлеенков¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. В работе исследуется квантовая перепутанность двух идентичных кубитов, взаимодействующих с электромагнитным полем и друг с другом посредством диполь-дипольного взаимодействия, зависящего от времени. Представлен оригинальный метод численного вычисления статистической матрицы плотности и параметра Переса-Городецких (меры квантовой перепутанности) в рамках формализма интегрирования по траекториям. Используя полученные формулы, мы исследуем зависимость между мерой квантовой перепутанности и амплитудой и частотой величины диполь-дипольного взаимодействия, а также разностью фаз кубитов. Полученные результаты указывают на возможность возбуждения перепутанных состояний с высоким временем жизни.

1. Введение

В настоящее время для создания уникальных экспериментальных установок в фотонике представляется важным исследование квантовой перепутанности состояний микрообъектов. Простейшей системой для изучения квантовой перепутанности является система, состоящая из двух идентичных двухуровневых квантовых систем — кубитов. Фундаментальные принципы явления квантовой перепутанности, наблюдаемого в различных квантовых системах, и основные методы создания и детектирования перепутанных состояний могут быть найдены, например, в обзоре [1]. Существуют также различные приложения феномена квантовой перепутанности в таких областях как квантовый компьютер [2], квантовая криптография [3], квантовая телепортация [4] и многие другие.

Для численного описания меры квантового перепутывания были введены различные безразмерные параметры, такие как параметр Переса-Городецких (Peres-Horodecki criterion), согласованность (Concurrence), отрицательность (negativity) и другие.

Исследование возможности создания кубитов в стационарном запутанном состоянии под действием классического внешнего электрического поля лазерного излучения малой интенсивности с учетом прямого диполь-дипольного взаимодействия между кубитами и учетом спонтанного излучения проведено в работе [5]. Точное решение предложенной модели в приближении вращающейся волны позволяет вычислить максимальные значения согласованности, который в пределе Ламба-Дикке оказывается равен 0.43.

В статье [6] представлены результаты исследования затухания перепутывания (в терминах параметра согласованность) пары двух-уровневых квантовых систем, каждая из которых взаимодействует с тепловым резервуаром при конечной температуре. Было

продемонстрировано, что для широкого спектра начальных перепутанных состояний исследуемая система всегда распутывается при конечных временах взаимодействия.

Исследованию влияния прямого диполь-дипольного взаимодействия кубитов на степень их квантового перепутывания посвящены работы [7]. Работа [8] посвящена исследованию влияния хаотического поведения параметров когерентных состояний на динамику перепутанности в системе двухуровневых атомов и фотонов в моде резонатора.

Важным результатом работы [9] является демонстрация возможности достижения высокой степени квантовой перепутанности двух идентичных кубитов под действием интенсивного лазерного излучения без учета расстояния между кубитами.

При описании реального эксперимента с перепутанными состояниями квантовых систем интерес представляет учет разности фаз действующего лазерного излучения, возникающий за счет ненулевого расстояния между квантовыми системами. В случае, если разность фаз будет оказывать влияние на динамику степени перепутанности, она может быть использована как механизм управления запутанностью квантовых систем.

В настоящей работе представлены результаты исследования квантовой перепутанности двух идентичных кубитов с диполь-дипольным взаимодействием под действием лазерного излучения высокой интенсивности в зависимости от пространственной разделенности двух кубитов под действием теплового поля. Представляется новый математический метод на базе функционального интегрирования для вычисления статистической матрицы плотности и параметры Переса-Городецких и исследуется динамика квантовой перепутанности для лазерных полей различной интенсивности и значений разности фаз. Показано, что в предложенной модели временем жизни перепутанными состояниями кубитов можно управлять. В частности, оно будет увеличено в сравнении с существующими моделями в десятки раз.

2. Литература

- [1] Horodecki, R. Quantum entanglement / R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, K. Horodecki // *Rev. Mod. Phys.* — 2009. — Vol. 81. — P. 865–942.
- [2] Raussendorf, R. A one-way quantum computer / R. Raussendorf and H. J. Briegel // *Phys. Rev. Lett.* — 2001. — Vol. 86. — P. 5188–5191.
- [3] Klobus, W. Entanglement witnessing and quantum cryptography with nonideal ferromagnetic detectors /
- [4] Klobus, A. Grudka, A. Baumgartner, D. Tomaszewski, C. Schönerberger, J. Martinek // *Phys. Rev. B* — 2014. — Vol. 89. — P. 125404–1.
- [5] Torres, J. M. Quantum teleportation and entanglement swapping of matter qubits with coherent multiphoton states / J. M. Torres, J. Z. Bernad, G. Alber // *Phys. Rev. A* — 2014. — Vol. 90. — P. 012304.
- [6] Cakir, O. Steady-state entanglement of two atoms created by classical driving field / O. Cakir, A. A. Klyachko, A. S. Shumovsky // *Phys. Rev. A* — 2005. — Vol. 71. — P. 034303.
- [7] Al-Qasimi, A. Sudden death of entanglement at finite temperature / A. Al-Qasimi, D. F. V. James // *Phys. Rev. A* — 2008. — Vol. 77. — P. 012117.
- [8] Bashkurov, E. K. Entanglement of two flux qubits interacting with thermal field / E. K. Bashkurov, M. S. Mastuygin // *Proc. of SPIE* — 2014. — Vol. 9031. — P. 903110.
- [9] Gorokhov, A. V. Chaos and entanglement in atomic systems interacting with photons // *Proc. of SPIE* — 2013. — Vol. 8699. — P. 86990Y.
- [10] Soltani, M. Control of entanglement between two dissipative non-interacting qubits in a common heat bath by a laser field / M. Soltani, H. Ezatabadipour, J. Jalali, P. Darabi, E. Azizi, G. Rashedi // *Eur. Phys. J.*
D — 2013. — Vol. 67. — P. 256–264.

Entangled state lifetime of qubits in external fields calculation by path integral approach

A.A. Biryukov¹, M.A. Shleenkov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. In this paper we study the quantum entanglement of two identical qubits which interact with electromagnetic field and each other by time-dependent dipole-dipole interaction. We develop original method in path integral approach for numerical calculation of density matrix and Peres-Horodecki parameter (the measure of qubits entanglement). By the use of obtained equations we investigate the dependence of quantum entanglement on dipole-dipole interaction amplitude and frequency as well as qubits phase difference. The results indicate on possibility of high-entanglement states exiting and long-time non-destructive control of them.

Keywords: entangled state, qubits, quantum computing, path integral approach.