

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УДК 530.145.83

DOI: 10.17223/00213411/68/10/13

Динамика степени совпадения и критерия отрицательности для трехкубитной модели Джейнса – Каммингса

А.Р. Багров¹, Е.К. Башкиров¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Россия

Представлено точное решение для оператора эволюции трехкубитной модели Джейнса – Каммингса. Предполагается, что кубиты приготовлены в начальный момент времени в истинно перепутанных состояниях W- или GHZ-типа, а поле – в вакуумном состоянии. На основе точного решения были рассчитаны волновые функции, элементы трехкубитной матрицы плотности и параметры перепутывания кубитов – парные отрицательности и степень совпадения. С помощью выбранных параметров перепутывания был проведен полный анализ динамики перепутывания кубитов.

Ключевые слова: кубиты, эффект мгновенной смерти перепутывания, резонатор, степень совпадения, вакуумное поле, отрицательность.

Введение

Многочастичные перепутанные состояния кубитов играют ключевую роль в таких квантовых технологиях, как квантовые вычисления и квантовые компьютеры, квантовые коммуникации и квантовые сети, и в других устройствах квантовой обработки информации [1]. Одним из важнейших элементов квантовых компьютеров являются вентили, с помощью которых проводятся любые операции над кубитами. Описание физических реализаций как двухкубитных, так и трехкубитных вентилей можно найти, например, в работе [2]. Повышенный интерес к трехкубитным системам обусловлен тем фактом, что они могут использоваться для создания универсальных трехкубитных вентилей Тоффоли и Фредкина, благодаря которым на квантовом компьютере можно реализовать более сложные квантовые алгоритмы, а также улучшить коды квантовых коррекций ошибок ([3] и ссылки в ней). Одним из главных минусов в реализации универсального трехкубитного вентиля была низкая точность выполнения операций по сравнению с двухкубитными вентилями. Однако недавно физикам удалось реализовать трехкубитный вентиль на основе двухкубитных взаимодействий с относительно высокой точностью 98.26(2)% [4].

В случае трехкубитных систем выделяют несколько классов состояний: сепарабельные, бисепарабельные и истинно перепутанные состояния W- и GHZ-типа [5]. На сегодняшний момент наиболее интересные для квантовой информатики трехкубитные перепутанные состояния W- и GHZ-типа были экспериментально реализованы в большом количестве экспериментов для различных типов кубитов ([6] и ссылки в ней). Для управления состояниями кубитов их внедряют в сверхпроводящие резонаторы. Для теоретического исследования взаимодействия кубитов различной физической природы с выделенными модами сверхпроводящих резонаторов обычно используют модель Джейнса – Каммингса и ее обобщения [7]. В последнее время в рамках моделей типа Джейнса – Каммингса исследовано большое количество квантовых систем, используемых для реализации алгоритмов квантовых вычислений, квантовой телепортации и протоколов квантовой криптографии ([7] и ссылки в ней).

В нашей работе [8] исследовалось перепутывание пар кубитов в рамках обобщенной трехкубитной модели Джейнса – Каммингса, в которой один из кубитов находится в изолированном состоянии, а два других кубита заперты в микроволновой резонатор и резонансно взаимодействуют с тепловым полем данного резонатора посредством однофотонных переходов. В качестве начальных состояний кубитов выбирались истинно перепутанные состояния W-типа, а в качестве критерия перепутывания пар кубитов – парная отрицательность. Вместе с тем хорошо известно, что для трехкубитных систем отрицательность пар кубитов в трехкубитной модели в строгом смысле не