

УДК 530.145.1

ДИНАМИКА ПЕРЕПУТАННЫХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ В СИСТЕМЕ ТРЕХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ КУБИТОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ

А. А. Кузьминых¹

Научный руководитель: В. В. Семин, к.ф.- м.н., доцент

Ключевые слова: кубит, квантовая динамика, запутанность

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время квантовая запутанность фактически признана новым физическим ресурсом, который важен не только для квантовых вычислений, но и для квантовой криптографии, квантовой телепортации, квантовой передачи информации и других приложений [1].

Целью данной работы является исследование динамики перепутывания квантовых состояний трех взаимодействующих кубитов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника.

2. МОДЕЛЬ

Рассмотрим систему из трех кубитов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника. Система является открытой и взаимодействует с окружением. Операторно - кинетическое уравнение для такой системы имеет вид [2]:

$$\dot{\rho} = -i \sum_{p=p'} \Omega_{p,p'} [\sigma_p^+ \sigma_{p'}^-, \rho] - i \sum_p \Omega_R [\sigma_p^+ e^{-i(kR_p + \Delta\omega t)} + \sigma_p^- e^{i(kR_p + \Delta\omega t)}, \rho] - \sum_{pp'} \gamma_{p,p'} \{ (N+1) (\sigma_p^+ \sigma_{p'}^- \rho - 2\sigma_{p'}^- \rho \sigma_p^+ + \rho \sigma_p^+ \sigma_{p'}^-) + N (\sigma_p^- \sigma_{p'}^+ \rho - 2\sigma_p^+ \rho \sigma_{p'}^- + \rho \sigma_{p'}^- \sigma_p^+) \}, \quad (1)$$

где ρ - матрица плотности, Ω - константа диполь-дипольного взаимодействия, $\sigma_p^+ \sigma_{p'}^-$ - повышающий и понижающий операторы, Ω_R - частота Раби, k - волновое число, R_p - радиус-вектор, $\Delta\omega$ - отстройка частоты, t - время, γ - скорость релаксации, N - среднее число фотонов.

Первый член уравнения отвечает за взаимодействие атомов между собой, второй – за взаимодействие атомов с лазерным полем, третий - за переход энергии из среды в систему, четвертый – за переход энергии из системы в среду.

¹ Алина Алексеевна Кузьминых, студентка группы 6182-030401D, email: alinakuzminykh@gmail.com

Для оценки перепутывания будем использовать критерий, предложенный в [3]

$$E = E_A + E_B + E_C = 2 \left[\sqrt{\det(\rho^A)} + \sqrt{\det(\rho^B)} + \sqrt{\det(\rho^C)} \right], \quad (2)$$

где $\rho^{A,B,C}$ – частично – транспонированные матрицы плотности для трех случаев: A – степень запутанности первого кубита по отношению к оставшейся подсистеме, B – второго, C – третьего. И примем, что в начальный момент времени система находится в запутанном GHZ состоянии [4] вида

$$|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0_A 0_B 0_C\rangle + |1_A 1_B 1_C\rangle) \quad (3)$$

Состояние GHZ является максимально запутанным трехкубитным состоянием с $E = 3$.

3. РЕШЕНИЕ И АНАЛИЗ ОПЕРАТОРНО – КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Подставив матрицы Паули в уравнение (1) получим систему из шестидесяти четырех уравнений, численное решение которой получено в Wolfram Mathematica.

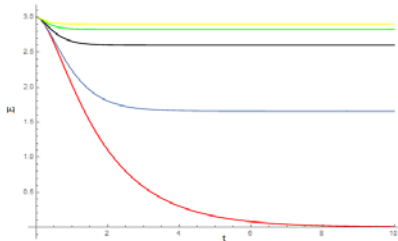


Рисунок 1 – вероятность нахождения системы в запутанном состоянии в отсутствие действия внешнего поля: T = 0 (красный), T = 0.1 (синий), T = 0.5 (черный), T = 1 (зеленый), T = 1.5 (желтый)

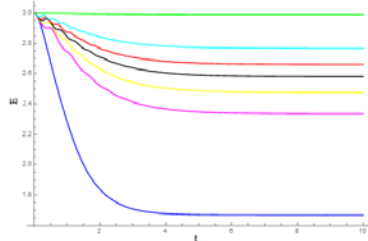


Рисунок 2 – вероятность нахождения системы в запутанном состоянии в момент действия внешнего поля: T = 0.1, $\Omega\tau = 1$ (синий), $\Omega\tau = 5$ (малиновый), $\Omega\tau = 6$ (желтый), $\Omega\tau = 7$ (черный), $\Omega\tau = 8$ (красный), $\Omega\tau = 10$ (голубой), $\Omega\tau = 50$ (зеленый)

Из рисунка 1 видно, что с ростом температуры окружения, система все сильнее запутана и стремится к максимальному для данного состояния значению запутанности. Когда температура термостата равна нулю, кубиты, провзаимодействовав между собой, отдают всю энергию в окружение, соответственно, запутанность быстро падает на нет. В момент, когда температура окружения не

равна нулю, система начинает обмениваться с термостатом энергией, что приводит к «поддержанию» запутанности.

На рисунке 2 с ростом частоты Раби растёт и степень квантовой запутанности системы. Здесь прослеживается такой же принцип взаимодействия кубитов и окружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы построено и решено операторно-кинетическое уравнение для системы из трех кубитов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника. На основе численного решения исследована мера запутанности системы. Показано, что при росте температуры окружения или частоты Раби система кубитов стремится к максимальному значению запутанности для GHZ состояния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Radtke T. Simulation of n-qubit quantum systems. II. Separability and entanglement [Текст]/ T. Radtke, S. Fritzsche. - Computer Physics Communications, 2006. – Vol. 175. – 145-166 с.

2. Agarwal G. S. Master-Equation Approach to Spontaneous Emission*[Текст]/ G. S. Agarwal — Physical Review. — 1970. — Vol. 2. — 357—361 с.

3. Vineeth S. Generalized concurrence measure for faithful quantification of multiparticle pure state entanglement using Lagrange's identity and wedge product [Текст]/ Vineeth S. Bhaskara, Prasanta K. Panigrahi. - Quantum Information Processing, 2017. – Vol. 118. – 10 с.

4. Zukowski M. Quest for GHZ states [Текст]/ M. Zukowski, A. Zeilinger. — Acta Physica Polonica A. — 1998. — Vol. 93. — 187 — 195 с.

УДК 347.94

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТОВ ДОКАЗЫВАНИЯ ПРИ РАССМОТРЕНИИ СПОРОВ О ВЗЫСКАНИИ УБЫТКОВ ПО ДОГОВОРУ

Ю. В. Кузьмичева¹

Научный руководитель: А. Н. Королева, к.ю.н., доцент

Ключевые слова: взыскание убытков, стандарт доказывания

Последнее время в российской судебной практике происходит формирование устойчивой тенденции к применению института стандартов доказывания. В научной литературе данная категория понимается как «модель процессуального доказывания, в которой цели,

¹ Юлия Валерьевна Кузьмичева, студент группы 8406-400301D,
email: julikuzmicheva@gmail.com