**Томография поляризационных кутритов в естественном базисе**

**Чупахин Д.Р.1, Борщевская H.A.1,2, Бантыш Б.И.2, Катамадзе К.Г.1,2, Кулик С.П.1, Богданов Ю.И.2**

*Студент*

*1Центр квантовых технологий Физического факультета МГУ имени* М.В.Ломоносова,

физический факультет, Москва, Россия

*2Физико-технологический институт им. К. А. Валиева Росийской академии наук,* Москва, Россия

E–mail: [*chupakhin.dr20@physics.msu.ru*](mailto:chupakhin.dr20@physics.msu.ru)

Простейшим элементом квантовой информации является квантовый бит (или кубит), квантовая система, расположенная в суперпозиции двух ортогональных базовых состояний [[5](#Литература)]. Передача отдельных кубитов позволяет реализовать системы квантового распределения ключей (КРК) [[2](#Литература)], а управление системой из большого числа кубитов позволяет реализовать квантовые вычисления [[4](#Литература)]. Одной из наиболее удобных и естественных физических реализаций кубита является состояние поляризации фотона, которое может быть представлено как суперпозиция состояний с горизонтальной поляризацией |H⟩ и с вертикальной поляризацией |V⟩. Простейшим расширением размерности поляризационного кубита является поляризационное состояние двух фотонов, распространяющихся в одних и тех же пространственных и частотно-временных модах. Это состояние имеет три базисных вектора: |HH⟩, |HV⟩ и |VV⟩, и называется поляризационным кутритом [[1](#Литература), [3](#Литература)]. Для использования поляризационных кубитов и кутритов в квантовой информатике проблемы, необходимо хорошо контролировать их квантовое состояние. Наиболее важной частью такого контроля является томография квантовых состояний. Эта процедура выполняется в два этапа: выполнение информационно-полного набора измерений и реконструкция матрицы плотности. Оптимизация протокола измерений для конкретного физического устройства позволяет как уменьшить влияние систематических ошибок измерений, так и рассмотреть системы более высокой размерности.

Мы предлагаем протокол для томографии состояния поляризационного кутрита, для чего достаточно использовать одну четвертьволновую пластину, в то время как для томографии состояний поляризации часто используются две пластины. Ранее для томографии кутритов использовалась оптическая схема [4] из нескольких пластин и оптических каналов. Недостатком этой схемы является потеря входных состояний, поскольку в половине случаев фотоны не делятся на два канала. Мы предлагаем схему для томографии кутритов, где для измерения состояния используется одна пластинка λ/4. Состояние кутрита преобразуется некоторым поляризационным элементом и затем измеряется естественном базисе кутрита {|HH⟩, |HV⟩, |VV⟩}. Для восстановления квантового состояния мы использовали метод максимального правдоподобия в сочетании с корневой параметризацией матрицы плотности. Корневая параметризация позволяет выбрать ранг r матрицы плотности.

В ходе эксперимента было подготовлено каждое из 9 базовых состояний. Для каждого состояния при каждом из 5 углов поворота фазовой пластины QWP. Результаты эксперимента по томографии представлены в таблице 1. Из результатов видно, что удалось достичь высокой точности восстановления состояния. Ограниченные значения точности восстановления(Fidelity) связаны с инструментальными ошибками в подготовительной части. Обратите внимание, что при выборе ранга матрицы плотности, равного единице (r = 1, т.е. для чистых состояний), мы восстанавливаем квантовое состояние с наилучшей точностью, что связано с тем, что все подготовленные состояния считаются чистыми во время восстановления.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Состояния | Точность восстановления(Fidelity) | | |
| r = 1 | r = 2 | r = 3 |
| |HH⟩ | 0.991 | 0.975 | 0.974 |
| |VV⟩ | 0.980 | 0.976 | 0.976 |
| |DD⟩ | 0.990 | 0.837 | 0.837 |
| |AA⟩ | 0.991 | 0.904 | 0.904 |
| |RR⟩ | 0.992 | 0.847 | 0.847 |
| |LL⟩ | 0.990 | 0.902 | 0.902 |
| (|VV⟩+i|HH⟩)/2 | 0.990 | 0.923 | 0.923 |
| (|DD⟩+i|AA⟩)/2 | 0.971 | 0.851 | 0.851 |
| (|RR⟩-i|LL⟩)/2 | 0.943 | 0.943 | 0.943 |

Таблица 1: Результаты эксперимента по томографии базисных состояний поляризационных кутритов

**Литература:**

1. Bogdanov Yu. I., and Chekhova M.V., Kulik S.P., Maslennikov, Zhukov G. A. and,A.A.andOh,C. H. and Tey, M. K., Qutrit State Engineering with Biphotons // Rev.Lett.-2004-Vol.93,no.23-P.230503.-10.1103/PhysRevLett.93.230503.

2. Gisin Nicolas, Ribordy Gr ́egoire, Tittel Wolfgang and Zbinden Hugo, Quantum cryptography//Rev.Mod.Phys.-2002-Vol 74, no. 1.-P.145-195.-doi:10.1103/RevModPhys.74.145.

3. Kulik S.P., and Straupe S.S., Entanglement of biphoton-based qutrits and ququarts // LaserPhys.-2014-Vol 24, no. 9 - P. 94007 - doi:10.1088/1054-660X/24/9/094007.  
4. Ladd T. D., Jelezko F., Laflamme R., Nakamura Y., Monroe C. and O’Brien J. L.. Quantumcomputers//Nature-2010-P.45-53.-doi:10.1038/nature08812.

5. Nielsen, M. A. and Chuang, I. L., Quantum information and quantum computation // 2000-P.702