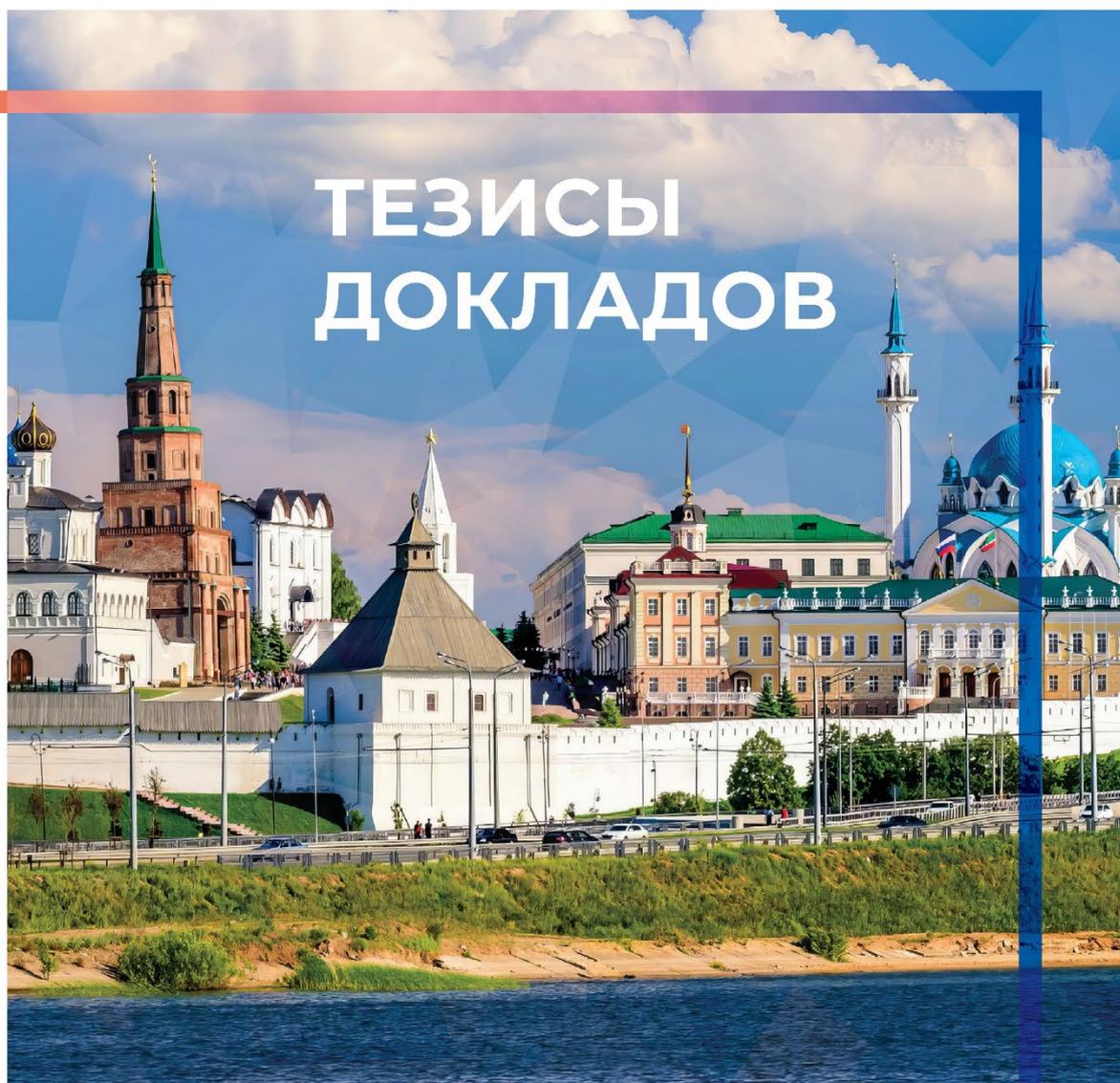




ХОЛОЭКСПО 2024

XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГОЛОГРАФИИ И ПРИКЛАДНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Казань, 9–13 сентября 2024 г.



ХОЛОЭКСПО 2024

**XXI Международная конференция по голографии
и прикладным оптическим технологиям**

(Казань, 9–13 сентября 2024 года)

Тезисы докладов



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. Баумана

2024

УДК 681.7+004.315.7+535.317.1
ББК 22.343.4
Х73

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8328/>

Х73 **ХОЛОЭКСПО 2024** : XXI Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям (Казань, 9–13 сентября 2024 года) : тезисы докладов / Общество с ограниченной ответственностью «Холоэкспо наука и практика». — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. — 398 с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6441-8

В сборнике представлены тезисы докладов XXI Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям ХОЛОЭКСПО 2024 (Казань, 9–13 сентября 2024 г.) по следующим тематикам: тенденции развития оптических технологий, дифракционные и градиентные оптические элементы и системы, оптика лазерных пучков и структурированного света, системы визуализации и отображения информации для AR/VR, оптические защитные технологии, интегральная фотоника, интерферометрия и оптическая метрология, квантовые оптические технологии, технологии микро- и наноструктурирования, цифровая голография и методы визуализации, современные функциональные оптические материалы, биофотоника, новые прикладные оптические технологии, оптико-цифровые информационные системы и оптические коммуникации.

Издание рассчитано на широкий круг читателей, аспирантов, молодых ученых и исследователей, а также на специалистов в области оптических технологий.

УДК 681.7+004.315.7+535.317.1
ББК 22.343.4

Издается в авторской редакции.

ISBN 978-5-7038-6441-8

© ООО «Холоэкспо наука и практика», 2024
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024

Инженерия квантовых состояний света в схемах с измерениями

Т. Ю. Голубева^{1,2}, Е. Н. Башмакова¹, Э. Р. Зинатуллин¹, С. Б. Королев^{1,2}, Е. А. Вашукевич¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Рассмотрены требования к построению негауссовых квантовых состояний, необходимых для квантово-информационных приложений. Описаны принципы генерации негауссовых квантовых состояний и возникающие при этом экспериментальные трудности. Рассмотрен подход, основанный на негауссовых измерениях гауссовых состояний.

Ключевые слова: Квантовые вычисления, Негауссовы состояния, Коррекция ошибок, Сжатые состояния Фока

Говоря о генерации негауссовых квантовых состояний в оптических схемах, прежде всего необходимо отталкиваться от того, для каких целей требуется построить то или иное состояние. Сегодня негауссовы квантовые состояния рассматривают как неотъемлемый элемент квантовых вычислений. С одной стороны, без негауссовых ресурсов невозможно построить универсальную вычислительную модель в непрерывных переменных [1, 2]. С другой стороны, наличие негауссовых состояний является критически важным для исправления ошибок квантовых вычислений [3].

В настоящее время отсутствие надежных методов генерации требуемых негауссовых квантовых состояний является основным «узким местом» для реализации вычислительных протоколов на осцилляторах.

Информационные приложения (в частности, протокол коррекции ошибок) базируются на идеализированных состояниях, генерация которых на уровне современного эксперимента недоступна [4–7]. В то же время, совмещение линейно-оптических элементов, ресурса сжатых входных состояний и техники измерения чисел фотонов позволяет генерировать большое разнообразие квантовых негауссовых состояний [8–12]. Исследованию данных возможностей посвящена представленная работа.

Рассмотрим схему генерации сжатых фоковских состояний, где на вход подаются два несимметричных сжатых вакуумных состояния, а состояние на одном из выходов измеряется с помощью детектора числа фотонов (PNRD). Мы покажем, как правильный выбор параметров двухмодового гауссового состояния приводит к генерации точного сжатого состояния Фока.

Для экспериментальной реализации рассматриваемой схемы мы обсудим два класса перепутывающих операций: светоделитель и преобразование Controlled-Z (CZ). Мы обсудим чувствительность предложенной процедуры к оптическим потерям в схеме. Мы покажем, какие требования на уровень сжатия входных состояний накладываются для каждого класса преобразования. Будет получена возможность найти баланс между экспериментальными трудностями генерации входных состояний и значением вероятности генерации сжатых фоковских состояний, а, следовательно, возможность понизить требования на ресурс входных состояний.

Наконец, покажем, насколько эффективны состояния, генерируемые в предложенной схеме, для процедуры коррекции ошибок.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (гранты № 24-22-00004 и № 24-22-00318) и Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (грант № 21-1-4-39-1). Т. Ю. Голубева и С. Б. Королев благодарят за поддержку Министерство науки и высшего образования Российской Федерации и Южно-Уральский государственный университет (соглашение № 075-15-2022-1116). Т.Ю. Голубева благодарит за поддержку Санкт-Петербургский государственный университет (ID 120841686).

Список источников

- [1] Braunstein, S. L. Quantum information with continuous variables / S. L. Braunstein, P. van Loock // Reviews of Modern Physics. — 2005. — Vol. 77. — 513. — DOI: 10.1103/RevModPhys.77.513.
- [2] Lloyd, S. Quantum computation over continuous variables / S. Lloyd, S. L. Braunstein // Physical Review Letters. — 1999. — Vol. 82. — 1784. — DOI: 10.1103/PhysRevLett.82.1784.
- [3] Niset, J. No-go theorem for gaussian quantum error correction / J. Niset, J. Fiurášek, N. J. Cerf // Physical Review Letters. — 2009. — Vol. 102. — 120501. — DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.120501.

- [4] **Ralph, T. C.** Quantum computation with optical coherent states / T. C. Ralph, A. Gilchrist, G. J. Milburn, W. J. Munro, S. Glancy // *Physical Review A*. — 2003. — Vol. 68. — 042319. — DOI: 10.1103/PhysRevA.68.042319.
- [5] **Hastrup, J.** All-optical cat-code quantum error correction / J. Hastrup, U. L. Andersen // *Physical Review Research*. — 2022. — Vol. 4. — 043065. — DOI:10.1103/PhysRevResearch.4.043065.
- [6] **Ourjountsev, A.** Generation of optical ‘Schrödinger cats’ from photon number states / H. Jeong, R. Tualle-Brouiri, P. Grangier // *Nature*. — 2007. — Vol. 448. — 784. — DOI: 10.1038/nature06054.
- [7] **Sychev, D. V.** Enlargement of optical Schrödinger's cat states / D. V. Sychev, A. E. Ulanov, A. A. Pushkina, M. W. Richards, I. A. Fedorov, A. I. Lvovsky // *Nature*. — 2017. — Vol. 11. — 379. — DOI: 10.1038/nphoton.2017.57.
- [8] **Takase, K.** Gottesman-Kitaev-Preskill qubit synthesizer for propagating light / K. Takase, K. Fukui, A. Kawasaki, W. Asavanant, M. Endo, J.-i. Yoshikawa, P. van Loock, A. Furusawa // *npj Quantum Information*. — 2023. — Vol. 9 — 98. — DOI: 10.1038/s41534-023-00772-y.
- [9] **Takase, K.** Generation of optical Schrödinger cat states by generalized photon subtraction / K. Takase, J.-i. Yoshikawa, W. Asavanant, M. Endo, A. Furusawa // *Physical Review A*. — 2021. — Vol. 103 — 013710. — DOI: 10.1103/PhysRevA.103.013710.
- [10] **Podoshvedov, M. S.** Algorithm of quantum engineering of large-amplitude high-fidelity Schrödinger cat states / M. S. Podoshvedov, S. A. Podoshvedov, S. P. Kulik // *Scientific Reports*. — 2023. — Vol. 13 — 3965. — DOI: 10.1038/s41598-023-30218-6.
- [11] **Olivares, S.** Squeezed Fock state by inconclusive photon subtraction / S. Olivares, M. G. A. Paris // *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics*. — 2005. — Vol. 7 — S616. — DOI: 10.1088/1464-4266/7/12/025.
- [12] **Korolev, S. B.** Generation of squeezed Fock states by measurement / S. B. Korolev, E. N. Bashmakova, A.K. Tagantsev, T. Yu. Golubeva // *arXiv preprint*. — 2023. — arXiv:2312.14643. —DOI: 10.48550/arXiv.2312.14643.

Engineering quantum states of light in the schemes with measurements

T. Yu. Golubeva^{1,2}, E. N. Bashmakova¹, E. R. Zinatullin¹, S. B. Korolev^{1,2}, E. A. Vashukevich¹

¹ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

² Southern Ural State University, Chelyabinsk, Russia

The report considers requirements for the construction of non-Gaussian quantum states necessary for quantum information applications. We discuss the principles for generating non-Gaussian quantum states and the experimental difficulties encountered in this process. A method based on non-Gaussian measurements of Gaussian states has been thoroughly investigated.

Keywords: *Quantum computing, Non-Gaussian states, Error correction, Squeezed Fock states*