



Санкт-Петербургский государственный университет

# Реализация поиска оптимальных схем генерации запутанных состояний фотонов

Артем Александрович Черников, группа 23.M04-мм

17 июня 2024 г.

**Научный руководитель:** к.ф.-м.н. С.С. Сысоев, старший преподаватель кафедры  
системного программирования

Санкт-Петербург  
2024

- Квантовые компьютеры способны решать некоторые задачи быстрее классических
- Создание квантового компьютера на фотонах — перспективное направление
- Для работы квантового компьютера на фотонах требуется преобразование, запутывающее состояния фотонов
- KLM протокол позволяет совершать запутывающие преобразования

- Определение:

$$|GHZ\rangle = \frac{|000\rangle + |111\rangle}{\sqrt{2}}$$

- Используется как вспомогательное состояние в универсальных квантовых вычислениях на фотонах
- Возможность его эффективной генерации представляет интерес

# Оптическая схема

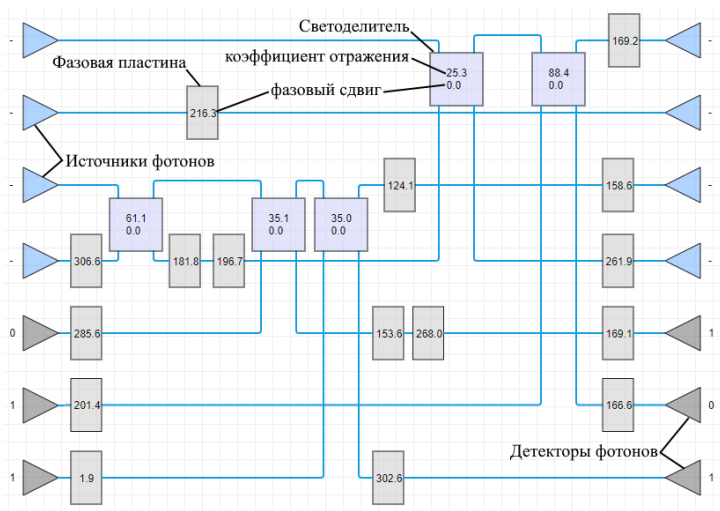


Схема квантового преобразования

**Целью** работы является реализация поиска оптимальных схем генерации запутанных состояний фотонов.

**Задачи:**

- Расширить функциональность фреймворка galory для поиска запутанных состояний
- Произвести поиск схем генерации состояния GHZ
- Проанализировать результаты и сделать выводы

Рассматриваемые решения поиска:

- Гейт CZ<sup>1</sup>
- Генерация состояния Белла<sup>2</sup>
- Генерация состояния GHZ<sup>3</sup>

Результаты анализа:

- Задачи решены специализированными методами
- Сложно использовать для расширения функциональности

Принято решение продолжить работу над имеющимся поисковым фреймворком galopy<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup><https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.66.052306> (дата обращения: 17.06.2024)

<sup>2</sup><https://journals.aps.org/prresearch/pdf/10.1103/PhysRevResearch.3.043031> (дата обращения: 17.06.2024)

<sup>3</sup><https://arxiv.org/pdf/2004.02691> (дата обращения: 17.06.2024)

<sup>4</sup><https://github.com/sysoevss/galopy> (дата обращения: 17.06.2024)

# Задача оптимизации

- Любая схема задаёт некоторую матрицу преобразования
- Нахождение матрицы по схеме — функция, вычисляемая эффективно только в одну сторону
- Для поиска схемы, задающей желаемую матрицу, могут быть использованы алгоритмы оптимизации

# Функция потерь

- Верность (сходство матрицы схемы с желаемой):

$$F(U, W) = \int_{S^{2n-1}} |\langle \psi | W^\dagger U | \psi \rangle|^2 dV = \\ = \frac{1}{n(n+1)} \left( \text{Tr}(MM^\dagger) + |\text{Tr}(M)|^2 \right), \text{ где } M = W^\dagger U$$

- Вероятность верного оповещения:

$$P(U) = \int_{S^{2n-1}} \langle \psi | U^\dagger U | \psi \rangle dV = \frac{1}{n} \text{Tr}(U^\dagger U)$$

- Функция потерь (f — верность, p — вероятность):

```
def loss(f, p):  
    return f if p > p_min else p
```



Используемые инструменты:

- Метод поиска — градиентный спуск
- PyTorch
- Google Colab, T4 GPU

Найдены схемы:

- С одним оповещением
  - ▶ Верность: 1
  - ▶ Вероятность:  $\frac{1}{108}$
- С двумя оповещениями
  - ▶ Верность: 0.88
  - ▶ Вероятность:  $\frac{1}{54}$

- Для одного оповещения метод находит самую оптимальную из известных схем
- Для двух оповещений метод не показывает приемлемых результатов. Возможные решения:
  - ▶ Отказаться от корректировки состояния после измерения
  - ▶ Оптимизировать параметры последовательно, от начала схемы к концу

В ходе выполнения данной работы были достигнуты следующие результаты:

- Расширена функциональность фреймворка galory для поиска запутанных состояний
- Произведены попытки поиска схем генерации состояния GHZ
- Проанализированы результаты, сделаны выводы