

**Введение.** Разработка квантовых технологий требует подготовки и обработки квантовых состояний за минимальное время с сохранением высокой точности (значения fidelity). Основные элементы таких систем — кубиты, двухуровневые системы, реализуемые на различных платформах [1]. Скорость эволюции квантовых состояний ограничена, но оптимальное управление (quantum optimal control) (например, адиабатическая эволюция (Thouless pump) [2], ускоренные методы (shortcuts to adiabaticity) [3], принцип максимума Понтрягина [4]) позволяет приблизиться к этому пределу. Рассматриваемый в работе метод "квантовой брахистохроны" предлагает аналитический подход к поиску кратчайшего времени эволюции квантового состояния, сводя задачу к вариационной [5-6]. В статье рассматривается применение этого метода к задаче оптимальной по времени передачи возбуждения в цепочке из трех связанных кубитов. Цель — найти самый быстрый способ передачи возбуждения, изменяя связи между кубитами.

**Основная часть.** Описан метод квантовой брахистохроны, при котором предполагается варьирование феноменологического действия по матрице эволюции. В результате получается уравнение, известное как уравнение квантовой брахистохроны. При проектировании на соответствующие элементы подпространств системы получены дифференциальные уравнения на амплитуды связей между кубитами и множители Лагранжа.

Данный общий метод применен к конкретной системе из трех кубитов, где кубиты представляются двухуровневой системой с нулевой собственной частотой и присутствуют связи ближайших соседей. В этой системе аналитически найден гармонический закон изменения амплитуд связей для достижения эффективного и минимального по времени транспорта одночастичного возбуждения с левого края кубитной цепочки на правый и описана волновая функция системы. Аналитически из качественных соображений найдены константы интегрирования, задаваемые начальными условиями, и получено время транспорта состояния. Показан выигрыш во времени найденного оптимального решения по сравнению с двумя другими методами, позволяющими реализовать эффективный транспорт: идеальный транспорт с постоянными связями между кубитами (perfect transfer) [7] и ступенчатое переключения связей, часто встречающееся в экспериментальной реализации системы. Полученное решение промоделировано на языке программирования Python с использованием пакета QuSpin. Продемонстрировано ускорение транспорта при оптимальном решении на 13% по сравнению с двумя другими известными методами

**Выводы.** Найден оптимальный по времени эффективный транспорт квантового состояния в цепочке из трех кубитов методом квантовой брахистохроны.

#### Список использованных источников:

1. E. Altman, K. R. Brown, G. Carleo, et al., "Quantum Simulators: Architectures and Opportunities," PRX Quantum 2, 017003 (2021)
2. D. J. Thouless, "Quantization of particle transport," Phys. Rev. B 27, 6083–6087 (1983).
3. D. Guéry-Odelin, A. Ruschhaupt, A. Kiely, et al., "Shortcuts to adiabaticity: Concepts, methods, and applications," Rev. Mod. Phys. 91, 045001 (2019).
4. U. Boscain, M. Sigalotti, and D. Sugny, "Introduction to the Pontryagin Maximum Principle for Quantum Optimal Control," PRX Quantum 2, 030203 (2021)

5. A. Carlini, A. Hosoya, T. Koike, and Y. Okudaira, "Time-optimal quantum evolution," *Phys. Rev. Lett.* 96, 060503 (2006).
6. X. Wang, M. Allegra, K. Jacobs, et al., "Quantum Brachistochrone Curves as Geodesics: Obtaining Accurate Minimum-Time Protocols for the Control of Quantum Systems," *Phys. Rev. Lett.* 114, 170501 (2015).
7. M. Christandl, N. Datta, A. Ekert, and A. J. Landahl, "Perfect State Transfer in Quantum Spin Networks," *Phys. Rev. Lett.* 92, 187902 (2004).