

Е.С. КУЗНЕЦОВ^{1,2}, Н.А. СТЕРЛИГОВ¹, Н.В. МОРОЗОВ^{1,2}, А.Н. МАТВЕЕВ¹, Е.В. АНИКИН¹, Ш. КОРТЕ¹,
О.Ю. ЛАХМАНСКАЯ¹ И К.Е. ЛАХМАНСКИЙ^{1,2}

¹Российский квантовый центр, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

70-КУБИТНЫЙ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР НА ИОНАХ ⁴⁰Ca⁺

В работе представлен прототип квантового вычислителя на захваченных ионах ⁴⁰Ca⁺ с эффективной размерностью гильбертова пространства, эквивалентной 70 кубитам. Система реализована на цепочке из 25 ионов, каждый из которых используется как семиуровневая квантовая система. Продемонстрирована запутывающая операция Молмера–Соренсена между выбранной парой с достоверностью порядка 90%. Также показана возможность реализации однокудитных операций между различными уровнями иона посредством наблюдения кудитных Раби-осцилляций.

E.S. KUZNETSOV^{1,2}, N.A. STERLIGOV¹, N.V. MOROZOV^{1,2}, A.N. MATVEEV¹, E.V. ANIKIN¹, S. KORTE¹, O.Y. LAKHMANSKAYA¹, K.E. LAKHMANSKIY^{1,2}

¹Russian Quantum Center, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

70-QUBIT ⁴⁰Ca⁺ ION QUANTUM COMPUTER

This work presents a prototype of a trapped-ion quantum processor based on ⁴⁰Ca⁺ ions with an effective Hilbert-space dimension equivalent to 70 qubits. The system is implemented using a linear chain of 25 ions, each operated as a seven-level quantum system. A Mølmer–Sørensen entangling gate between a selected ion pair is demonstrated with a fidelity of approximately 90%. In addition, the feasibility of single-qudit operations between different ionic energy levels is shown via the observation of qudit Rabi oscillations.

Квантовые вычисления — это технология, обладающая потенциальными преимуществами при решении таких задач, как оптимизация логистики, криптография, моделирование новых материалов и др. Системы с захваченными ионами стали ведущей платформой для практических квантовых вычислений благодаря длительным временам когерентности и возможностям высокоточного управления с помощью лазерного излучения. Кубит кодируется во внутренних энергетических уровнях иона, а взаимодействие между кубитами происходит за счёт кулоновского отталкивания [1].

В данной работе представлен наш прототип 70-кубитного квантового вычислителя. Кубиты закодированы в 25 ионах ⁴⁰Ca⁺, каждый из которых является семиуровневой квантовой системой. Система удерживается в ловушке Пауля с секулярными частотами $\omega_x, \omega_y, \omega_z = \{2.35, 2.42, 0.194\}$ МГц. Зеемановские подуровни ⁴⁰Ca⁺ позволяют реализовывать 7-уровневый кудит, где состояния иона закодированы в уровнях $|S_{1/2}, m = \{-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\}\rangle, |D_{5/2}, m = \{-\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}\}\rangle$. Уровень $|D_{5/2}, m = \frac{5}{2}\rangle$ используется для детектирования состояния на уровне $|S_{1/2}, m = \frac{1}{2}\rangle$. Для демонстрации возможности реализовывать однокудитные операции выполняется измерение Раби-осцилляций между различными энергетическими уровнями, используя классические методы измерения кудитов [2]. На Рис. 1 изображены кудитные Раби-осцилляции на ионе 13.

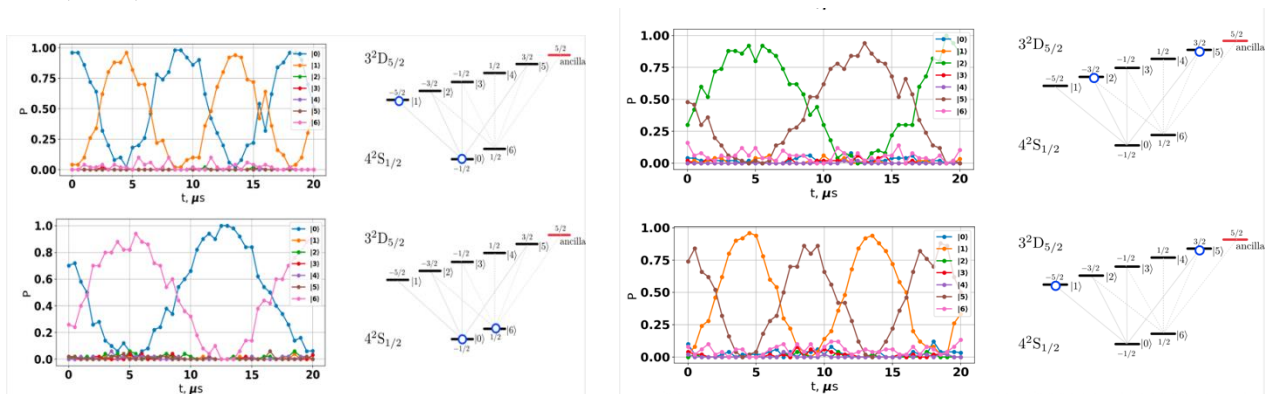


Рис. 1 Кудитные Раби-осцилляции на ионе 13.

Мы используем состояния $|S_{1/2}, m = -\frac{1}{2}\rangle \rightarrow |D_{5/2}, m = -\frac{1}{2}\rangle$ для демонстрации запутывающей операции, используя вентиль Молмера–Соренсена, реализованный на аксиальной моде центра масс. При этом все остальные ионы готовятся в состоянии $|S_{1/2}, m = \frac{1}{2}\rangle$, в котором не взаимодействуют с бихроматическим запутывающим полем. На Рис. 2 изображены осцилляции чётности для пары ионов 5-20 в зависимости от фазы глобального $\pi/2$ импульса. Достоверность запутывающей операции на данной паре ионов составила 90%.

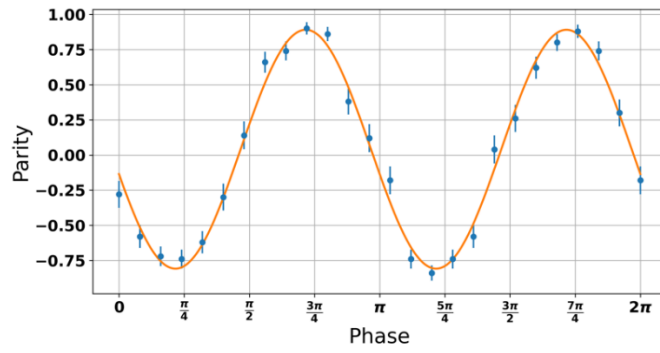


Рис. 2 Осцилляции четности на паре ионов 5, 20

Таким образом была продемонстрирована система с размерностью Гильбертова пространства эквивалентного 70-кубитному квантовому вычислителю.

Работа выполнена при поддержке Госкорпорации "Росатом" в рамках выполнения Дорожной карты "Квантовые вычисления" (Договор № 868/1759-Д от 03.10.2025).

Список литературы

1. Pogorelov I., Feldker T., Marciniak et al. // PRX Quantum 2(2), 020343 (2021).
2. Ringbauer, Martin, et al. // Nature Physics 18.9 (2022): 1053-1057.