

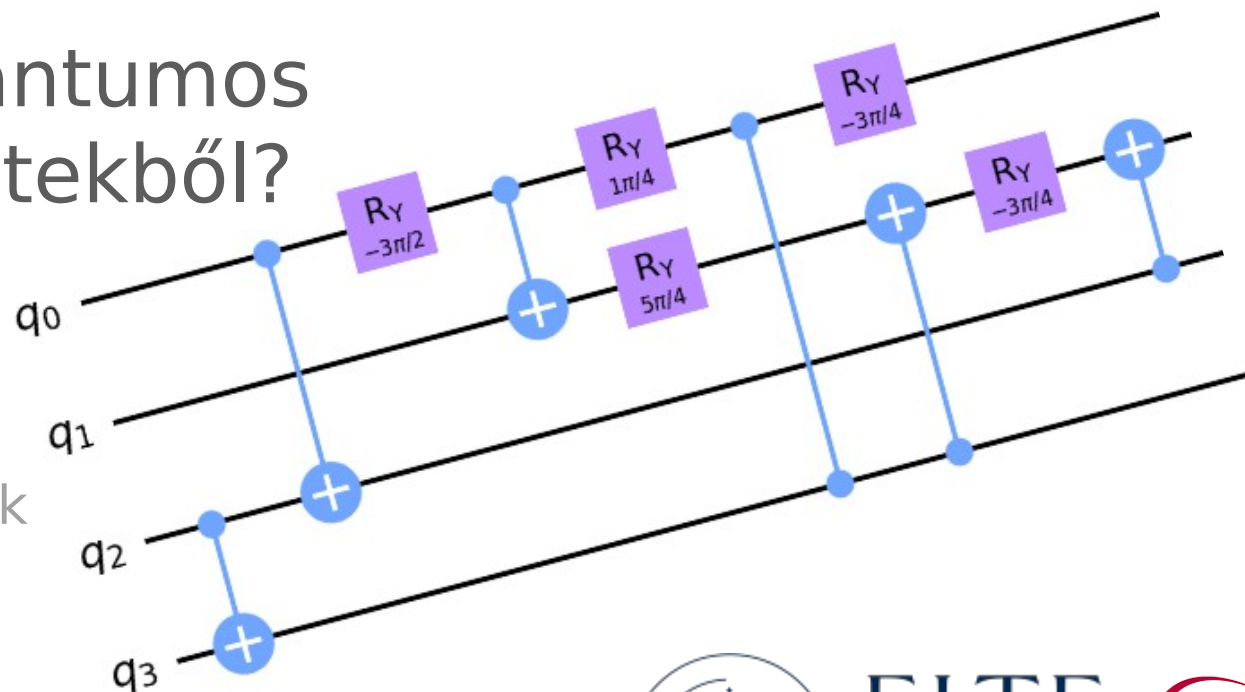
Miként építhetők fel kvantumprogramok elemi műveletekből?

Dr. Rakyta Péter

Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Természettudományi Kar

Eötvös Loránd Tudományegyetem



ELTE
EÖTVÖS LORÁND
UNIVERSITY

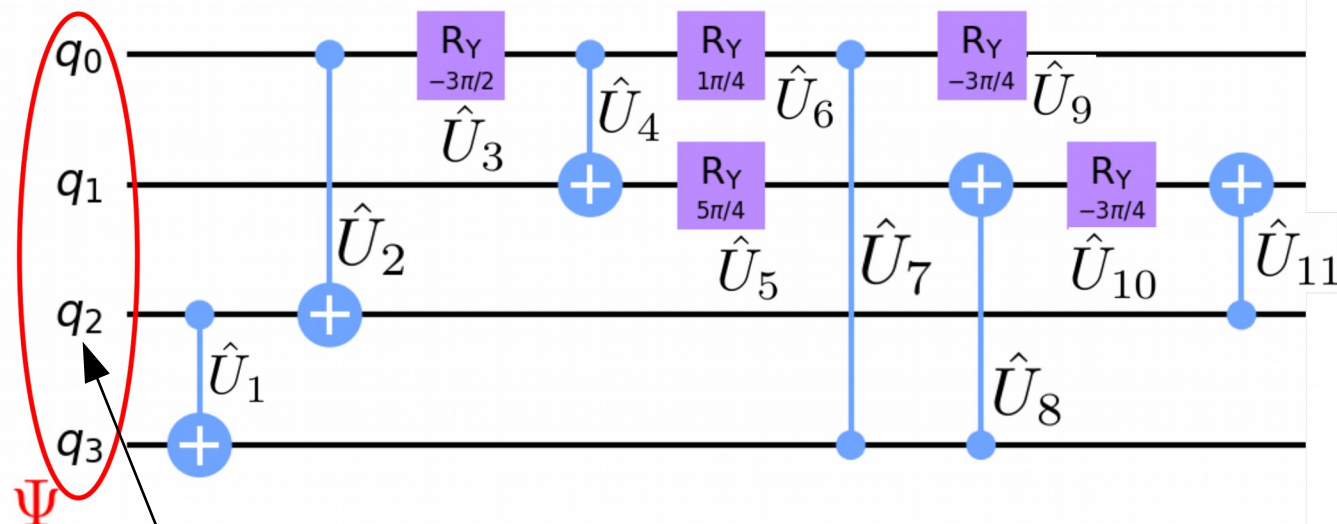


Kvantumos programok

- Fizikai rendszer hullámfüggvényének időfejlődése: $\Psi(t) = \hat{U}(t, t_0)\Psi(t_0)$
- $\hat{U}$: speciális tulajdonságokkal rendelkező operátor
 - Megtartja a Ψ hullámfüggvény normáját,
 - $\hat{U}(t, t_0) = \hat{U}(t, t_1)\hat{U}(t_1, t_0)$, stb.
- Numerikus szimulációkban az $\hat{U}$ „programot” unitér mátrixok reprezentálják $UU^\dagger = \mathbf{1}$

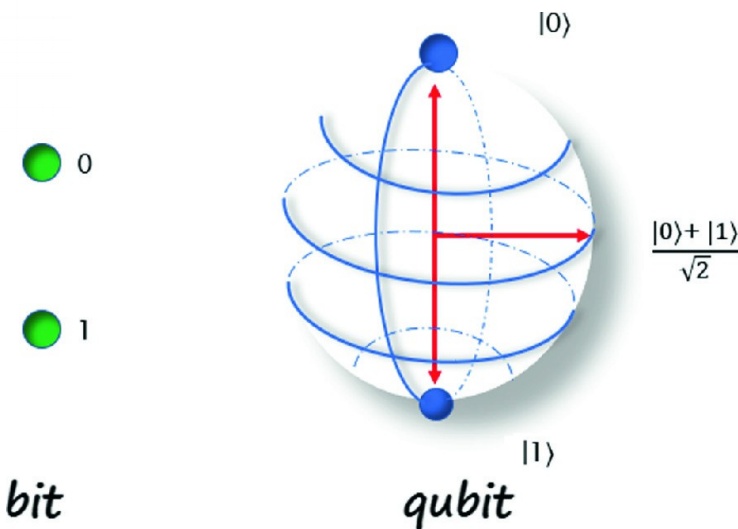
Programok a kvantuminformatikában

$$\hat{U} = \hat{U}_{11} \cdot \hat{U}_{10} \cdot \hat{U}_9 \cdot \hat{U}_8 \cdot \hat{U}_7 \cdot \hat{U}_6 \cdot \hat{U}_5 \cdot \hat{U}_4 \cdot \hat{U}_3 \cdot \hat{U}_2 \cdot \hat{U}_1$$



- Kvantumos bitek:
szuperpozíció + kvantumos összefonódás

- Kvantumos programok felbontása elemi műveletek sorozatára nehéz feladat

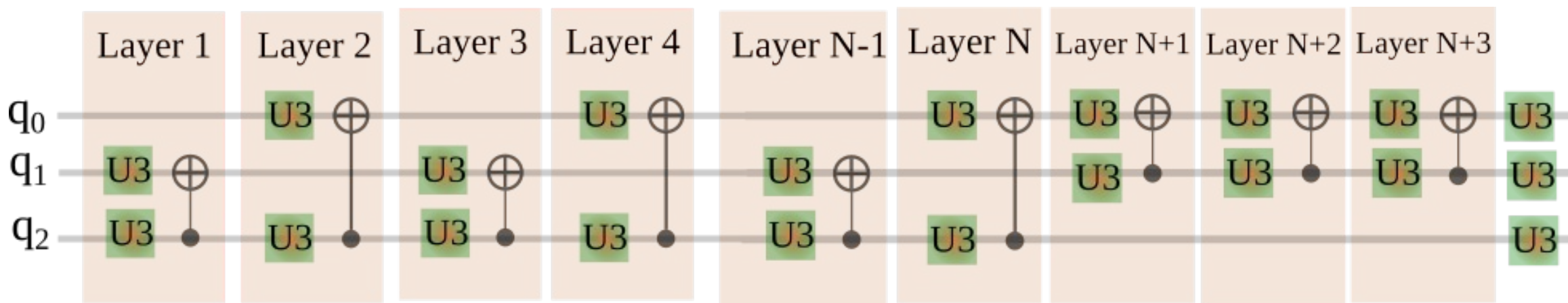


Sequential Quantum Gate Decomposer

SQUANDER



- Általunk kifejlesztett algoritmus kvantum programok felbontására:



- A gépi tanulásból kölcsönzött ötlet:

Periodikus kvantumlogikai kapurendszer „betanítása” az U kvantum program elvégzésére

Sequential Quantum Gate Decomposer SQUANDER

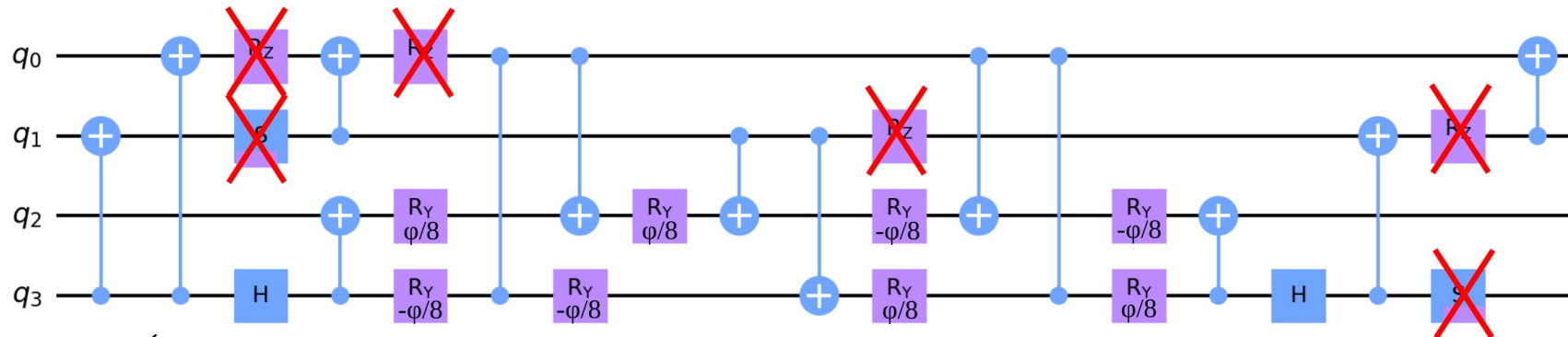
2-qubites kvantum kapuk száma a felbontásban:

Number of qubits	2	3	4	5	n
Iterative unentangling [20]	8	62	344	1642	$2 \cdot 4^n - (2n + 3) \cdot 2^n + 2n$
Givens rotations [19, 26]	4	64	536	4156	$\approx 8 \cdot 4 \cdot 4^n$
Recursive CSD [21]	14	92	504	2544	$\frac{1}{2} \cdot n \cdot 4^n - \frac{1}{2} \cdot 2^n$
Recursive CSD (optimized) [22]	4	26	118	494	$\frac{1}{2} \cdot 4^n - \frac{1}{2} \cdot 2^n - 2$
QSD [20, 26]	6	36	168	720	$\frac{3}{4} \cdot 4^n - \frac{3}{2} \cdot 2^n$
QSD (optimized)[20]	3	20	100	444	$(23/48) \cdot (4^n) - \frac{3}{2} \cdot 2^n + \frac{4}{3}$
Sequential optimization^a	3	15	63	267	Not available
Theoretical Lower Bounds[17]	3	14	61	252	$\frac{1}{4} (4^n - 3n - 1)$

- Péter Rakyta, Zoltán Zimborás: Approaching the theoretical limit in quantum gate decomposition (arXiv:2109.06770)
- Tőlünk független kutatás: Liam Madden (University of Colorado), Andrea Simonetto (IBM Research Ireland): arXiv:2106.05649

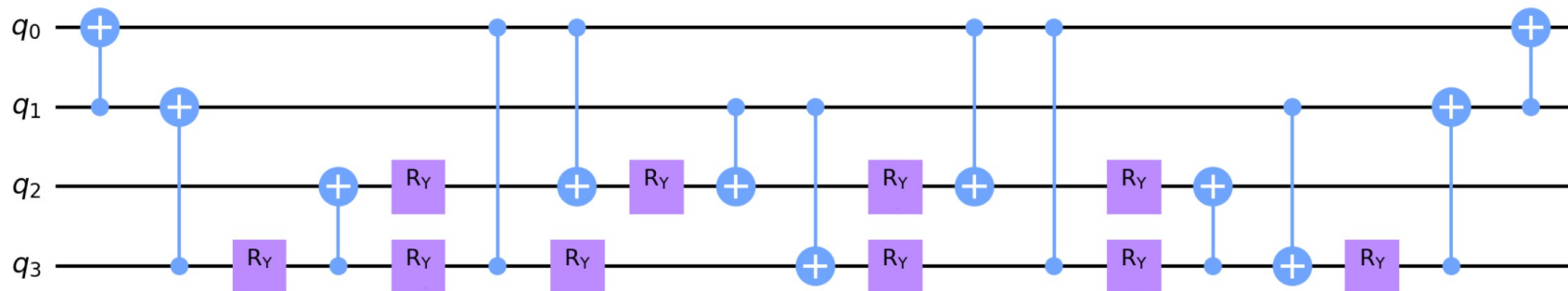
Speciális programok optimalizálása

molekulák erősen korrelált tulajdonságainak szimulálása
variációs kvantumáramkörrel szabad paraméter: φ



egy variációs blokk:
2 molekulapálya +
2 spin
kölsönhatása
4 kvantumós biten

SQUANDER: 6 kapuval kevesebb !! $\hat{R}_Y(\varphi) \rightarrow \hat{R}_Y(f(\varphi))$



Optimalizáció **klasszikus** hardveren **kvantumszámítógépes** gyorsítással

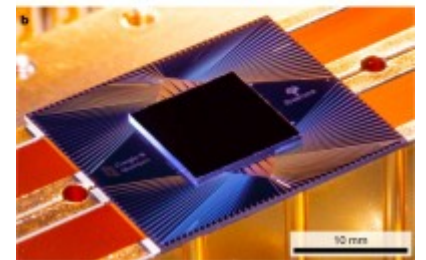
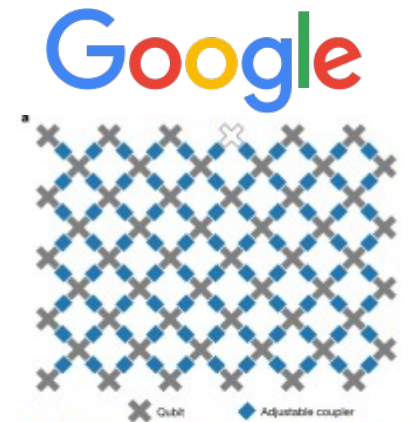
Local, Expressive, Quantum-Number-Preserving VQE Ansatzes for Fermionic Systems

Christian Gogolin¹, Gian-Luca Anselmetti¹, David Wierichs² and Robert Michael Parrish³

Accepted Manuscript online 4 October 2021 • © 2021 The Author(s). Published by IOP Publishing Ltd on behalf of Deutsche Physikalische Gesellschaft and the Institute of Physics



- Korábban: Bayer MaterialScience
 - Polimerekkel foglalkozó nemzetközi nagyvállalat
 - Google Quantum AI: 2020-ban együttműködési nyilatkozat
-
- Együttműködésünk: variációs áramkörök **optimalizálása** és **adaptálása** Sycamore chipre:



Kvantumszámítógép emulátorok fejlesztése

- **FPGA: field-programmable gate array**
- Programozható logikai kapuk
- Memória elemek
- Aritmetikai elemek
- **Prototípus fejlesztés:** feladat-specifikus Integrált chipek tervezése



Kozsik Tamás



Vattay Gábor

An FPGA-Based Quantum Computing Emulation Framework Based on Serial-Parallel Architecture

Y. H. Lee, M. Khalil-Hani, and M. N. Marsono **7 qubit**

VeCAD Research Laboratory, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), 81310 Skudai, Johor Bahru, Malaysia

EFFICIENT FPGA EMULATION OF QUANTUM FOURIER TRANSFORM

Yu Qian¹, Mingyu Wang¹, Jialin Chen^{1}, Lingli Wang¹, and Zhihua Feng²*

¹School of Microelectronics, Fudan University, Shanghai 200433, China

²Beijing Institute of Computer Technology and Application, Beijing 100854, China

*Corresponding Author's Email: jl_chen@fudan.edu.cn

Implementation and Analysis of Quantum Fourier Transform Gates Over FPGA Framework

8 qubit

3 qubit

Tin Moe Aye

Department of Electrical Engineering
Nagaoka University of Technology
Nagaoka, JAPAN

Masahiro Iwahashi

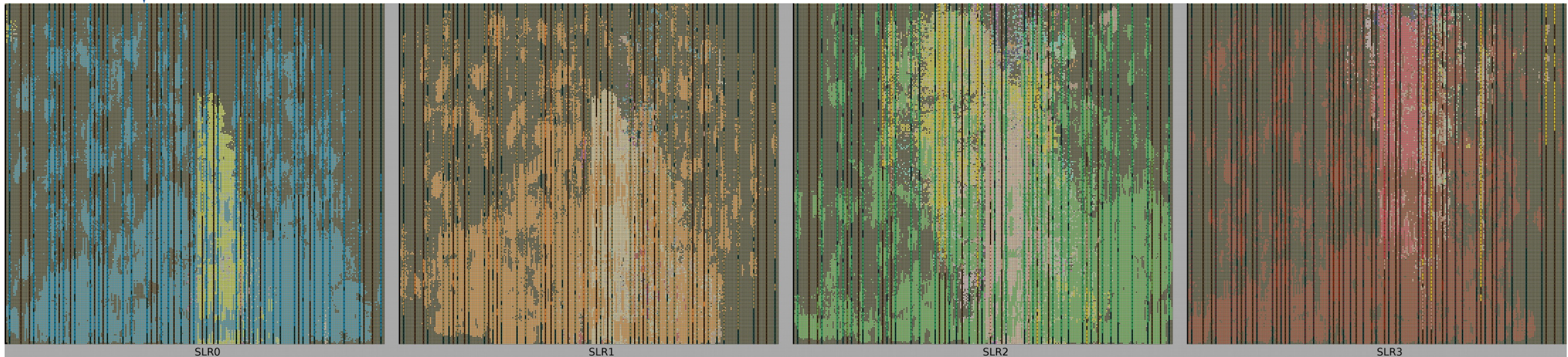
Department of Electrical Engineering
Nagaoka University of Technology
Nagaoka, JAPAN

ELTE TTK: korszerűbb FPGA hardverrel és új megközelítéssel
30 qubites rendszeren végzünk 1 és 2-qubites
egzakt kapuműveleteket

Kvantum Fourier transzformáció szimulációja FPGA-n

64 GB külső memória a kártyán

6 GB/s jelenleg (cél: 51 GB/s, elvi korlát 77 GB/s) **Állapotvektor tárolása**



5 millió LUT, FF, DSP, BRAM18, URAM

Aktuális projektek

- Kvantum inspirált optimalizációs eszközök kutatása, fejlesztése
- Kvantumos bitek és processzorok karakterizálása, hibákat okozó mechanizmusok szimulációja
- Kvantumos bitek szelektív vezérlése
- Hibajavító algoritmusok vizsgálata
- Optikai kvantumszámítógép szimulátor fejlesztése
- **Optikai kvantuminformatikai laboratórium felszerelése kvantumlogikai műveletek végzéséhez**

A kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta a Kvantuminformatika Nemzeti Laboratórium keretében.

This research was supported by the Ministry of Innovation and Technology and the National Research, Development and Innovation Office within the Quantum Information National Laboratory of Hungary.