

FALCON

Fault tolerant control of warm ions

Programm / Ausschreibung	DST 24/26, Internationale DST 2025, QuantERA Call 2025	Status	laufend
Projektstart	01.09.2026	Projektende	31.08.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 497.258		
Keywords	quantum computing, fault-tolerance		

Projektbeschreibung

Dieses Projekt überwindet einen zentralen Engpass der Quanteninformatik mit gefangenen Ionen: die Notwendigkeit häufiger, zeitaufwendiger Nachkühlung zur Aufrechterhaltung hochpräziser Verschränkungsgatter. Anstatt auf Bewegungsgrundzustände zu bestehen, entwickeln und demonstrieren wir einen hochpräzisen, thermisch widerstandsfähigen universellen Gattersatz, der auf einer neuartigen Version des Lichtverschiebungsgatters (LS-Gatter) basiert, das zuverlässig auf warmen, multimodalen Ionenketten funktioniert.

Unsere Kernidee besteht darin, die Robustheit direkt in die Verschränkungswechselwirkungen einzubetten. Aufbauend auf optimal gesteuerten Quantengattern (einschließlich geformter Impulse, zusammengesetzter Impulse und dynamischer Entkopplung) entwerfen wir mehrtonige, zeitmodulierte, zusammengesetzte LS-Gatter, die (i) Fehler erster Ordnung aufgrund von Amplitudenfehlkalibrierung, Verstimmung, Modenfrequenzdrift und Übersprechen ausgleichen und (ii) eine deutlich erhöhte Bewegungsanregung tolerieren. Analytische Designregeln und Fehlergrenzen werden mit numerischen Optimierungspipelines und integrierten Geräuschmodellen auf Geräteebene kombiniert. Die von SOF und ICL entwickelten Gatterfamilien und Steuerungsstrategien werden auf modernsten Ionenfallenplattformen an der UIBK und auf einem kommerziellen System von AQT, unserem Industriepartner, implementiert und getestet. Wir streben Zwei-Qubit-Gatterfehler von maximal 2×10^{-5} bei Ionenketten von ≥ 10 Ionen an, mit einer mindestens fünffachen Reduzierung des Arbeitszyklus und einer klaren Perspektive auf eine ~ 30 -fache Beschleunigung der Lösungszeit durch den Wegfall wiederholter Nachkühlschritte.

Durch die Bereitstellung einer validierten, wärmetoleranten LS-Gate-Toolbox, die in einen kommerziellen Ionenfallen-Stack integriert ist, treibt das Projekt die Ziele von QuantERA im Bereich der angewandten Quantenwissenschaft direkt voran. Es verwandelt Ionenfallen-Geräte von „hochpräzisen, aber kühlungsbegrenzten“ Prototypen in schnelle, zuverlässige Prozessoren, stärkt die europäischen Industriekapazitäten im Bereich der Quantenhardware und bildet eine neue Generation von Forschern an der Schnittstelle von AMO-Physik, Quantenkontrolle und Elektronik aus.

Abstract

This project overcomes a key bottleneck of trapped-ion quantum computing: the need for frequent, time-consuming recooling to maintain high-fidelity entangling gates. Instead of insisting on motional ground states, we develop and demonstrate a high-fidelity, thermally resilient universal gate-set based on a novel version of the light-shift (LS) gate that operates reliably on warm, multi-mode ion strings.

Our core idea is to embed robustness directly into the entangling interactions. Building on and extending optimally controlled quantum gates (including shaped pulses, composite pulses and dynamical decoupling), we design multi-tone, time-modulated, composite LS gates that (i) cancel leading-order errors from amplitude miscalibration, detuning, mode-frequency drift and cross-talk, and (ii) tolerate significantly elevated motional excitation. Analytic design rules and error bounds are combined with numerical optimisation pipelines and integrated device-level noise models. The gate families and control strategies developed by SOF and ICL will be implemented and benchmarked on state-of-the-art trapped-ion platforms at UIBK and on a commercial system from AQT, our industrial partner. We target two-qubit gate errors at or below 2×10^{-5} on ion strings of ≥ 10 ions, with at least a five-fold reduction in duty cycle and a clear path to $\sim 30\times$ speed-up in time-to-solution by eliminating repeated recooling steps.

By delivering a validated, warm-tolerant LS gate toolbox integrated into a commercial trapped-ion stack, the project directly advances the Applied Quantum Science goals of QuantERA. It transforms trapped-ion devices from “high-fidelity but cooling-limited” prototypes into fast, reliable processors, strengthens European industrial capabilities in quantum hardware, and trains a new generation of researchers at the interface of AMO physics, quantum control and electronics.

Projektkoordinator

- Universität Innsbruck

Projektpartner

- Alpine Quantum Technologies GmbH