

LOOT

Quantum limits of precision in stochastic timekeeping devices

Programm / Ausschreibung	Seal of Excellence, Seal of Excellence Ausschreibung 2026	Status	laufend
Projektstart	01.10.2026	Projektende	31.03.2028
Zeitraum	2026 - 2028	Projektlaufzeit	18 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 150.000		
Keywords	Clocks, Quantum Technology		

Projektbeschreibung

Zeitmessgeräte sind in vielen Wissenschaftsbereichen und im Alltag allgegenwärtig. Für die höchste Präzision heutiger Technologien sind Schwingungen des elektromagnetischen Feldes, referenziert an hochempfindlichen Anregungsniveaus von Atomen, die dominante Methode: Die einfache Standardisierung aufgrund der physikalischen Identität von Atomen im gesamten Universum ermöglicht es solchen Geräten, die höchstmögliche Langzeitstabilität zu erreichen, nachdem durch ausreichende Signalmittelung Fluktuationen eliminiert wurden. Dies begrenzt die momentane Präzision auf sehr kurzen Zeitskalen. Wir untersuchen hier eine Alternative: Uhren, die durch quantenstochastische Prozesse in Transportumgebungen angetrieben werden, wobei jedes transportierte Teilchen einen „Tick“ definiert. Quantenvielteilcheneffekte induzieren durch intrinsische zeitliche Autokorrektur eine Selbstorganisation in hochregelmäßige Tickmuster – mit charakteristischen Zeitskalen, die weit kürzer sind als die aktiven elektronischen Rückkopplungsschleifen, welche Atomuhren begrenzen. Aufbauend auf diesem Mechanismus, der im Rahmen unseres ERC-Grants CocoQuest entdeckt wurde, werden wir seine Präzisionsgrenzen auf führenden Quantentechnologieplattformen bewerten und Wege für kurzfristige experimentelle Realisierungen aufzeigen.

Abstract

Timekeeping devices are of ubiquitous utility across a large range of sciences and everyday activities. For the ultimate precision limits of today's technologies, oscillations of the electromagnetic field, conditioned on highly sensitive excitation levels of atoms are the method of choice: easy standardisation due to physical identity of atoms across the Universe means such devices reach the highest possible precision, after sufficient signal averaging to remove fluctuations. This inherently limits instantaneous precision at very short timescales. Here, we explore an alternative: clocks driven by quantum stochastic processes in transport settings, where each transported particle defines a "tick." Quantum many-body effects induce self-organization into highly regular tick patterns

through

intrinsic temporal autocorrection—with characteristic timescales far shorter than the active electronic feedback loops that limit

atomic clocks. Building on this mechanism discovered during our ERC grant CocoQuest, we will assess its precision limits across

leading quantum technology platforms and identify pathways for near-term experimental realizations.

Projektpartner

- Technische Universität Wien