



Zentraler Ausschnitt des optischen Aufbaus (links) und Fluoreszenzaufnahme eines defektfrei zusammengesetzten Quantensystems aus 111 einzelnen Rubidiumatomen (rechts)

Optische Plattform für Quantencomputer

Die Implementierung neuartiger Quantentechnologien erfordert die skalierbare Bereitstellung von Quantensystemen. Mit diesem Ziel wurde eine mikrooptische Plattform entwickelt, die defektfreie Strukturen aus bis zu 111 einzelnen Rubidiumatomen liefert.

Optisch kontrollierte Quantensysteme aus einzelnen Atomen sind eine vielversprechende Technologie mit breitem Anwendungsfeld. Eine Forschungsgruppe um Professor Gerhard Birkel an der Technischen Universität Darmstadt hat sich die Entwicklung einer skalierbaren experimentellen Plattform für die Quantentechnologie zum Ziel gesetzt. Nun konnte sie defektfrei aufgebaute Quantenregister aus mehr als 100 Einzelatomen verwirklichen.

Maßgeblich für den Fortschritt ist die parallelisierte Vielfachrealisierung von Atomfallen mithilfe eines Mikrolinsenregisters. Der Fokus jeder Mikrolinse bildet eine sogenannte Dipolfalle, in der lasergekühlte Rubidiumatome festgehalten werden können. Die vergleichsweise einfache, direkte Erzeugung jeder einzelnen der so realisierten Atomfallen durch die Beleuchtung einer zugeordneten Mikrolinse mit Laserlicht reduziert die Komplexität und ermöglicht die effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Laserleistung. Gleichzeitig ist die Anzahl der Mikrolinsen – und damit die der Atomfallen – effizient skalierbar. Kommerziell verfügbare, lithografisch gefertigte Mikrolinsenregister können aus mehreren Millionen Einzellinsen bestehen. Deren Anordnung spiegelt sich im zweidimensionalen Register aus Atomfallen wider,

wobei periodische Geometrien mit quadratischem oder hexagonalem Raster, aber auch frei definierbare Anordnungen zum Einsatz kommen können.

Das aktuelle System basiert auf einem Ausschnitt von 19×19 Mikrofällen eines 2500-Fallen-Registers mit quadratischem Raster von $10,3 \mu\text{m}$ Fallenabstand und $1,45 \mu\text{m}$ Strahltaile. Die Fallen werden aus einer sogenannten magneto-optischen Falle geladen, die lasergekühlte Rubidiumatome nahe am absoluten Temperaturnullpunkt bereitstellt. Dabei ist der Einsatz der Kollisionsblockade entscheidend, die ein Register mit zufällig verteilten einzelnen Atomen entstehen lässt, die etwa 50% der Fallen besetzen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die angestrebten Quantenanwendungen ist jedoch eine wohldefinierte, vollständig aufgebaute Einzelatom-Architektur. Zu diesem Zweck nutzen die Forscher eine zusätzliche bewegliche optische Falle (optische Pinzette), mithilfe derer Atome im Register umsortiert werden können: Aus einem Reservoir von ungeordneten Atomen wird die gewünschte Zielstruktur aufgefüllt, bis ein defektfreies Quantensystem entsteht. Der Atomtransport geschieht automatisiert und anhand eines akustooptischen Deflektors auf einer Zeitskala von Millisekunden.

Neben der Größe der realisierten Systeme mit bis zu 111 Atomen ermöglicht die hohe Anzahl von circa 191 Reservoiratomen eine Steigerung der Datenrate durch die wiederholte Korrektur von auftretenden Defekten und durch die Realisierung verschiedener Geometrien innerhalb eines Experimentierzyklus.

Das Potenzial dieser mikrooptischen Quantenplattform soll durch Optimierung weiter gesteigert werden – zeitnah sind 1000 Atome angestrebt. Darüber hinaus ist der Einsatz der beweglichen optischen Pinzette nicht nur auf den Aufbau der Systeme beschränkt, sondern bietet auch die Möglichkeit der Propagation von verschränkten Quantenzuständen durch den Transport verschränkter Einzelatomkonstituenten.

Die Studie ist im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 1929 GiRyd entstanden. mn

Originalveröffentlichung:

[D. Ohl de Mello, D. Schäffner, J. Werkmann, T. Preuschoff, L. Kohfahl, M. Schlosser, G. Birkel, Defect-Free Assembly of 2D Clusters of More Than 100 Single-Atom Quantum Systems, *Phys. Rev. Lett.* 122 (2019), DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.203601]

www.tu-darmstadt.de