

Garching, 12. Dezember 2017

Presse-Information

Lange Speicherung photonischer Quantenbits für globale Teleportation

*Wissenschaftler am MPQ erreichen mit neuer Speichertechnik für
photonische Quantenbits Kohärenzzeiten, welche die weltweite
Teleportation von Quanteninformation ermöglichen.*

Bei der Erforschung von Quantenspeichern zur Realisierung globaler Quantennetzwerke ist Forschern der Abteilung Quantendynamik von Prof. Gerhard Rempe am Max-Planck-Institut für Quantenoptik ein wesentlicher Durchbruch gelungen: auf einem einzelnen, in einem optischen Resonator gefangenen Atom konnten sie ein photonisches Quantenbit über ein Zeitraum von mehr als 100 Millisekunden speichern (*Nature Photonics*, 11. Dezember 2017). Speicherzeiten dieser Größenordnung sind Voraussetzung für den Aufbau eines Quantennetzwerkes, in dem die Quanteninformation durch Teleportation auf die diversen Netzknoten verteilt wird. „Die von uns erzielten Kohärenzzeiten bedeuten eine Verbesserung um zwei Größenordnungen bezogen auf den gegenwärtigen Stand der Technik“, betont Prof. Rempe.

Licht ist ein idealer Träger für Quanteninformationen, doch beim direkten Transport über große Distanzen gehen wertvolle Quantenbits verloren. Einen möglichen Ausweg bietet hier die Teleportation des Quantenbits zwischen den Endknoten eines Quantennetzwerkes. Hierfür wird zunächst „Verschränkung“ zwischen den Knoten erzeugt; mit Hilfe dieser „spukhafte Fernwechselwirkung“ wird das Quantenbit bei einer geeigneten Messung auf dem Senderknoten „instantan“, d.h., mit sofortiger Wirkung, zum Empfängerknoten übertragen. Dort kann es allerdings „verdreht“ ankommen, so dass es erst entsprechend zurückgedreht werden muss. Die dafür benötigte Information muss vom Senderknoten zum Empfänger auf klassischem Weg geschickt werden. Es dauert also eine gewisse Zeit, bis sie den Empfänger erreicht hat, und solange muss das Quantenbit dort gespeichert werden. Für zwei maximal weit auseinanderliegende Netzknoten auf der Erde entspricht das einer Zeitspanne von mindestens 66 Millisekunden.

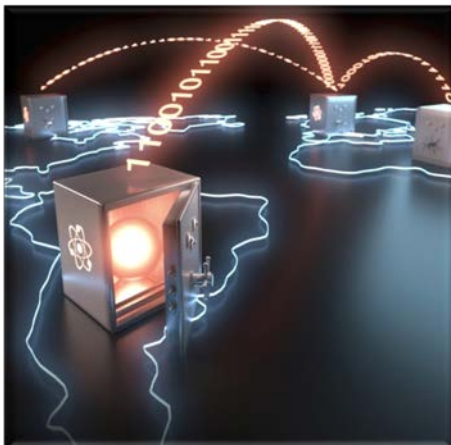


Abbildung: Künstlerische Darstellung der globalen Teleportation von Quantenbits. (Grafik: Christoph Hohmann, Nanosystems Initiative Munich (NIM))

Bereits vor ein paar Jahren hat die Gruppe von Prof. Rempe eine Technik entwickelt und erfolgreich erprobt, die in einem Photon kodierte Quanteninformation auf einem einzelnen Atom zu speichern. Dazu wird ein Rubidiumatom im Zentrum eines von zwei Spiegeln höchster Güte (Abstand 500 Mikrometer) gebildeten optischen Resonators plaziert und von zwei stehenden Lichtwellen –

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Telefon: 089 / 32 905-213

E-Mail:
olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching b. München

Telefon: 089 / 32 905-0
Telefax: 089 / 32 905-200

parallel und senkrecht zur Resonatorachse – festgehalten. In diesen Resonator schickt man einzelne Lichtquanten, auf denen Quanteninformation in Form einer kohärenten Überlagerung von rechts- und linksdrehendem Polarisationszustand kodiert ist. Durch die zig-tausendfache Reflexion eines Photons im Resonator erhöht sich dessen Lichtfeld so stark, dass es mit dem Atom effektiv in Wechselwirkung treten kann.

Zeitgleich mit der Ankunft des Photons im Resonator wird ein Laserkontrollpuls geschaltet, der die Übertragung und Speicherung der photonischen Quanteninformation in Gang setzt. Dabei werden die beiden Polarisationszustände des Photons auf zwei bestimmte Energieniveaus im Atom abgebildet. Die Frage ist nun, wie lange die kohärente Superposition der atomaren Zustände erhalten bleibt. Dies gelang in den früheren Experimenten nur für die Dauer von einigen hundert Mikrosekunden.

„Unser generelles Problem bei der Speicherung von Quanteninformation ist die sogenannte Dephasierung“, erklärt Stefan Langenfeld, Doktorand am Experiment. „Wesentlich für Quanteninformation ist die Phasenbeziehung der Wellenfunktionen der beiden Energiezustände, die kohärent überlagert sind. In der Praxis geht die Phasenbeziehung der atomaren Superposition im Laufe der Zeit verloren, vor allem aufgrund von Wechselwirkung mit magnetischen Feldfluktuationen.“

Deshalb ergreifen die Wissenschaftler in ihrem neuen Experiment eine zusätzliche Maßnahme: kaum, dass die Übertragung der Information von Lichtquant auf Atom stattgefunden hat, wird mit einem weiteren Laserstrahl im Atom ein Raman-Übergang induziert, der die Population eines der Energieniveaus kohärent auf ein anderes überträgt. Die resultierende Konfiguration ist etwa 500mal unempfindlicher gegenüber Magnetfeldfluktuationen.

Zum Auslesen des Quantenbits wird der Raman-Übergang rückwärts durchlaufen, und das photonische Quantenbit wird in Bezug auf seine Eigenschaften genauestens untersucht. Die Messungen ergeben eine Übereinstimmung von ca. 90 % mit dem ursprünglichen Photon, und das für Speicherzeiten von 10 Millisekunden. Allein durch die vorübergehende Verschiebung der atomaren Population gelingt also eine mehr als 10fache Steigerung der Kohärenzzeit. Einen weiteren Faktor 10 schaffen die Wissenschaftler mit der sogenannten „Spin-Echo“-Technik. Dabei wird nach genau der Hälfte der Speicherzeit die Population der beiden atomaren Energieniveaus ausgetauscht. „Wir können damit die Quantennatur des gespeicherten Bits über eine Zeitspanne von mehr als 100 Millisekunden lang erhalten“, betont Matthias Körber, Doktorand am Experiment. „Die Vision eines weltumspannenden Quantennetzwerkes wird die abhörsichere und verlustfreie Übertragung von Quanteninformationen ermöglichen. Auch wenn bis zu ihrer tatsächlichen Realisierung noch viel Forschungsarbeit geleistet werden muss, sind langlebige Quantenspeicher doch eine der Kerntechnologien, und deren aktueller Fortschritt bringt uns hoffentlich dem Ziel ein signifikantes Stück näher.“ *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

M. Körber, O. Morin, S. Langenfeld, A. Neuzner, S. Ritter, G. Rempe

Decoherence-protected memory for a single-photon qubit

Nature Photonics, Advance Online Publication, 11. Dezember 2017, DOI: 10.1038/s41566-017-0050-y

Kontakt:

Prof. Dr. Gerhard Rempe

Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 - 701
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de

Matthias Körber

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 - 729
E-Mail: matthias.koerber@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

MPQ, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 - 213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de