

Garching, 01.05.2011

Presse-Information

Informationsaustausch am Quantenlimit

Ein einzelnes Photon überträgt sein Geheimnis auf ein einzelnes Atom.

Forschern um Prof. Gerhard Rempe, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik und Leiter der Abteilung Quantendynamik, ist es jetzt erstmals gelungen, die in einem einzelnen Photon kodierte Quanteninformation auf ein einzelnes Atom zu übertragen, dort für eine gewisse Zeit abzuspeichern und anschließend wieder auszulesen (Nature, Advance Online Publication, DOI: 10.1038/nature09997, Mai 2011). „Damit verfügen wir über einen universellen Knoten für ein Quantennetzwerk“, begeistert sich Gerhard Rempe. Das Experiment öffnet neue Perspektiven für die Realisierung skalierbarer Quantennetzwerke, in denen Quanteninformation mittels Photonen über weite Strecken kommuniziert und zwischen mehreren Knoten verteilt wird.

Aufgrund der ständig fortschreitenden Miniaturisierung der für die Informationsspeicherung genutzten Strukturen werden mittlerweile Grenzen erreicht, an denen nicht mehr die Gesetze der klassischen Physik, sondern die der Quantenmechanik gelten. Der kleinste denkbare Speicherbaustein besteht nur noch aus einem einzelnen Atom, während die kleinste mögliche Einheit für die optische Datenkommunikation ein einzelnes Lichtquant (Photon) ist.

Darüber hinaus lassen sich die speziellen Eigenschaften der Quantenteilchen für neuartige Anwendungen nutzen, beispielsweise für die abhörsichere Datenübertragung (Quantenkryptographie). Dies erfordert allerdings die Entwicklung neuer Konzepte für die Übermittlung und Verarbeitung von Informationen. Ein erfolgversprechendes Konzept ist ein Netz aus miteinander kommunizierenden Quantenspeichern. Hier muss zum einen die in einem stationären Quantensystem enthaltene Quanteninformation auf ein Photon übertragen werden. Solch einen Sender für Lichtquanten basierend auf einem einzelnen Atom hat die Abteilung Quantendynamik bereits vor einigen Jahren realisiert. Zum anderen muss das photonische Quantenbit wieder in ein stationäres Speicherelement eingeschrieben und von dort möglichst unverfälscht wieder ausgelesen werden. Diesen Anforderungen genügten bisher nur Speicher auf Basis atomarer Ensembles aus mehreren tausend Teilchen, auf welche die Quanteninformation als kollektive Anregung abgebildet wird. Vorteilhafter ist es jedoch, die Information direkt zwischen einzelnen Quantenteilchen aus Licht bzw. Materie auszutauschen, die sich gezielt adressieren und manipulieren lassen. Dies würde praktische Anwendungen, z. B. in Quantencomputern, erleichtern.

Im vorliegenden Experiment wird erstmals ein einzelnes Rubidiumatom als Quantenspeicher genutzt. Um seine naturgemäß schwache Wechselwirkung mit einem einzelnen Photon zu erhöhen, fangen die Garchinger Physiker das Atom in einem aus zwei hochreflektierenden Spiegeln gebildeten optischen Resonator. Dort wird es mit Laserstrahlen festgehalten, während das einlaufende Photon etwa zwanzigtausendmal zwischen den Spiegeln hin und her läuft. Zunächst soll die in dem Lichtquant gespeicherte Quanteninformation auf das Atom übertragen werden. „Im Unterschied zu einem klassischen Bit, das eindeutig einen von zwei Werten, z.B. Null oder Eins repräsentiert, handelt es sich bei Quantenbits stets um eine kohärente Überlagerung aus zwei Quantenzuständen“, erklärt Dr. Holger Specht, Wissenschaftler am Experiment. „Dementsprechend kodieren wir

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit,
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0
Fax: +49(0)8932 905-200

das Photon durch eine kohärente Überlagerung aus zwei Polarisationszuständen, z.B. rechts- und linkszirkularer Polarisation.“



Abbildung:

Mit schwachen Lichtpulsen wird die in einzelnen Photonen gespeicherte Quanteninformation auf ein einzelnes Rubidiumatom übertragen, gespeichert und von dort wieder ausgelesen. Bild: Andreas Neuzner

Lichtpulse aus einem Steuerlaser initiieren die Übertragung der optischen Quanteninformation: das Atom geht in einen Zustand über, der – und dies ist der Trick – aus einer kohärenten Überlagerung zweier Unterniveaus besteht. Die relativen Anteile der beiden Unterzustände entsprechen dabei den jeweiligen Anteilen der beiden Polarisationszustände des Eingangsphotons. Auch das Auslesen des Photons erfolgt mithilfe des Steuerlasers. Nun läuft der Prozess in umgekehrter Reihenfolge ab und das photonische Quantenbit wird wieder freigesetzt. Die Effizienz dabei beträgt rund 10 Prozent. Mehrere Versuchsreihen, bei denen die Polarisationszustände des Photons variiert wurden, ergaben, dass die Übereinstimmung mit dem Eingangsphoton immer bei über 90 Prozent liegt. „Das ursprüngliche Lichtquant wird mit unserem Verfahren weit besser reproduziert als es mit klassischen Messverfahren je möglich wäre“, erläutert Christian Nölleke, Doktorand am Experiment.

Sowohl in der Effizienz als auch in der Reproduzierbarkeit der Quanteninformation liegt das System gleichauf mit den besten Quantenspeichern weltweit, obschon die „Hardware“ nur aus einem einzigen Atom besteht. Gleichzeitig wird die fragile Quanteninformation fast 200 Mikrosekunden lang gespeichert. Das übertrifft alle bisher mit optischen Quantenspeichern erreichten Werte. „Sowohl Reproduzierbarkeit als auch Speicherzeiten lassen sich durch eine Optimierung der experimentellen Randbedingungen sogar noch deutlich steigern“, betont Dr. Stephan Ritter, Wissenschaftler in der Abteilung Quantendynamik.

Im nächsten Schritt wollen die Wissenschaftler mit diesem Verfahren ein elementares Quantennetzwerk aus zwei miteinander kommunizierenden Knoten realisieren. Des Weiteren eignet sich der hier demonstrierte Speicherbaustein aufgrund seiner universellen Eigenschaften auch für die Entwicklung optischer Quantenrepeater und Quantengatter, die für die Übertragung von Quanteninformationen über große Distanzen und die Realisierung eines Quantencomputers benötigt werden. [OM]

Originalveröffentlichung:

Holger P. Specht, Christian Nölleke, Andreas Reiserer, Manuel Uphoff, Eden Figueroa, Stephan Ritter, and Gerhard Rempe

A Single-Atom Quantum Memory

Nature, Advance Online Publication, DOI: 10.1038/nature09997, Mai 2011

Kontakt:

Prof. Dr. Gerhard Rempe

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Tel.: +49 - 89 / 32905 - 701
Fax: +49 - 89 / 32905 - 311
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de

Dr. Stephan Ritter

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: +49 - 89 / 32905 - 728
E-Mail: stephan.ritter@mpq.mpg.de

Dipl. Phys. Christian Nölleke

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: +49 - 89 / 32905 - 246
E-Mail: christian.noelleke@mpq.mpg.de