

Quantenspeicher für Licht

Mit der Realisierung eines Quantenspeichers für Licht hat ein deutsch-dänisches Wissenschaftlerteam die Möglichkeit einer Quantenkommunikation über Entfernungen weit über 100 km aufgezeigt.

In der vertrauten, klassischen Welt können Informationen von einem System in ein anderes kopiert werden. Dies geschieht jeden Tag beispielsweise beim Kopieren von Dateien in einem Computer oder beim Besprechen eines Bandes mit einer Nachricht. In der mikroskopischen Welt der Quanten ist es dagegen unmöglich, Quanteninformationen zu kopieren. Eine Nachricht kann nur dann übertragen werden, wenn nicht die geringste Spur am Informationsursprung hinterlassen wird. Die Handhabung der Quanteninformation stellt heute eine der ganz großen Herausforderungen an Physiker und Informatiker dar, da sie die Grundlage für Quantenkommunikation und Quantenrechnung bilden, die die Welt der Information revolutionieren könnten. In dem Nature-Artikel "Bd. 432, S. 482, 2004" beschreiben Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching und dem Niels Bohr Institut in Kopenhagen ein Experiment, bei dem Quantenzustände von Lichtpulsen auf Atome übertragen werden.

Im Experiment wird ein Lichtpuls durch Cäsiumatomen geschickt, die in einer transparenten Zelle bei Raumtemperatur eingeschlossen sind. Der Quantenzustand des Lichtpulses wird durch seine zufällige Polarisation beschrieben. Die Wechselwirkung zwischen Atomen und Licht hat einen "verschränkten" Zustand zur Folge, durch den die beiden Systeme in Verbindung bleiben. Der Lichtpuls wird nach dem Verlassen der Atome vermessen. Die Verschränkung von Licht und Atomen und der Messvorgang am Licht beeinflussen den Quantenzustand der Atome derart, dass sie die Eigenschaften des eingestrahlichten Lichtes übernehmen. Das heißt, der Polarisationszustand des Photons wird auf das Atom übertragen. Die „Fernwirkung zweier Systeme“, bei dem der Messvorgang an einem System den Zustand des anderen Systems beeinflusst, ist eine der erstaunlichsten Erscheinungsformen der Quantenmechanik. Sie ist die Grundlage für zukünftige Anwendungen wie die Quantenkryptographie oder Phänomene wie die Teleportation.

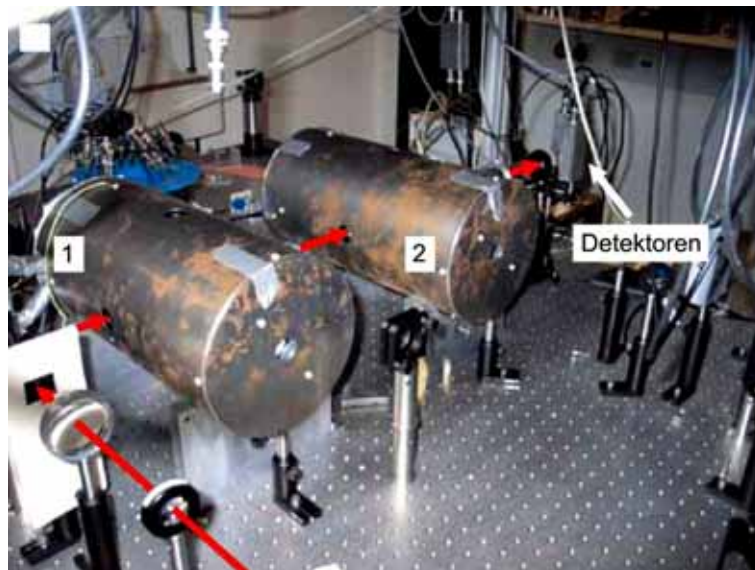


Abbildung:

Experimenteller Aufbau: Die atomaren Speichereinheiten bestehen aus 2 Cäsiumzellen, die sich in den magnetischen Schutzbehältern (1 und 2) befinden. Der Weg der Laserpulse ist durch Pfeile dargestellt.

Bild: Max-Planck-Institut für Quantenoptik / Niels Bohr Institut Kopenhagen

Um zu prüfen, ob der Polarisationstransfer tatsächlich stattgefunden hat, wird zum Schluss die Polarisation der Atome gemessen und mit dem Original des Lichtes verglichen. Im Experiment stimmen die Polarisierungen bis zu 70% überein. Die Hauptursache für die Ungenauigkeit ist die spontane Emission, die dadurch auftritt, dass Atome die Photonen absorbieren und diese nicht in Richtung Photodetektor emittieren.

Für die Wissenschaftler war die Ergebnisbewertung von entscheidender Bedeutung: Ist die 70 prozentige Übereinstimmung als Erfolg zu werten oder kommt man zum gleichen Ergebnis, wenn zunächst der Polarisationsgrad des Photons bestimmt wird, um danach den Atomzustand einzustellen? Die Antwort auf die zweite Frage ist nein. Wegen der prinzipiellen Eigenschaften der Quantenmechanik kann der Polarisationszustand eines Laserpulses nicht vollständig bestimmt werden, da es die Heisenberg'sche Unschärferelation nicht erlaubt, die ganze Polarisation exakt zu messen. Tatsächlich konnten einige der Autoren zusammen mit K. Hammerer und M. Wolf (vom Max-Planck Institut für Quantenoptik) kürzlich nachweisen, dass die letztgenannte Methode bestenfalls 50% ergeben kann. Damit belegen die theoretischen Prüfungen, dass die Ergebnisse des durchgeführten Experiments tatsächlich einen erfolgreichen Polarisationstransfer dokumentieren, im Gegensatz zum Experiment ohne die Bildung des verschränkten Zustandes.

Die beschriebenen Untersuchungen eröffnen den Weg für weitere Experimente, bei denen eine im Licht vorhandene Information auf Atome und wieder auf das Licht zurück abgebildet wird. Damit können Lichtzustände nicht nur in einem Atomverband gespeichert, sondern auch abfragt werden. Mit dieser Möglichkeit ist die notwendige Voraussetzung für den Bau eines "Quanten-Repeater" geschaffen. Diese Quanten-Übertragungseinrichtung wird in Zukunft Quantenkommunikation über Entfernungen von weit über 100 km möglich machen, die bis heute nicht zu erreichen waren.

Originalveröffentlichung:

B. Julsgaard, J. Sherson, J.I. Cirac, J. Fiurášek, und E.S. Polzik
Experimental demonstration of quantum memory for light
Nature **432**, 482 (2004)

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Prof. J. Ignacio Cirac
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Strasse 1
D-85748 Garching, Germany
Tel. : 089 32905-705
Fax: 089 32905-336
E-mail: Ignacio.Cirac@mpq.mpg.de