

Schalten mit einzelnen Photonen

Wissenschaftler am MPQ demonstrieren erstmals Schalteffekte mit einzelnen Lichtquanten.

Die Idee eines rein optischen Computers, in dem die Daten ausschließlich mit Licht verarbeitet werden, ist nicht neu. Die dafür benötigten optischen Transistoren gibt es seit einigen Jahren, allzu große Bedeutung in der Computerindustrie haben sie bislang allerdings noch nicht. Das könnte sich bald ändern, da sich die Packungsdichte der elektronischen Bauelemente und die Taktfrequenzen für rein elektronische Rechner kaum noch steigern lassen. Optische Techniken versprechen einerseits hohe Bandbreiten, andererseits auch einen niedrigen Energieverbrauch, insbesondere, wenn für den Schalteffekt nur noch sehr schwache Lichtpulse benötigt werden. Die ultimative Grenze liegt bei einem Gatter-Puls, der ein einziges Photon enthält. Was im Bereich der Utopie zu liegen scheint, hat nun ein Team um Prof. Gerhard Rempe aus der Abteilung Quantendynamik vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching im Experiment realisiert. Den Wissenschaftlern gelang es, ein Medium – eine Wolke aus rund 200 000 ultrakalten Atomen – mit einem einzigen Lichtquant von durchlässig auf undurchlässig zu schalten (DOI: [10.1103/PhysRevLett.112.073901](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.073901), 18. Februar 2014). So ein „Ein-Photonen-Schalter“ könnte die Vorstufe zu einem Quantenlogikgatter bilden und somit in der Quanteninformationsverarbeitung eine Anwendung finden.

Im Experiment wird zunächst eine Wolke von rund 200 000 Rubidiumatomen auf eine Temperatur von 0,43 Mikrokkelvin (das ist dicht oberhalb des absoluten Temperaturnullpunktes, Null Kelvin entspricht minus 273 Grad Celsius) gekühlt und in einer optischen Dipolfalle gefangen, die durch die kreuzweise Überlagerung zweier Laserstrahlen entsteht. Die atomare Wolke wird mit zwei Lichtpulsen bestrahlt, die im Abstand von 0,15 Mikrosekunden aufeinander folgen. Die Lichtpulse sind extrem schwach und enthalten im Mittel weniger als ein Photon. Der erste Puls – der sogenannte Gatterpuls – wird von der Wolke absorbiert, genauer gesagt, in Form einer atomaren Anregung gespeichert, da er ein Atom in der Wolke in einen hochangeregten Rydberg-Zustand versetzt. Durch die Gegenwart dieses Rydberg-Atoms verschieben sich die entsprechenden Energieniveaus der anderen Atome. Die Wellenlänge des zweiten Photons – des sogenannten Target-Pulses – passt dann nicht mehr, und sein Durchgang wird blockiert. Kurz gesagt, bildet die atomare Wolke das Medium, das durch den Einfang eines einzelnen Photons von transparent auf intransparent schaltet. Da der Rydbergzustand mit 60 Mikrosekunden relativ langlebig ist, lässt sich die Speicherung entsprechend lange aufrecht erhalten.

Was im Prinzip so einfach klingt, erfordert eine ausgetüftelte Kombination von vielen experimentellen Maßnahmen. So sorgt ein Steuerlaser dafür, dass die Atomwolke für die Lichtpulse durchlässig ist. „Für die Speicherung des ersten Photons benutzen wir die sogenannte *Slow-Light-Technik*“, erklärt Dr. Stephan Dürr, Leiter des Experimentes. „Das Photon polarisiert auf seinem Weg die ihn umgebende atomare Wolke und wird dabei immer langsamer – es wird auf eine Geschwindigkeit von etwa 1000 km/h abgebremst. Dabei verkürzt sich der

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-133
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: 089 / 32 905-0
Fax: 089 / 32 905-200

Lichtpuls auf einige zehn Mikrometer, sodass er sich in einem bestimmten Zeitfenster komplett in der Wolke befindet. Wenn der Steuerlaser in diesem Zeitraum ausgeschaltet wird, bleibt der Puls stehen und wird vollständig in eine atomare Anregung umgewandelt.“

Die Polarisation des zweiten Lichtpulses, des Target-Pulses, wird so eingestellt, dass dieser nicht an die zuvor abgespeicherte atomare Anregung koppeln kann. So wird die Freisetzung des ersten gespeicherten Lichtpulses verhindert. „Wenn danach der Steuerlaser wieder eingeschaltet wird, kann ein Lichtpuls der richtigen Polarisation das Gatter-Photon wieder auslesen. Diesen Zyklus wiederholen wir alle 100 Mikrosekunden“, führt Simon Baur aus, der an diesem Experiment promoviert.

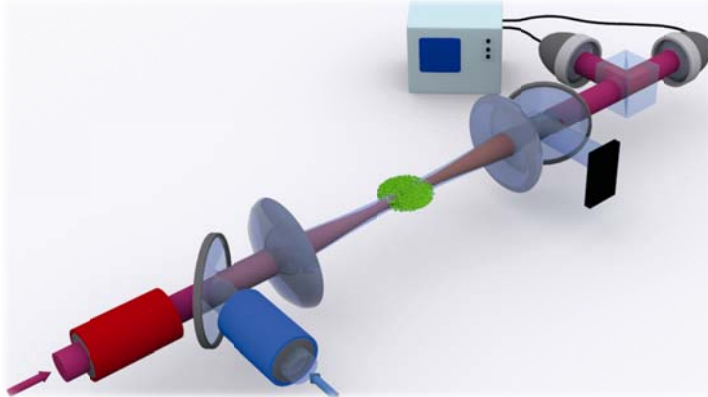


Abbildung: Skizze des experimentellen Aufbaus: eine atomare Wolke (grün) wird in einer optischen Dipolfalle festgehalten und mit Lichtpulsen aus einem Kontroll- (blau) und einem Signallaser (rot) bestrahlt. Bild: MPQ, Abt. Quantendynamik

In umfangreichen Messreihen wiesen die Wissenschaftler nach, dass die Zahl der durchgelassenen Target-Photonen um einen Faktor 20 reduziert war, wenn in dem Medium zuvor der Gatter-Puls abgespeichert worden war. „Unser Experiment öffnet eine neue Perspektive für eine Reihe von Anwendungen in der Quanteninformationstechnologie“, resümiert Prof. Gerhard Rempe. „Mit einem Einzel-Photonen-Schalter ließe sich z.B. signalisieren, dass Quanteninformation erfolgreich abgespeichert wurde. Die Speicherzeiten könnten damit verbessert werden. Und, last but not least, stellen unsere Schalter eine Vorstufe für Quantenlogikgatter dar, die bei der Verarbeitung von Quanteninformation die wesentliche Schlüsselrolle spielen.“ *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

Simon Baur, Daniel Tiarks, Gerhard Rempe and Stephan Dürr

Single-Photon Switch Based on Rydberg Blockade

Physical Review Letters, DOI: 10.1103/PhysRevLett. 112.073901, 18. Februar 2014

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 /Fax: -311
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de

Dr. Stephan Dürr

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -291 /Fax: -311
E-Mail: stephan.duerr@mpq.mpg.de

Dipl. Phys. Simon Baur

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -245 /Fax: -311
E-Mail: simon.baur@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
85748 Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de