

Ein einzelnes Atom vermittelt starke Wechselwirkungen zwischen Lichtquanten

Physiker am MPQ in Garching beobachten in einem Atom-Resonator-System starke Wechselwirkungen zwischen verschiedenfarbigen Photonen.

Wer wäre nicht gerne im Besitz eines Lichtschwerts? Diese aus der Science-Fiction stammende Idee mag uns geradezu begeistern, doch ihre technische Umsetzung ist noch in weiter Ferne. Denn Lichtquanten – sogenannte Photonen – treten nicht miteinander in Wechselwirkung. Schon im Alltag machen wir die Erfahrung, dass sich zwei Lichtstrahlen ungehindert kreuzen können, egal, ob es sich bei ihren Quellen um traditionelle Leuchten oder um Laser handelt. Eben diese Eigenschaft macht Photonen zu geeigneten Trägern von Quanteninformation für Quantenkommunikation und Quantencomputer. Für die Verarbeitung von Quanteninformation sind allerdings kontrollierte Wechselwirkungen zwischen den Photonen an sogenannten Quantenknoten erforderlich, welche die Rechenschritte ausführen.



Doktorand Nicolas Tolazzi vor dem Experiment, in der Hand ein Spielzeug-Lichtschwert. Foto: MPQ, Abt. Quantendynamik

Physiker der Abteilung Quantendynamik am Max-Planck-Institut für Quantenoptik haben jetzt diese kontrollierte Wechselwirkung zwischen verschiedenfarbigen Lichtstrahlen auf dem Level einzelner Photonen nachgewiesen. Mit Hilfe eines in einem optischen Resonator gespeicherten Atoms beobachteten sie zwei Bereiche, in denen sich die Lichtfelder entweder gegenseitig blockieren oder das System gemeinsam passieren. Eine unmittelbare Anwendung dieses Effekts ist, wie die Wissenschaftler zeigten, ein optischer Schalter, bei dem ein Strahl den anderen ausschalten kann.

Trotz ihres Teilchencharakters verfügen Photonen weder über eine Masse noch über eine elektrische Ladung und können demzufolge nicht miteinander „sprechen“. Mit elektrisch geladenen Materieteilchen

können sie jedoch aufgrund ihres elektrischen Feldes in Wechselwirkung treten. Wenn diese nichtlinear und ausreichend stark ist, kann sie ihrerseits genutzt werden, um eine Wechselwirkung zwischen Lichtquanten zu vermitteln. Der wahrscheinlich stärkste Effekt lässt sich erzielen, wenn das Atom nur zwei Energieniveaus besitzt, den Grundzustand und einen angeregten. Denn dann führt die Aufnahme eines ersten Photons dazu, dass das Atom zu einem Emittor wird. D.h., die Transmission eines Photons hängt davon ab, ob zuvor ein anderes da gewesen ist.

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Die große Herausforderung bestand in den vergangenen 30 Jahren darin, die entsprechende Wechselwirkung, die bei einem einzelnen Atom im freien Raum vernachlässigbar ist, ausreichend groß zu machen. Befindet sich das Atom dagegen zwischen zwei hochreflektierenden Spiegeln, dann kommt das eingestrahlte Photon immer wieder am Atom vorbei und ist gleichzeitig eingeschlossen in einem kleinen Volumen in dessen nächster Umgebung. Diese Technik führt zu einer starken Wechselwirkung auf dem Einzel-Photonen-Level. Solange sich diese aber auf gleichartige Photonen aus einem Laserstrahl beschränkte, war der Effekt vor allem an der Photonen-Statistik zu erkennen, Beispiele dafür sind die Einzel-Photon und die Zwei-Photonen-Blockade.

Strahlt man in diesen aus zwei Spiegeln geformten Resonator jedoch ein zweites Lichtfeld mit einer anderen Wellenlänge ein, dann lässt sich, bei einer geeigneten Energielevel-Struktur, eine Wechselwirkung zwischen zwei verschiedenfarbigen Photonen realisieren. Christoph Hamsen und Kollegen gelang es, die technischen Herausforderungen zu meistern und ein sogenanntes N-System zu verwirklichen, an dem sie neuartige Effekte der gegenseitigen Blockade der Photonen bzw. ihres nur gemeinsam möglichen Durchgangs beobachteten. Im Falle der Blockade arbeitete das System wie ein optischer Schalter, bei dem jedes Lichtfeld das andere ein- oder ausschalten kann.

Diese Effekte beruhen auf der neuartigen Energielevel-Struktur des Systems, das sich aus der starken Kopplung von zwei Lichtfeldern und dem Atom ergibt. In diesem Level-Schema entspricht jeder einzeln anregbare Energiezustand einer spezifischen Kombination der Photonenanzahlen in den beiden Strahlen.

Während also Lichtschwerter weiterhin Science-Fiction bleiben, weist das neue System kohärente Wechselwirkung zwischen Photonen auf. Sein doppelt nicht-lineares Niveauschema ebnet den Weg zu nicht-linearer Quanten-Sensorik, bei der die Zahl der Photonen in dem einen Strahl ein Maß für die Zahl der Photonen in dem anderen Strahl ist.

Originalveröffentlichung:

Christoph Hamsen, Karl Nicolas Tolazzi, Tatjana Wilk, and Gerhard Rempe
Strong coupling between photons of two light fields mediated by one atom
Nature Physics, <http://dx.doi.org/10.1038/s41567-018-0181-1>

Kontakt:

Dr. Tatjana Wilk

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Tel.: +49 (0)89 / 3290 5670
E-Mail: tatjana.wilk@mpq.mpg.de

Nicolas Tolazzi

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: +49 (0)89 / 3290 5296
E-Mail: nicolas.tolazzi@mpq.mpg.de

Prof. Dr. Gerhard Rempe

Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: +49 (0)89 / 3290 5701
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de