

Garching, 30.06.2011

Presse-Information

### **Gequetschtes Licht von einzelnen Atomen**

**Forscher am MPQ erzeugen mit in optischen Resonatoren gefangenen Atomen Lichtfelder, deren Amplitude schärfer ist als klassisch erlaubt.**

Die klassische Optik behandelt Licht gewöhnlich als eine Welle. Aber betrachtet man Licht auf fundamentalem Quantenniveau, dann besteht diese Welle aus diskreten Teilchen, auch Photonen genannt. Im Laufe der Zeit haben die Physiker viele Wege gefunden, sowohl die wellenähnlichen als auch die teilchenähnlichen Quanteneigenschaften von Licht zu manipulieren. So nutzen sie z.B. die Eigenschaften von Atomen, einzelne Lichtquanten zu absorbieren und auszusenden, für die Entwicklung von Einzel-Photonenquellen. Ein Team um Professor Gerhard Rempe, Direktor am MPQ und Leiter der Abteilung Quantendynamik, hat nun gezeigt, dass die von einzelnen Atomen ausgesandten Lichtfelder eine sehr komplexe Dynamik aufweisen können (Nature 474, 623, 30. Juni 2011). Wird das Atom stark an ein Lichtfeld in einem optischen Resonator gekoppelt, ändert es die wellenähnlichen Eigenschaften des Lichtfeldes: dabei „quetscht“ es entweder die Phase oder die Amplitude der Lichtfelder so stark, dass sie weniger fluktuieren als es für klassische elektromagnetische Strahlung erlaubt ist. Solche „gequetschten“ Lichtzustände wurden hier erstmals mit einzelnen Atomen erzeugt.

Die auf der Quantennatur des Lichtes beruhende körnige Struktur der Lichtwellen führt zu kleinen Fluktuationen in der Phase und der Amplitude der Welle. Bei klassischen Lichtstrahlen verteilt sich diese Unschärfe gleichmäßig auf beide Größen. Durch Wechselwirkung der Photonen miteinander lässt sich aber entweder die Amplitude oder die Phase auf Kosten der jeweils anderen Komponente unterhalb dieses sogenannten Grundrauschens drücken. Allerdings sind diese Wechselwirkungen zwischen Photonen in gewöhnlichen optischen Medien sehr schwach, so dass für die Erzeugung „gequetschter Zustände“ sehr intensive Lichtstrahlen erforderlich sind. Einzelne Atome sollten dagegen gequetschtes Licht bereits durch Wechselwirkung mit wenigen Photonen erzeugen können; dies wurde auch vor rund 30 Jahren vorhergesagt. Aber da bei diesem Vorgang extrem wenig Licht emittiert wird, waren bislang alle Versuche der experimentellen Realisierung an technischen Schwierigkeiten gescheitert. Die in der Abteilung Quantendynamik am MPQ seit Jahren entwickelten ausgefeilten Methoden für die Kühlung, Isolation und Manipulation einzelner Atome haben die hier beschriebene Beobachtung nun ermöglicht.

Ein einzelnes Rubidiumatom wird in einer Falle gefangen, die aus zwei Spiegeln höchster Güte in einem Abstand von ungefähr einem Zehntel Millimeter besteht. Wenn schwaches Laserlicht in diesen kleinen Bereich eingestrahlt wird, kann das Atom mit einem Photon viele Male in Wechselwirkung treten und bildet somit eine Art künstliches Molekül mit den Photonen des Lichtfeldes. Als Konsequenz daraus können zwei Photonen gleichzeitig in das System gelangen, wobei sie – durch die Wechselwirkung mit dem Atom – korreliert werden. „Nach dem Bohr’schen Atommodell sendet ein einzelnes Atom genau ein einziges Energiequant, ein Photon, aus. Die Photonenzahl ist also eindeutig, die Phase des Lichtes ist aber völlig unbestimmt“, erklärt Prof. Gerhard Rempe. „Die beiden Photonen, die von diesem – an den Resonator gekoppelten – Atom emittiert werden,

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit,  
Dr. Olivia Meyer-Streng

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

sind dagegen nicht unterscheidbar, sondern schwingen gemeinsam. Daher werden jetzt die wellenähnlichen Eigenschaften des Lichtfeldes beeinflusst.“

Regen die Physiker das System mit Licht aus einem Laser an, der auf die Anregungsfrequenz des einzelnen Atoms abgestimmt ist, dann zeigen die Messungen, dass die Phase des emittierten Lichtfeldes „gequetscht“ ist, d.h. die Fluktuationen verglichen mit der klassisch erlaubten Breite reduziert sind. Strahlen sie Licht mit der Resonanzfrequenz des Spiegelsystems ein, dann erhalten sie eine entsprechende „Quetschung“ der Amplitude.

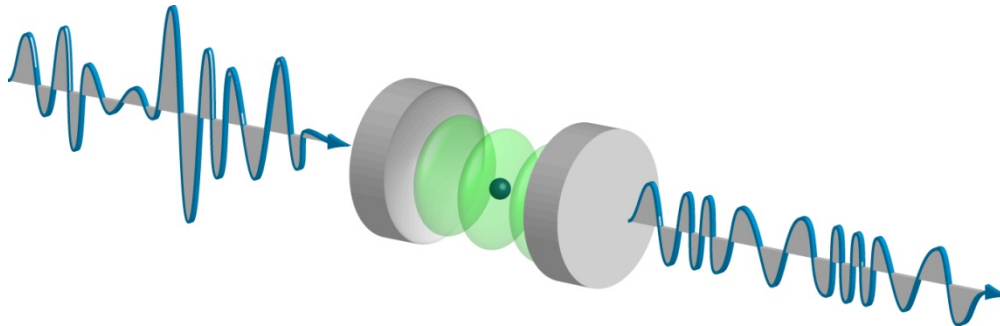


Abb. 1: Ein einzelnes, in einem Resonator gefangene Atom quetscht die Quantenfluktuationen eines schwachen Laserstrahls, indem es z.B. wie hier die Amplitudenfluktuationen reduziert. (Der Effekt ist zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt.)

Abb. 1 veranschaulicht diesen Vorgang: Das einzelne Atom in dem Resonator verwandelt die Laserstrahlen in Licht, das kleinere Amplituden-, dafür aber stärkere Phasenfluktuationen hat als dem Grundrauschen entspricht. „Unser Experiment zeigt, dass das Licht, das von einzelnen Atomen ausgesandt wird, sehr viel komplexere Eigenschaften hat als in dem einfachen Bild von Albert Einstein über die Photoemission“, betont Dr. Karim Murr. „Die nachgewiesene Quetschung ist auf die von dem Atom vermittelte kohärente Wechselwirkung zwischen den beiden von dem System ausgesandten Photonen zurückzuführen. Unsere Messung ist in exzellenter Übereinstimmung mit den Erwartungen der Quantenelektrodynamik für starke Kopplung.“ Und Dr. Alexei Ourjoumtsev, der als Postdoc an dem Experiment gearbeitet hat, ergänzt: „Normalerweise beeinflussen einzelne Quantenobjekte die teilchenähnlichen Eigenschaften von Licht. Interessanterweise können sie aber auch die wellenähnlichen Eigenschaften verändern, wie die hier gemessene Quetschung des – im Durchschnitt zwei Photonen enthaltenden – Laserlichts zeigt.“

Bislang waren für die Beobachtung von „gequetschtem“ Licht Systeme aus vielen Atomen, wie z.B. optisch nichtlineare Kristalle, und hohe Laserintensitäten, also sehr viele Photonen, notwendig. Erstmals ist es hier dagegen gelungen, diese nicht-klassischen Lichtzustände mit einzelnen Atomen und extrem schwachen Lichtfeldern zu erzeugen. Die Möglichkeit, dass ein einzelnes Atom starke kohärente Wechselwirkungen zwischen Photonen induzieren kann, eröffnet neue Anwendungsperspektiven für photonische Quantenlogik mit einzelnen Quantenemittern.

#### **Originalveröffentlichung:**

A. Ourjoumtsev, A. Kubanek, M. Koch, C. Sames, P. W. H. Pinkse, G. Rempe, & K. Murr

#### **Observation of squeezed light from one atom excited with two photons**

Nature **474**, 623,30. Juni 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. Karim Murr**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

E-Mail: karim.murr@mpq.mpg.de

##### **Dr. Alexei Ourjoumtsev, jetzt am:**

Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique,

F-91127 Palaiseau, France

Phone : +33 1 64 53 33 82

e-mail: alexei.ourjoumtsev@institutoptique.fr