

Garching, 1. März 2016

Presse-Information

Interferenz an einem Doppelspalt aus zwei Atomen

An einem Doppelspalt aus zwei in einem Resonator gefangenen Atomen beobachten MPQ-Wissenschaftler ungewöhnliche Interferenzphänomene

Zu den Top-Themen in der Abteilung Quantendynamik von Prof. Gerhard Rempe am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching zählt die Untersuchung und Nutzung der Licht-Materie-Wechselwirkung in optischen Resonatoren. Bereits vor einigen Jahren gelang es dem Team, mit einzelnen, in optischen Resonatoren gespeicherten Atomen Einzel-Photonen-Emitter zu realisieren. Die stationären Atome können damit z.B. als Knoten für den Austausch von Quanteninformation in ausgedehnten Quantennetzwerken dienen. Jetzt sind die Wissenschaftler noch einen Schritt weiter gegangen: Sie haben ein Paar aus zwei Rubidium-Atomen in einem fest definierten Abstand zueinander in einem solchen Resonator gefangen und dann an diesem „Doppelspalt“ Licht gestreut (*Nature Photonics, AOP*, 29. Februar 2016, DOI:10.1038/nphoton.2016.19). Dabei konnten sie Interferenzphänomene beobachten, die der gängigen Intuition widersprechen. Voraussetzung war die Entwicklung einer Technik, die Position der Atome innerhalb des Resonators mit einer Genauigkeit von weit unterhalb der Wellenlänge des gestreuten Lichtes zu kontrollieren. Eine Motivation für das Experiment ist die Untersuchung fundamentaler Aspekte der Resonator-Quantenelektrodynamik. Darüber hinaus erlaubt es die hier entwickelte Technik, neue Konzepte der Verschränkung von Quantenbits zu erforschen und damit neue Wege der Quanteninformationsverarbeitung zu beschreiten.

Kernstück des experimentellen Aufbaus ist ein optischer Resonator, der aus zwei hochreflektierenden Spiegeln im Abstand von 0,5 mm besteht. Durch Kreuzung von retroreflektierten Laserstrahlen, die senkrecht zur und entlang der Resonatorachse verlaufen, wird innerhalb des Resonators ein sogenanntes optisches Gitter erzeugt. In diesem Gebiet wechseln sich wie bei einem Schachbrett helle und dunkle Flecke mit einer Periode von etwa einem halben Mikrometer ab. Diese definieren die Gitterplätze, an denen sich die Atome aufhalten können, und innerhalb derer sie auf etwa 25 Nanometer genau lokalisiert sind.

In dieses Gitter werden zunächst einige sehr kalte Rubidium-Atome geladen. Mit einem hochauflösenden Mikroskop kann man die Atome über das Fluoreszenzlicht, das sie aussenden, einzeln auf ihren jeweiligen Gitterplätzen als Lichtpunkte erkennen. Durch Anregung mit einem Laserstrahl werden anschließend einzelne Atome gezielt geheizt und damit aus dem Gitter entfernt, bis genau zwei mit dem gewünschten Abstand übrigbleiben. „An diesem „Doppelspalt“ streuen wir resonantes Laserlicht, das senkrecht zur Resonatorachse eingestrahlt wird“, erläutert Andreas Neuzner, der mit diesem Experiment promoviert.

„Interferenz lässt sich nur beobachten, wenn zwischen den beiden Lichtquellen eine feste Phasenbeziehung besteht“, erklärt Dr. Stephan Ritter, ein weiterer am Experiment beteiligter Wissenschaftler. „Damit wir die Interferenz als Funk-

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-213
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

tion der Phase untersuchen können, müssen wir den Ort der Atome mit einer Genauigkeit weit unterhalb der Lichtwellenlänge von 780 Nanometern kennen.“ Obwohl die Bilder der Atome, begrenzt durch das Auflösungsvermögen des verwendeten Abbildungssystems, etwa 1,3 Mikrometer groß sind, können die Wissenschaftler die Position der emittierenden Atome auf 70 Nanometer genau lokalisieren und somit eindeutig einem Gitterplatz zuordnen. Damit ist der Abstand zweier Atome, der typischerweise etwa 10 Mikrometer beträgt, genau bestimmt.

Der Resonator bewirkt, dass das gestreute Licht zum einen vornehmlich in Richtung der Resonatorachse ausgesandt wird, zum andern kann es durch zig-fache Reflexion verstärkt mit den Atomen wechselwirken. Die Lichtleistung hinter einem der beiden Spiegel, sprich die Photonenrate, wird nun in Abhängigkeit von der relativen Phase der beiden Atome aufgezeichnet.

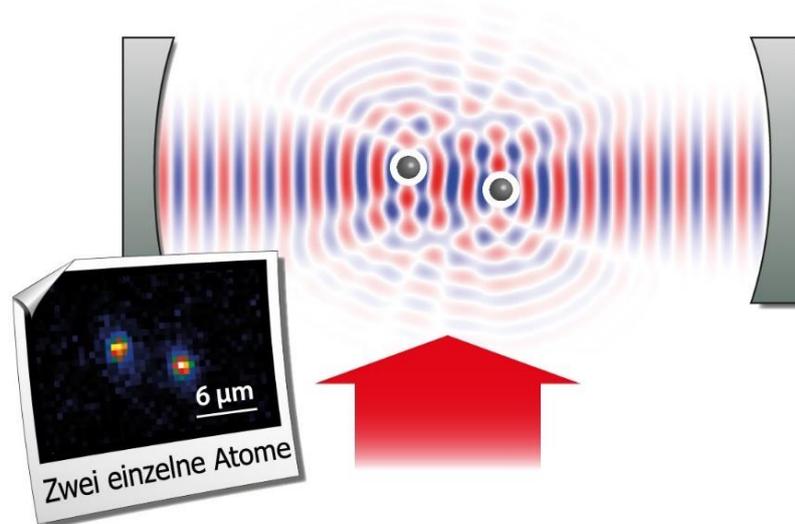


Abbildung: Resonantes Laserlicht (roter Pfeil) wird an zwei einzelnen Atomen gestreut. Die auftretenden Interferenzeffekte (hier künstlerisch dargestellt) sind durch die relative räumliche Phase der Atome und die Wechselwirkung mit der Lichtmode des optischen Resonators (Spiegel in grau) bestimmt. Links unten: Fluoreszenzbild zweier Rubidiumatome. (Grafik: Andreas Neuzner, MPQ)

Das beobachtete Interferenzmuster weist dabei einige Besonderheiten auf, die man für den einfacheren Fall zweier strahlender Dipole im freien Raum nicht erwarten würde. Zunächst ist bei konstruktiver Interferenz die Intensität nur etwa 1,3-mal so hoch wie für ein einzelnes Atom, während man im einfachen Fall eine Vervierfachung erwarten würde. Dies hängt mit der Vielfalt der Lichtfelder zusammen, die innerhalb des Resonators ihren Einfluss geltend machen: Im Gegensatz zum klassischen Doppelspaltexperiment muss man nicht nur die Phasenbeziehung zwischen den gestreuten Lichtwellen berücksichtigen. Vielmehr überlagern sich diese mit dem Lichtfeld des Resonators, was im Endeffekt die Intensität in den Feldmaxima reduziert.

Die zweite Besonderheit ist die Intensität im Fall der destruktiven Interferenz: Hier fällt die Photonenrate zwar unter den für ein einzelnes Atom gemessenen Wert, geht aber nicht annähernd auf null, wie man intuitiv erwarten würde. Bemerkenswert dabei ist das Auftreten extremer Intensitätsfluktuationen, sogenanntes „Photon Bunching“. „Dieses Phänomen erklären wir damit, dass die Atome bei destruktiver Interferenz nur paarweise und gleichzeitig in den Resonator emittieren können“, erklärt Andreas Neuzner.

„Wir haben in dem vorliegenden Experiment erstmals drei Schlüsseltechniken kombiniert: Mit Hilfe des optischen Gitters positionieren wir die Atome mit großer Genauigkeit, mit dem hochauflösenden Mikroskop können wir sie lokalisieren. Die Wechselwirkung mit dem Resonator ermöglicht eine gerichtete Detektion des gestreuten Lichts“, sagt Stephan Ritter. „Die

neu entwickelten Techniken sind essentiell für zukünftige Experimente, in denen wir kollektive Strahlungseffekte, die für Mehr-Atom-Systeme vorhergesagt werden, erkunden wollen“, resümiert Prof. Gerhard Rempe. „Auf der anderen Seite bieten sie die Möglichkeit, neuartige Protokolle für die Quanteninformationsverarbeitung mit mehreren Quantenbits zu implementieren.“

Olivia Meyer-Streng

Originalveröffentlichung:

A. Neuzner, M. Körber, O. Morin, S. Ritter and G. Rempe

Interference and dynamics of light from a distance-controlled atom pair in an optical cavity

Nature Photonics, AOP 29. Februar 2016, DOI:10.1038/nphoton.2016.19

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
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de

Dr. Stephan Ritter

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 - 728
E-Mail: stephan.ritter@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

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