

Garching, 13.05.2010

Presse-Information

## Quantendynamik von Materiewellen enthüllt Mehrteilchen-Kollisionen

**LMU-MPQ-Wissenschaftler weisen erstmals exotische Mehrteilchenwechselwirkung an ultrakalten Atomen in einem optischen Gitter nach.**

Bei extrem tiefen Temperaturen können sich Atome in sogenannten Bose-Einstein-Kondensaten zu kohärenten, laserartigen Materiewellen zusammenschließen. Aufgrund der Wechselwirkungen der Atome untereinander entwickeln diese Materiewellen eine Art Eigendynamik, die zu einem zeitlich periodischen Zusammenbrechen und Wiederaufleben des Wellenfeldes führt. Einer Gruppe um Prof. Immanuel Bloch (Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Ludwig-Maximilians-Universität München und Direktor der Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München) gelang es jetzt erstmals, diese Quantendynamik über lange Zeiten hinweg zu beobachten. Dazu erzeugten die Forscher Tausende von Miniatur-Bose-Einstein-Kondensaten, regelmäßig angeordnet in einem „optischen Gitter“, und verfolgten das Zusammenbrechen und Wiederaufleben der Materiewellen. Die genaue Analyse der Messreihen enthüllte eine komplexe Struktur in dieser Dynamik, die durch fundamentale Vielteilchenwechselwirkungen verursacht wird: entgegen gängigen Annahmen spielen dabei nicht nur paarweise Wechselwirkungen, sondern auch Stöße zwischen mehreren Atomen eine wichtige Rolle (Nature, DOI:10.1038/nature09036). Dieses Ergebnis ist einerseits von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis von Quanten-Vielteilchensystemen; es ermöglicht andererseits die Erzeugung neuer exotischer Materiezustände, die auf solchen Vielteilchenwechselwirkungen basieren.

Das Experiment beginnt damit, eine dünne Wolke aus mehreren hunderttausend Atomen auf Temperaturen dicht über dem absoluten Nullpunkt abzukühlen. Bei diesen Temperaturen bildet sich ein Bose-Einstein-Kondensat (BEC) aus, eine Quantenphase, in der sich alle Atome im gleichen Quantenzustand befinden. Diesem BEC wird nun ein optisches Gitter überlagert: das ist eine Art künstlicher Kristall aus Licht, in dem sich durch Überlagerung mehrerer stehender Laserlichtwellen helle und dunkle Gebiete periodisch abwechseln. In diesem – einem Eierkarton ähnlichen – Kristall verteilen sich die Atome auf die Gitterplätze. Doch während in einem echten Eierkarton in einer Kuhle entweder genau ein Ei oder gar keins sitzt, werden die Besetzungszahlen hier von den Gesetzen der Quantenmechanik geregelt. Zwar ist die Wahrscheinlichkeit für ein oder zwei Atome an einem Gitterplatz am größten, aber bei entsprechender Einstellung der Gitterhöhe (d.h. der Laserintensität) können auch drei, vier oder mehr Atome vorkommen. Und da es sich hier um Quantenteilchen handelt, können alle Besetzungszahlen – mit unterschiedlichem Gewicht – gleichzeitig auftreten.

Die Existenz dieser Überlagerungszustände ist der Schlüssel für das neue Messprinzip. „So wie Pendel unterschiedlicher Länge auch unterschiedliche Schwingungsfrequenzen haben, so ist jeder Besetzungszustand durch eine bestimmte Eigenfrequenz charakterisiert“, erklärt Sebastian Will, Doktorand am Experiment. „Stöße zwischen den Atomen beeinflussen die Eigenfrequenzen. Würden die Atome z.B., wie bislang angenommen, immer nur paarweise zu-

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)

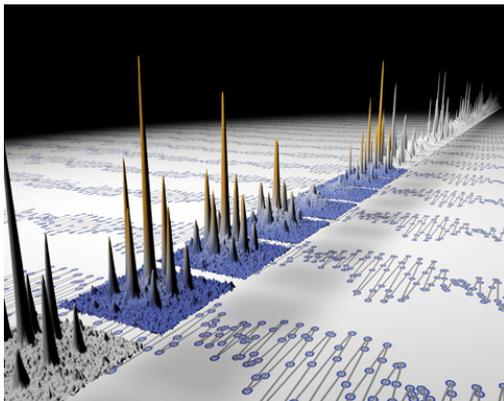
Hans-Kopfermann-Str. 1  
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0  
Fax: +49(0)8932 905-200

sammenstoßen, dann wären die Frequenzen höherer Besetzungszustände immer ein Vielfaches der Grundfrequenz eines Zweierzustands.“

Mit einer trickreichen experimentellen Anordnung gelang es den Physikern, die Überlagerung der verschiedenen Schwingungen in ihrer zeitlichen Entwicklung zu verfolgen. Die Wissenschaftler konnten beobachten, dass in regelmäßigen Zeitabständen Interferenzbilder auftreten – ein Zeichen dafür, dass die Schwingungen im Gleichtakt sind – und wieder zusammenfallen (siehe Abbildung unten). „Intensität und Periodizität der Interferenzbilder ergeben ein Schwebungsmuster, das sich mit einer reinen Paar-Wechselwirkung nicht in Einklang bringen lässt“, erklärt Sebastian Will. „Vielmehr muss ein komplexerer Stoßmechanismus wirksam sein, der auch die Wechselwirkung von mehreren Atomen miteinander, wir konnten eine Beteiligung von bis zu sechs nachweisen, einschließt.“ Solche exotischen Stöße sind möglich, da Heisenbergs Unschärfeprinzip den Atomen erlaubt, während der Kollision einen virtuellen Umweg über energetisch höher gelegene Quantenzustände zu nehmen.

Dieses Resultat ist überraschend und von grundlegender Bedeutung, um die Wechselwirkung zwischen mikroskopischen Teilchen besser zu verstehen. Gleichzeitig demonstriert es, mit welchem hohen Grad an Kontrolle sich Quantenmaterie in optischen Gittern manipulieren lässt. Diese außergewöhnliche Steuerbarkeit wollen die Wissenschaftler nutzen, um komplexe Festkörpersysteme zu „simulieren“ und die der Supraleitung oder dem Quantenmagnetismus zugrunde liegende Physik zu erklären. Ein weiterer Vorteil von optischen Gittern liegt darin, dass jeder der mehreren hunderttausend Gitterplätze ein Miniaturlabor darstellt, um exotische Quantenzustände zu erzeugen. Dies macht diese Anordnungen zu den wahrscheinlich empfindlichsten Messinstrumenten für die Beobachtung atomarer Stöße. *Olivia Meyer-Streng*



**Zusammenbrechen und Wiederaufleben des Materiewellenfeldes:** In der Quantendynamik von ultrakalten Bose-Einstein Kondensaten in einem optischen Gitter sind exotische Mehrteilchen-Kollisionen nachweisbar. Das Bild zeigt eine Abfolge von Interferenzbildern, die im Abstand von jeweils 40 Mikrosekunden aufgenommen wurden. Ein einzelner Zyklus der Dynamik ist farblich hervorgehoben. Weitere Bilder unter: [www.quantum-munich.de](http://www.quantum-munich.de)

#### **Originalveröffentlichung:**

Sebastian Will, Thorsten Best, Ulrich Schneider, Lucia Hackermüller, Dirk-Sören Lühmann, Immanuel Bloch

„Time-resolved observation of coherent multi-body interactions in quantum phase revivals“

*Nature*, DOI:10.1038/nature09036, 13. Mai 2010

#### **Kontakt:**

<http://www.quantum-munich.de>

#### **Dipl.-Phys. Sebastian Will**

LMU München, Fakultät für Physik

Schellingstr. 4

80799 München

Tel.: +49 89 2180 6133

Tel. (mobil): +49 177 2581588

Fax: +49 89 2180 63851

E-Mail: [sebastian.will@lmu.de](mailto:sebastian.will@lmu.de)

#### **Prof. Dr. Immanuel Bloch**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Hans-Kopfermann-Straße 1

85748 Garching b. München

Tel.: +49 89 32905 138

Fax: +49 89 32905 313

E-Mail: [immanuel.bloch@mpq.mpg.de](mailto:immanuel.bloch@mpq.mpg.de)