

Garching, 18.08.2010

Presse-Information

## Quantenteilchen in Reih und Glied

**Wissenschaftlern am Max-Planck-Institut für Quantenoptik gelingen  
„in situ-Schnappschüsse“ einzelner Atome in einem  
hochgeordneten Quantengas.**

**Kalte Atome in optischen Gittern haben sich in den letzten Jahren zu einem interdisziplinären Werkzeug der Quanten- und Festkörperphysik entwickelt. Bisher waren die Möglichkeiten, Quantengase auf mikroskopischer Skala zu manipulieren und zu beobachten, jedoch sehr begrenzt. Erstmals hat es jetzt ein Team um Dr. Stefan Kuhr und Prof. Immanuel Bloch vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Garching bei München) geschafft, ein stark korreliertes System Atom für Atom und Gitterplatz für Gitterplatz direkt sichtbar zu machen (Nature, 18. August 2010, DOI 10.1038/nature09378). Dabei konnten die Physiker beobachten, dass sich die Atome unter bestimmten Bedingungen in optischen Gittern in sehr regelmäßigen Strukturen anordnen, mit einer festen Zahl von Atomen pro Gitterplatz. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, solche Systeme als Quantenregister mit einzeln adressierbaren Quantenbits in zukünftigen Quantencomputern zu nutzen.**

Im vorliegenden Experiment hantieren die Physiker mit einer Wolke aus einigen tausend „bosonischen“ Rubidium-Atomen. Bosonen sind gesellige Teilchen, die sich bei extrem tiefen Temperaturen (einigen Nanokelvin) alle im gleichen Quantenzustand befinden – sie bilden dann ein Bose-Einstein-Kondensat (BEC). In dieser extrem kalten Wolke führen die Atome nur noch minimale Bewegungen aus und sind daher durch äußere Lichtfelder leicht zu beeinflussen. Diesen Effekt nutzen die Wissenschaftler, um das atomare Gas gezielt zu strukturieren. Sie überlagern ihm kreuzweise stehende Lichtwellen, die ein „optisches Gitter“ bilden, eine periodische Anordnung aus hellen und dunklen Bereichen. Die Form des Lichtfeldes erinnert an einen Eierkarton: die Vertiefungen (sie entsprechen den hellen Bereichen des Lichtfeldes) sind energetisch besonders günstig. Dort lassen sich die Rubidium-Atome daher bevorzugt nieder.

Je nachdem, wie hoch das Gitter, d.h. wie hoch die Lichtintensität ist, können Korrelationen zwischen den Teilchen zu einem ganz unterschiedlichen Verhalten des Quantengases führen. Wenn die Gitter relativ flach sind, können die Teilchen auf ihren Nachbarplatz hinüber „tunneln“. Das Ensemble stellt dann eine Art „Supraflüssigkeit“ dar. Stellt man die Gitterhöhe durch entsprechend hohe Lichtintensitäten so ein, dass die Teilchen auf ihren Plätzen quasi fixiert sind, dann erhält man einen sogenannten Mott-Isolator (benannt nach dem britischen Physiker und Nobelpreisträger Sir Neville F. Mott).

Modellrechnungen zeigen, dass die Zahl der Atome pro Gitterplatz in einem Mott-Isolator weit weniger schwankt als in dem anfänglichen BEC. Jetzt konnten die MPQ-Forscher dieses Verhalten explizit nachweisen. „Erstmals konnten wir in einem so hochgradig korrelierten System einzelne Atome auf ihren jeweiligen Gitterplätzen sichtbar machen. Das ist eine echte Sensation“, begeistert sich Dr. Stefan Kuhr, der Leiter des Projekts. „Wie auch sonst üblich, „kühlen“ wir die Atome mit Laserstrahlen. Gleichzeitig nutzen wir die dabei ausgesandten Fluoreszenzphotonen, um die Atome mit einem speziell dafür entwickelten Mikroskop sichtbar zu machen. So sind wir in der Lage, die Zahl der Atome pro Gitterplatz

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

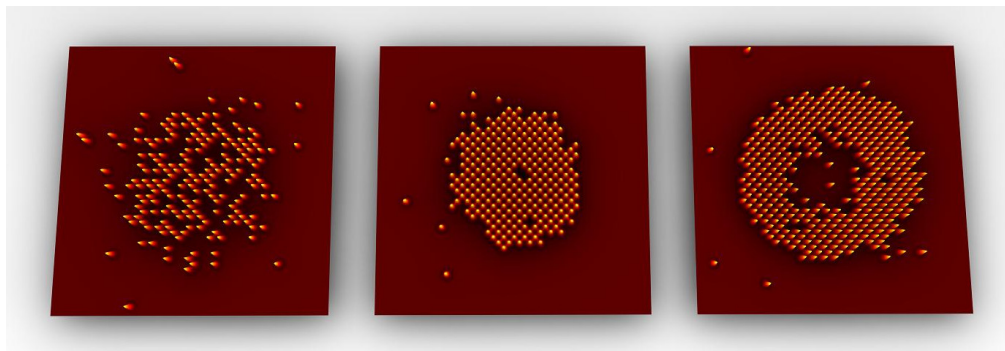
Tel.: +49(0)8932 905-0  
Fax: +49(0)8932 905-200

zu bestimmen. Auch die Defekte können wir mit solchen „Schnappschüssen“ einzeln erkennen und verfolgen, wie ihre Zahl mit steigenden Temperaturen zunimmt.“

In eine Serie von Messungen bestimmten die Physiker systematisch die Zahl der Atome pro Gitterplatz für unterschiedliche Teilchenzahlen und Temperaturen. Für das BEC ergaben sich erwartungsgemäß von Gitterplatz zu Gitterplatz relativ große Schwankungen. Im Gegensatz dazu erhielten die Wissenschaftler bei einem Mott-Isolator eine fast perfekte Struktur mit einer sehr geringen Fehlerdichte.

Dabei konnten sie auch die für Mott-Isolatoren charakteristischen Schalen beobachten, die sich bei großen Teilchenzahlen ausbilden (siehe Abbildung). Denn das optische Gitter ist nicht eben, sondern folgt dem gaußförmigen Intensitätsprofil des Laserstrahls und ist nach außen hin „verbogen“. Die Gitterplätze in den Außenbereichen liegen energetisch höher und werden erst aufgefüllt, wenn die inneren Plätze besetzt sind. Von außen nach innen wächst die Atomzahl pro Gitterplatz daher stufenweise an. Sobald sich jedoch zwei Atome (bzw. eine gerade Zahl von Atomen) auf einem Gitterplatz befinden, gewinnen sie durch inelastische Stöße soviel kinetische Energie, dass sie die Falle sofort verlassen. Gerade Besetzungszustände machen sich also als dunkle Ringe bemerkbar. Ein Mott-Isolator, in dem sich auf jedem Gitterplatz genau ein Atom befindet, stellt ein Quantenregister aus bis zu mehreren hundert Quantenbits dar. „Nun müssen wir noch zeigen, dass wir die Atome wirklich individuell manipulieren können – eine Voraussetzung dafür, um Quantenbits kodieren und auslesen zu können. Die ersten Experimente hierzu führen wir gerade durch“, erklärt Dr. Kuhr.

Kalte Quantengase in optischen Gittern eignen sich aber nicht nur für Anwendungen in zukünftigen Quantencomputern, sondern auch als Quantensimulatoren für Festkörper. Dabei spielen die Atome im Lichtgitter die Rolle der Elektronen im Kristallgitter. Untersuchungen dieser Art können zu einem tieferen Verständnis ungewöhnlicher magnetischer und elektrischer Phänomene wie etwa der Hochtemperatursupraleitung führen und könnten die Entwicklung von Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften ermöglichen. *Olivia Meyer-Streng*



*Abbildung: Im BEC schwankt die Dichte der Atome erheblich von Gitterplatz zu Gitterplatz (links). Der Mott-Isolator (Mitte) weist dagegen eine fast vollkommen geordnete Struktur auf. Bei höheren Teilchenzahlen bildet sich die charakteristische Schalenstruktur aus (rechts).*

#### **Originalveröffentlichung:**

Jacob F. Sherson, Christof Weitenberg, Manuel Endres, Marc Cheneau, Immanuel Bloch and Stefan Kuhr

#### **Single-Atom Resolved Fluorescence Imaging of an Atomic Mott Insulator**

*Nature*, 18. August 2010, DOI 10.1038/nature09378

#### **Kontakt:**

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

#### **Dr. Stefan Kuhr**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Hans-Kopfermann-Straße 1  
85748 Garching b. München  
Tel.: +49 89 32905 738  
E-Mail: [stefan.kuhr@mpq.mpg.de](mailto:stefan.kuhr@mpq.mpg.de)

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

Lehrstuhl für Physik, LMU München Schellingstr. 4, 80799 München, und  
Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Tel.: +49 89 32905 138  
E-Mail: [immanuel.bloch@mpq.mpg.de](mailto:immanuel.bloch@mpq.mpg.de)