

Garching, 1. November 2012

Presse-Information

Neue Ordnung in der Quantenwelt

MPQ-Wissenschaftler erzeugen mit Laserstrahlen Quantenmaterie mit neuartigen kristallähnlichen Eigenschaften.

Sowohl Graphit als auch Diamant bestehen ausschließlich aus Kohlenstoffatomen. Der kleine aber feine Unterschied zwischen beiden Materialien ist die geometrische Anordnung ihrer Bausteine, mit weitreichenden Folgen für ihre Eigenschaften. Undenkbar, dass ein Stoff beides, d.h. Graphit und Diamant, gleichzeitig sein kann. Doch für Quantenmaterie gilt diese Einschränkung nicht, wie jetzt ein Team aus der Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme von Prof. Immanuel Bloch (Max-Planck-Institut für Quantenoptik und Ludwig-Maximilians-Universität München) bei Experimenten mit ultrakalten Quantengasen zeigen konnte. Mit Hilfe von Laserstrahlen erreichten die Wissenschaftler, dass sich einzelne Atome zu Strukturen mit einer definierten Geometrie anordneten (Nature, 1. November 2012). Doch im Unterschied zu klassischen Kristallen existieren dabei alle möglichen geometrischen Konfigurationen gleichzeitig, ähnlich wie sich Schrödingers Katze in einer Überlagerung aus den beiden Zuständen „tot“ und „lebendig“ befindet. Voraussetzung dafür war, dass sich die Atome in einem hoch angeregten sogenannten Rydberg-Zustand befanden. „Solche Rydberg-Gase bergen das Potential, exotische Materiezustände zu realisieren und zum Beispiel magnetische Quantenphasen zu simulieren“, betont Prof. Immanuel Bloch. Unterstützt wurden die experimentellen Arbeiten durch theoretische Modelle, die von einer Gruppe um Dr. Thomas Pohl (Max-Planck-Institut für die Physik komplexer Systeme, Dresden) entwickelt wurden.

Im Experiment wird zunächst eine Wolke aus einigen hundert Rubidiumatomen auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt abgekühlt und in einer Lichtfalle eingefangen. Dieser Gaswolke wird ein periodisches Lichtfeld – ein sogenanntes optisches Gitter – so überlagert, dass die Atome im zentralen Bereich der Falle sehr gleichmäßig verteilt sind. Dann werden die Gasatome mit Laserlicht zu einem Übergang in einen Rydberg-Zustand angeregt, in dem das äußerste Hüllenelektron extrem weit vom Atomkern entfernt ist. Dadurch bläht sich die Einflussphäre des Atoms wie ein Ballon um etwa das Zehntausendfache auf und erreicht einen vergleichsweise „riesigen“ Durchmesser von mehreren Mikrometern – dies entspricht in etwa einem Zehntel des Durchmessers eines durchschnittlichen Haares. Zwischen diesen „Superatomen“ treten nun Kräfte entsprechend großer Reichweite auf, sogenannte van der Waals-Kräfte.

Die Rydberg-Zustände sind dabei so ausgewählt, dass die van der Waals-Kräfte abstoßend wirken. Daher müssen die angeregten Atome einen Mindestabstand von einigen Mikrometern einhalten. Diese gegenseitige Blockade führt zu räumlichen Korrelationen der Teilchen, so dass sich, je nach Zahl der Rydberg-Atome, ganz unterschiedliche Geometrien ausbilden können (siehe Abb. 1). „Wir müssen uns aber klar machen, dass in unserem angeregten System alle geometrischen Ordnungen gleichzeitig vorliegen. Genauer gesagt, handelt es sich dabei um eine kohärente Überlagerung der einzelnen Anre-

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

gungszustände“, erklärt Dr. Marc Cheneau, Wissenschaftler am Experiment. „Dieser neue Materiezustand ist ein äußerst zerbrechliches, kristallähnliches Gebilde; er existiert nur, solange die Anregung mit Laserstrahlen aufrechterhalten wird und vergeht, sobald der Strahl abgeschaltet wird.“

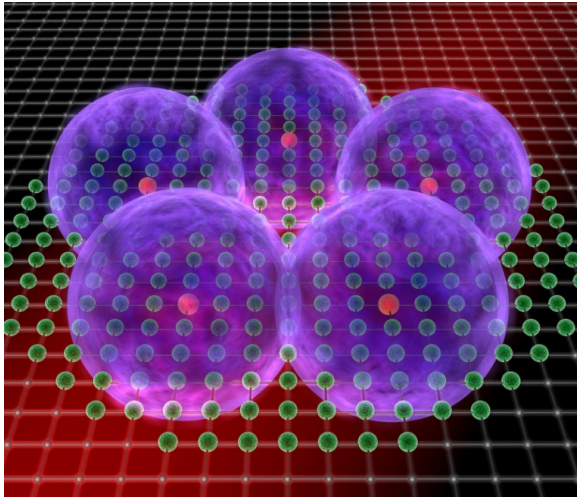


Abb. 1: Illustration einer Anordnung von fünf Rydberg-Atomen

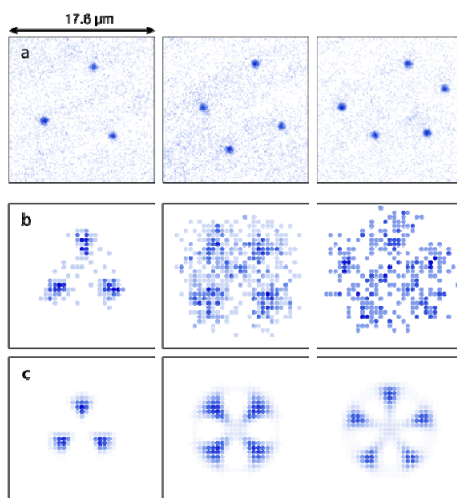
Grün: Atome im Grundzustand

Rot: angeregte Rydberg-Atome

Violett: Einflussosphäre der Rydberg-Atome

(MPQ, Abt. Quanten-Vielteilchensysteme)

Sobald das System jedoch beobachtet wird, zerfällt die Überlagerung in einen spezifischen Anregungszustand, mit einer bestimmten Zahl von Rydberg-Atomen in einer bestimmten geometrischen Anordnung (auch dies wieder analog zu dem Beispiel von Schrödingers Katze, die, wenn man nachschaut, entweder tot oder lebendig anzutreffen ist). In einer Serie von „Schnappschüssen“ können die Wissenschaftler die jeweiligen Anregungszustände sichtbar machen. Sie verwenden dabei eine Technik, bei der einzelne Atome mit sehr hoher räumlicher Auflösung über das von ihnen ausgesandte Fluoreszenzlicht direkt mikroskopisch abgebildet werden. „Wir beobachten, dass sich Strukturen herausbilden, deren räumliche Orientierung zufällig ist, die aber eine definierte Geometrie besitzen“, erklärt Peter Schauß, der an diesem Experiment im Rahmen seiner Doktorarbeit forscht. Um die verschiedenen Strukturen eindeutig erkennen zu können, werden die Bilder nach der Zahl der angeregten Rydberg-Atome gruppiert. Wie in Abb. 2 zu sehen ist, ordnen sich drei Atome zu gleichseitigen Dreiecken an, vier Atome zu Vierecken, fünf Atome zu Fünfecken. Numerische Simulationsrechnungen aus der Gruppe von Dr. Thomas Pohl geben diese Resultate gut wieder.



a) Einzelne Schnappschüsse von Anregungszuständen mit unterschiedlich vielen Rydberg-Atomen

b) Messergebnisse nach der Gruppierung einer Vielzahl von Einzelbildern gemäß der Zahl der angeregten Rydberg-Atome

c) Ergebnisse der numerischen Rechnungen

Abb. 2: Unterschiedliche geometrische Konfigurationen der verschiedenen Anregungszustände (MPQ, Abt. Quanten-Vielteilchensysteme)

Was die Ergebnisse für die einzelnen Anregungszustände betrifft, lassen sich die Beobachtungen noch klassisch interpretieren. „Um das quantenphysikalische Verhalten unseres Sys-

tems aufzudecken, haben wir die zeitliche Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen, durch eine unterschiedliche Zahl von Rydberg-Atomen charakterisierten Anregungszustände untersucht“, erläutert Peter Schauß. „Dabei konnten wir feststellen, dass die Dynamik des Anregungsprozesses zehnmal schneller ist als in klassischen Systemen ohne Blockadeeffekte. Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass wir es in der Tat mit kohärenten Quantenzuständen zu tun haben, die eine Überlagerung aus verschiedenen, räumlich geordneten Konfigurationen darstellen.“

In naher Zukunft wollen sich die Wissenschaftler der Herausforderung stellen, gezielt Rydberg-Kristalle mit einer fest definierten Anzahl von angeregten Atomen herzustellen. Die Technik der Adressierung einzelner Atome ließe sich in Verbindung mit dem oben erwähnten Blockadeeffekt dazu nutzen, Quantengatter zu entwickeln, auf deren Basis Quantensimulationen für eine Vielzahl von Fragestellungen möglich wären. Mehrere Rydberg-Atome ließen sich auch zu einem skalierbaren System für Quanteninformationsverarbeitung vernetzen.

Olivia Meyer-Streng

Originalveröffentlichung:

Peter Schauß, Marc Cheneau, Manuel Endres, Takeshi Fukuhara, Sebastian Hild, Ahmed Omran, Thomas Pohl, Christian Groß, Stefan Kuhr, and Immanuel Bloch

Observation of spatially ordered structures in a two-dimensional Rydberg gas

Nature, 1. November 2012

Kontakt:

Prof. Dr. Immanuel Bloch

Lehrstuhl für Quantenoptik, LMU München
Schellingstr. 4, 80799 München, und
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Tel.: +49 (0) 89 / 32 905 -138
E-Mail: immanuel.bloch@mpq.mpg.de

Dr. Marc Cheneau

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Tel.: +49 (0) 89 / 32 905 -631
E-Mail: marc.cheneau@mpq.mpg.de

Peter Schauß

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Tel.: +49 (0) 89 / 32 905 -218
E-Mail: peter.schauss@mpq.mpg.de