

Garching 05.06.2008

Presse-Information

Individualismus aus Selbsterhaltungstrieb

MPQ-Forscher decken strukturgebende Mechanismen in kalten molekularen Gasen auf.

Ultrakalte Quantengase aus stark korrelierten Teilchen sind wichtige Modelle für das Verständnis von Festkörpereigenschaften. Die Korrelationen zwischen Teilchen entstehen dabei gewöhnlich durch eine elastische Wechselwirkung der Teilchen untereinander. Forscher am Max-Planck-Institut für Quantenoptik aus der Abteilung Quantendynamik (Leitung: Prof. Gerhard Rempe) sowie der Abteilung Theorie (Leitung: Prof. Ignacio Cirac), unter Mitarbeit des spanischen Physikers J. García-Ripoll von der Universidad Complutense de Madrid haben nun gezeigt, dass sich solche starken Korrelationen auch durch eine unelastische Wechselwirkung erzeugen lassen. Überdies unterdrücken diese Korrelationen die Verlustmechanismen, die normalerweise durch die unelastische Wechselwirkung entstehen würden (Science, 6. Juni 2008), indem sie die Teilchen voneinander fernhalten: Moleküle, die sich in einem wellblechförmigen optischen Gitter eigentlich in einer Richtung frei bewegen könnten, bleiben periodisch aufgereiht sitzen, um verlustbringenden Stößen zu entgehen. Das Experiment könnte den Weg weisen für das Arbeiten mit andersartigen Quantensystemen, in denen ebenfalls starke Korrelationen aufgrund unelastischer Wechselwirkungen erwartet werden dürfen.

Makroskopische Eigenschaften wie Magnetismus oder Hochtemperatursupraleitung sind das Resultat eines komplexen Zusammenspiels vieler Teilchen, die stark korreliert sind, das heißt sich in ihrem Verhalten gegenseitig stark beeinflussen. Dabei spielt eine entscheidende Rolle, ob es sich bei den Teilchen um Fermionen oder Bosonen handelt: Bosonen nehmen bei sehr tiefen Temperaturen am liebsten alle ein und denselben Zustand ein. Im Extremfall bilden sie ein Bose-Einstein-Kondensat, in dem etwa 100 000 Teilchen zu einem Riesenatom verschmelzen und sich das einzelne Atom nicht mehr von den anderen in seinen Quanteneigenschaften unterscheidet. Fermionen in einem abgeschlossenen System müssen sich dagegen jeweils in mindestens einer Quantenzahl voneinander unterscheiden, wodurch sie zwangsläufig miteinander stark korreliert sind.

In dem hier beschriebenen Experiment jedoch legen eigentlich bosonische Moleküle genau das Verhalten von Fermionen an den Tag, und dieser Individualismus rettet sie vor gegenseitiger Zerstörung. Die Physiker beginnen mit der Erzeugung eines Bose-Einstein-Kondensates aus Rubidiumatomen (die zu den Bosonen zählen) und füllen dies in ein dreidimensionales „optisches Gitter“. Das ist eine Art Kristall aus Licht, das durch Überlagerung von stehenden Lichtwellen aus allen drei Raumrichtungen erzeugt wird. Das resultierende Laserlichtfeld ähnelt in seiner Form einem Stapel von Eierkartons, in dessen einzelnen Mulden sich die Atome niederlassen. Jeder dieser Gitterplätze wird mit genau zwei Atomen belegt. Anschließend wird durch Anlegen eines Magnetfeldes eine so genannte Feshbach-Resonanz adressiert, wodurch sich die zuvor ungebundenen Atompaare in den Mulden zu fragilen Molekülen chemisch verbinden. Die Tiefe der Mulde ist hier zunächst so gewählt, dass die Moleküle in der Mulde gefangen sind und nicht auf Nachbarplätze abwandern können.

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit,
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213
E-Mail: 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

Was aber passiert, wenn das optische Gitter direkt im Anschluss daran so verändert wird, dass es die Form eines Stapels von Wellblechen annimmt? Eine solche Transformation der Gittergeometrie lässt sich anhand der eingestrahnten Laserleistung gezielt realisieren. Die Moleküle befinden sich nun perlenkettenförmig aufgereiht in einer Art Rinne und haben prinzipiell die Möglichkeit, sich entlang der Rinne zu bewegen. Intuitiv könnte man also erwarten, dass die Moleküle dann mit ihren Nachbarn zusammenstoßen und aufgrund ihrer fragilen Bauart dabei zerstört werden. Eine rapide Abnahme der Anzahl der Moleküle wäre die Folge.

Erstaunlicherweise zeigt sich jedoch im Experiment, dass sich die Teilchen nicht vom Fleck rühren und nicht miteinander kollidieren. Warum das so ist, erklärt Dominik Bauer, Doktorand am Experiment: „Eigentlich kann man sich die Moleküle wie fragile Seifenblasen vorstellen. Wenn sie sich entlang der Rinne zu nahe kämen und mit einem Nachbarn zusammenstießen, würden beide zerfallen. Da die Moleküle aber von der Quantenmechanik beherrscht werden, tun sie dies nicht. Stattdessen halten sie von vornherein Abstand voneinander. Obwohl sie Bosonen sind, zeigen sie somit ein Verhalten, dass man so eigentlich nur von Fermionen kennt. Im Fachjargon gesprochen: das molekulare, bosonische Gas ist fermionisiert.“

Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen Möglichkeiten auf, starke Korrelationen in Quantensystemen zu realisieren, die aufgrund der heftigen Wechselwirkung der Teilchen eigentlich unter hohen Verlusten leiden würden. In solchen Systemen sollten sich daher – so hofft man – Rahmenbedingungen schaffen lassen, die Verluste so weit reduzieren, dass Experimente innerhalb vernünftiger Zeitspannen durchzuführen sind. Aufgrund der allgemeinen Natur der im Experiment aufgedeckten Mechanismen könnten sich damit nicht nur für die Physik kalter Gase, sondern auch für ein viel breiteres Spektrum der Naturwissenschaften neue Perspektiven eröffnen. [O. M.]

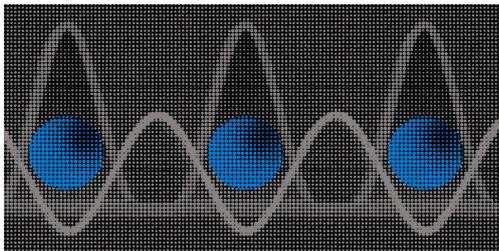


Abb. 1: Kalte Moleküle (blau) werden in einem periodischen Potential festgehalten. Wird das Potential entfernt, so würden die Moleküle sich normalerweise frei bewegen. Liegt allerdings eine starke unelastische Wechselwirkung zwischen den Molekülen vor, so bleiben die Moleküle in ihrem Anfangszustand eingefroren.

Originalveröffentlichung:

N. Syassen, D. M. Bauer, M. Lettner, T. Volz, D. Dietze, J. J. Garcia-Ripoll, J. I. Cirac, G. Rempe, S. Dürr
“Strong Dissipation Inhibits Losses and induces Correlations in Cold Molecular Gases”
Science, 6. Juni 2008

Kontakt:

Prof. Dr. Gerhard Rempe

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Telefon: +49 - 89 / 32905 - 701
Fax: +49 - 89 / 32905 - 311
E-Mail: gerhard.rempe@mpq.mpg.de

Prof. Dr. Ignacio Cirac

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching
Telefon: +49 - 89 / 32905 – 736
Fax: +49 - 89 / 32905 - 336
E-Mail: ignacio.cirac@mpq.mpg.de

Dipl. phys. Dominik Bauer

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 - 89 / 32905 - 377
Fax: +49 - 89 / 32905 – 311
E-Mail: dominik.bauer@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse & Kommunikation
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Telefon: +49 - 89 / 32905 - 213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de