



Presse-Information

Quantensimulation deckt gestreckten Quantenmagnetismus auf

Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Quantenoptik beobachten gestreckten Magnetismus in Fermi-Hubbard-Ketten.

Garching, 13. Dezember 2018 – **Bei der Untersuchung von ultrakalten, in künstlichen Lichtkristallen gefangenen Atomen ist es Guillaume Salomon, Postdoktorand am Max-Planck-Institut für Quantenoptik und einem Team aus Wissenschaftlern gelungen, einen grundlegenden Effekt eindimensionaler Quantensysteme direkt zu beobachten. Bei der Detektion von einzelnen Atomen konnten sie feststellen, dass sich die magnetische Ordnung ausdehnt, wenn die Atome im Gitter verdünnt werden.**

Die Studie wurde dieses Jahr in der Abteilung von Immanuel Bloch, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik und Professor an der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) durchgeführt. Die neuen Erkenntnisse sind zum Beispiel im Zusammenhang mit Hochtemperatur-Supraleitern relevant, die Strom verlustfrei leiten können.

„Ein entscheidendes Problem im Zusammenhang mit der Hochtemperatur-Supraleitung ist das Verständnis über das Zusammenspiel von Magnetismus und Dotierung, aus dem exotische elektronische Phasen entstehen können. Unser Wissen hängt jedoch stark von der Dimension ab. Quantengasexperimente können helfen, die Lücke zwischen einer Dimension und zwei Dimensionen zu schließen“, erklärt Guillaume Salomon, der seit 2014 auf diesem Feld forscht.

Im Rahmen der aktuellen Studie realisierten die Forscher am Max-Planck-Institut für Quantenoptik, der Physikabteilungen der Ludwig-Maximilians-Universität und der Universität Trento ein gut kontrolliertes und klar geordnetes Fermi-Hubbard-Modell, indem sie eine Wolke aus Lithium-6 Atomen bei einer Temperatur von 7 Nanokelvin in einem Lichtkristall einfingen.

Das Fermi-Hubbard-Modell ist eines der einfachsten Modelle für elektronische Systeme, bei denen Wechselwirkungen eine wichtige Rolle spielen. Es beschreibt das Verhalten von Quantenteilchen in einem optischen Gitter, die magnetisch entweder aufwärts oder abwärts ausgerichtet sind (Up- oder Down-Spins) und nur dann abstoßend interagieren, wenn sie sich am gleichen Platz befinden. Wenn sich an jedem Gitterplatz durchschnittlich ein Atom befindet, entsteht eine antiferromagnetische Ordnung, bei der sich die Spins auf benachbarten Plätzen entgegengesetzt ausrichten.

Wenn das System verdünnt wird und sich die Anzahl der Atome im Gitter reduziert (dotiert), dann ändert sich die Periodizität dieser magnetischen Ordnung. Ähnlich wie bei einem Akkordeon, das man auseinanderzieht, befinden sich entgegengesetzte Spins in Folge nicht auf benachbarten Plätzen, sondern im Durchschnitt weiter voneinander entfernt. Die Spin-Korrelationen werden dabei gestreckt und folgen dann nicht mehr der vom Gitter vorgegebenen Periodizität. Dieser Effekt wird auch erwartet, wenn die Anzahl der Up- und Down-Spins unterschiedlich ist (Spin-Polarisation).

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Jessica Gruber

+49 89 32905 235
jessica.gruber@mpq.mpg.de

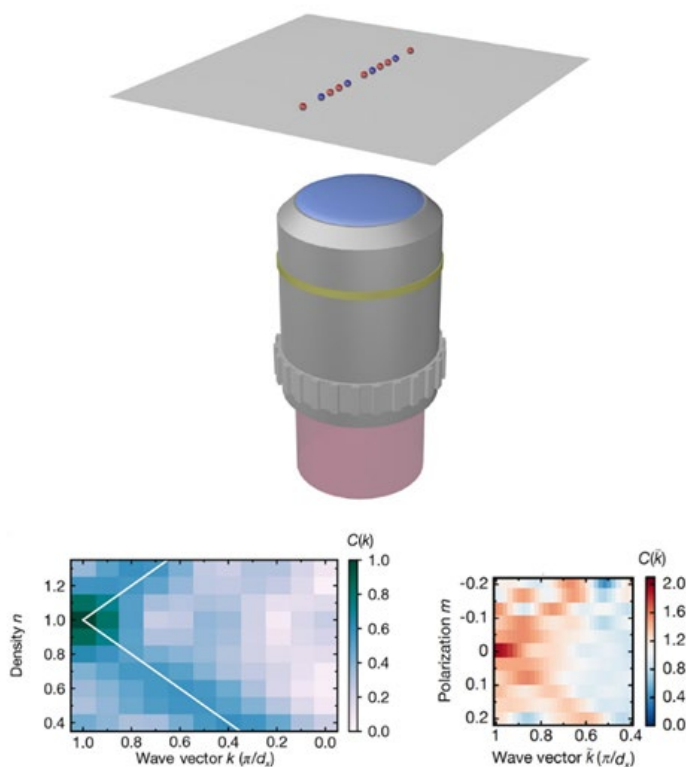
Max-Planck-Institut
für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

www.mpq.mpg.de

Mit der Technik der spin-aufgelösten Quantengasmikroskopie ist es möglich, sowohl die Positionen als auch die magnetische Ausrichtung aller Atome gleichzeitig abzubilden und Spin-Korrelationen zu messen. Auf diese Weise konnten die Wissenschaftler das oben beschriebene Verhalten der Spin-Korrelationen beobachten.

„Der faszinierendste Teil dieses Forschungsprojektes bestand darin, die Auswirkungen von Spin-Polarisation und Dotierung auf Spin-Korrelationen in einer Dimension zu entwirren, in der eine Spin-Ladungstrennung stattfindet. Die Fähigkeit, alle Spins und Teilchenpositionen in einem stark korrelierten Quanten-Vielteilchensystem zu messen, ermöglicht es, beliebige Korrelationsfunktionen zu berechnen, die numerischen Studien am Computer ähneln, und fundamentale Vorhersagen trotz der endlichen Temperatur unserer Systeme quantitativ zu testen“, führt Guillaume Salomon aus.

„Am Ende der Studie konnten wir im dotierten Fermi-Hubbard-Modell grundlegende Unterschiede zwischen einer Dimension und zwei Dimensionen beobachten. Unsere Ergebnisse sind ein wichtiger Maßstab für weitere Studien zum dimensionalen Übergangsregime, über das bis jetzt sehr wenig bekannt ist“, ergänzt Christian Gross, Leiter der Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Quantenoptik.



Die Quantengasmikroskopie von Hubbard-Ketten zeigt gestreckte Spin-Korrelationen.

Oben: Synthetische Fermi-Hubbard-Ketten werden durch das Einfangen einer Spin-Mischung aus Lithium-6 Atomen in optischen Gittern realisiert (rote und blaue Kugeln bezeichnen Auf- und Ab-Spins). Mit einem Quantengasmikroskop lässt sich das System bis auf Einzelteilchen- und Einzelspin-Auflösung abbilden. Auf diese Weise ist es möglich, die Auswirkungen von Dotierung und Spin-Polarisation auf Spin-Korrelationen individuell zu untersuchen.

Unten: Die Fourier-Transformationen der Spin-Korrelationen zeigen, wie sich die Periodizität der magnetischen Korrelationen hinsichtlich der Dichte und der Spin-Polarisation entsprechend der Vorhersagen der Luttinger-Flüssigkeitstheorie verändert.

Illustration: Guillaume Salomon/MPQ

Originalveröffentlichung

Guillaume Salomon, Joannis Koepsell, Jayadev Vijayan, Timon A. Hilker, Jacopo Nespolo, Lode Pollet, Immanuel Bloch, and Christian Gross

Direct Observation of Incommensurate Magnetism in Hubbard Chains

Nature, December 12th, 2018

doi: [10.1038/s41586-018-0778-7](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0778-7)

Kontakt

Prof. Dr. Immanuel Bloch

Lehrstuhl für Quantenoptik, LMU Munich
Schellingstr. 4, 80799 Munich
Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching b. München
Telefon: +49 89 32905 138
E-Mail: immanuel.bloch@mpq.mpg.de

Dr. Christian Gross

Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching b. München
Telefon: +49 89 32905 713
E-Mail: christian.gross@mpq.mpg.de

Dr. Guillaume Salomon

Postdoktorand am Max Planck Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching bei München
Telefon: +49 89 32905 215
E-Mail: guillaume.salomon@mpq.mpg.de