

Garching, 24.10.2010

Presse-Information

Ioneneinfang mit Laserlicht

MPQ-Wissenschaftler legen mit der optischen Speicherung von Ionen den Grundstein für neue hybride Quantensysteme.

Fallen für einzelne Teilchen spielen seit mehreren Jahrzehnten eine Schlüsselrolle bei hochpräzisen Messungen an Quantensystemen, da sie eine vollständige Steuerung und Kontrolle aller experimentellen Parameter erlauben. Bisher mussten sich die Wissenschaftler dabei zwischen zwei alternativen Strategien entscheiden: entweder wählten sie als Quantenbausteine elektrisch geladene Atome, d.h. Ionen, die sie durch starke Radiofrequenzfelder einfingen, oder sie nutzten neutrale Atome, die sie mit geeigneten Lichtfeldern festhielten. Dr. Tobias Schätz, Leiter der Emmy-Noether-Forschungsgruppe Quantensimulationen am Max-Planck-Institut für Quantenoptik, und sein Team haben nun gezeigt, dass sich beide Speichermethoden und beide Teilchensorten kombinieren lassen: erstmals gelang es ihnen, Ionen in einer optischen Dipolfalle zu speichern (Nature Photonics, AOP, 24. Oktober 2010, DOI 10.1038/NPHOTON.2010.236). Das Experiment zeigt neue Perspektiven auf, Festkörpereigenschaften mit Hilfe von kontrollierbaren Quantensystemen experimentell zu simulieren. Doch könnten auch ganz neue Möglichkeiten für Experimente in der Ultrakalten Chemie entstehen.

Experimentelle Quantensimulationen basieren auf dem Prinzip, ein komplexes Vielteilchensystem (z.B. einen metallischen Festkörper), in dem die Quanteneigenschaften unverstanden, schlecht zugänglich und nicht steuerbar sind, durch ein anderes System zu modellieren, an dem sich die analogen Fragestellungen unter exakt definierten Bedingungen untersuchen lassen. Für die Realisierung der entsprechenden Modellsysteme gibt es verschiedene Möglichkeiten. Für besonders viel versprechend halten Wissenschaftler Systeme aus Ionen, die in Radiofrequenzfallen festgehalten werden, sowie aus neutralen Atomen, die in Lichtfeldern gespeichert werden. Ein Spezialfall sind hier die sogenannten optischen Gitter, die durch Überlagerung von Laserwellen gebildet werden. Dabei entsteht eine periodische Anordnung von hellen und dunklen Gebieten. Diese „Lichtkristalle“ haben sich seit fast drei Jahrzehnten als Werkzeug für die Manipulation kalter neutraler Atome bewährt.

Die Wahl der Teilchensorte hängt dabei entscheidend von der Fragestellung ab. Die Forschungsgruppe von Dr. Tobias Schätz befasst sich unter anderem mit den Quanteneigenschaften magnetischer Stoffe. Magnetismus in Festkörpern ist darauf zurückzuführen, dass die einzelnen Atome einen Eigendrehimpuls, einen sogenannten Spin besitzen. Die Wechselwirkung zwischen je zwei benachbarten Spins führt, in Abhängigkeit von äußeren Randbedingungen, zu ihrer parallelen oder antiparallelen Ausrichtung und damit z.B. zu ferromagnetischen bzw. antiferromagnetischen (hier sogar, bei einer ungeraden Anzahl von Spins, zu sogenannten „frustrierten“) Zuständen. Die Erforschung der Quantendynamik dieser Zustände könnte z.B. zu einem besseren Verständnis der Hochtemperatur-Supraleitung beitragen. Für die analoge Simulation der Spin-Spin-Wechselwirkung und der aus ihr folgenden Eigenschaften eignen sich Ionen weit besser als neutrale Atome, da die zwischen ihren Ladungen wirkende Coulomb-Kraft um ein Vielfaches stärker ist als die Wechselwirkung zwischen benachbar-

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit,
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213
E-Mail: olivia.meyer-
streng@mpq.mpg.de

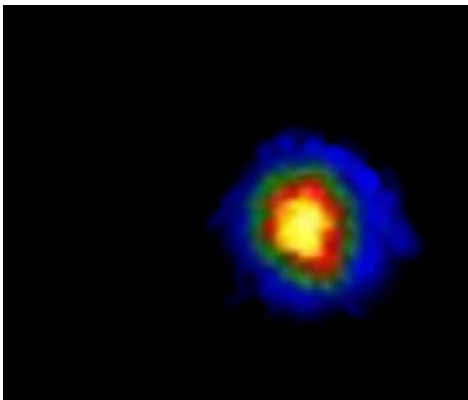
Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

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

ten Atomen in einem optischen Gitter. Experimentelle Quantensimulationen könnten deshalb mit Ionen in wesentlich kürzerer Zeit als mit neutralen Atomen durchgeführt werden, wodurch der Einfluss externer Störfelder entscheidend reduziert würde.

Aufgrund ihrer elektrischen Ladung lassen sich Ionen auch leicht durch elektromagnetische Felder beeinflussen. Deshalb bedienen sich Wissenschaftler schon seit mehr als 60 Jahren der Methode, Ionen mit Wechselfeldern im Radiofrequenzbereich einzufangen, und mittlerweile erreichen sie hierbei Speicherzeiten von bis zu mehreren Monaten. Experimentelle Quantensimulationen mit einigen Ionen in einer Radiofrequenzfalle lassen sich aber nur schwer zu großen Systemen ausbauen. Warum hat also man nicht schon längst versucht, optische Gitter auch für die Speicherung von Ionen einzusetzen?

„Gegen optische Felder spricht zunächst, dass sie bei weitem nicht so tiefe „Speichertöpfe“ erlauben wie Radiofrequenz-Wechselfelder. Gleichzeitig reagieren Ionen aufgrund ihrer elektrischen Ladung extrem empfindlich auf äußere Störfelder“, erläutert Dr. Tobias Schätz. „Dies führte zu dem Vorurteil, dass optische Potentiale zu flach und damit ungeeignet seien. Wir konnten aber experimentell zeigen, dass sich auch Ionen effektiv durch die Wechselwirkung mit Licht einfangen lassen.“



Aufnahme eines einzelnen Ions, das in einer optischen Falle gefangen wurde. Die Farben kodieren die Intensität des emittierten Fluoreszenz-Lichts.

In ihrem Experiment kühlen die Wissenschaftler zunächst ein positiv geladenes Magnesium-Ion in einer Radiofrequenzfalle auf ca. ein tausendstel Grad oberhalb des absoluten Temperatur-Nullpunkts ab. Dann werden externe Störfelder durch geeignete „Gegenfelder“ kompensiert. Jetzt erst wird dem Ion ein stark fokussierter Laserstrahl überlagert und das Radiofrequenzfeld abgeschaltet. Die Messungen ergaben, dass das Ion so mehrere Millisekunden lang von dem Licht-

strahl festgehalten wurde und damit trotz der geringen Tiefe des Speichertopfs mehrere hundert Mal darin hin und her schwingen konnte.

Tobias Schätz wirkt von diesem Paradigmenwechsel nicht allzu erstaunt. „Im Grunde genommen basieren Radiofrequenz- und optische Fallen auf dem gleichen Prinzip“, erläutert er. „In beiden Fällen werden die Teilchen durch ein schnell wechselndes elektromagnetisches Feld gespeichert.“ Die Speicherzeit ist derzeit lediglich dadurch begrenzt, dass das Ion von dem optischen Feld aufgeheizt wird. Sie kann daher mit gängigen Verfahren erheblich gesteigert werden.

Gelingt es, das hier gezeigte Prinzip der optischen Speicherung auf eine Vielzahl von Ionen in einem optischen Gitter auszudehnen, dann ergeben sich völlig neue experimentelle Perspektiven. Man könnte z. B. nicht nur komplexe Spin-Systeme simulieren, sondern auch hybride Systeme kreieren, bei denen Ionen und Atome in einem gemeinsamen Gitter eingebettet sind und sich die elektrischen Überschussladungen gewissermaßen teilen. Es ergeben sich aber auch interessante Möglichkeiten, chemische Reaktionen bei extrem tiefen Temperaturen zu untersuchen. Bettet man z. B. ein einzelnes Ion ein in ein kaltes atomares Quantengas (ein sogenanntes Bose-Einstein-Kondensat) innerhalb einer gemeinsamen optischen Falle, dann könnten die Teilchen aufgrund ihrer geringen Bewegung so viel Zeit miteinander verbringen, dass neuartige chemische Prozesse durch quantenmechanisches Tunneln möglich werden. Das hier beschriebene Experiment stellt also den Beginn einer neuen Generation von Quantensimulationen und einer neuen Ära der Ultrakalten Chemie dar. *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

Ch. Schneider, M. Enderlein, T. Huber und T. Schätz

„Optical Trapping of an Ion“

Nature Photonics, AOP, 24. Oktober 2010, DOI 10.1038/NPHOTON.2010.236

Kontakt:

www.mpq.mpg.de/qsim/

Dr. Tobias Schätz

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Hans-Kopfermann-Straße 1

85748 Garching

Telefon: +49 - 89 / 32905 - 199

Fax: +49 - 89 / 32905 - 311

E-Mail: tobias.schaetz@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse & Kommunikation

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Telefon: +49 - 89 / 32905 – 213

Fax: +49 - 89 / 32905 – 200

E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de